



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**VARIACIÓN DE FLUJOS DE LOS ELEMENTOS  
PARTICULADOS EN CUENCA ALFONSO,  
BAHÍA DE LA PAZ, EN EL PERIODO 2002-2005**

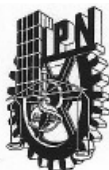
**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

ANA PATRICIA RODRÍGUEZ CASTAÑEDA

LA PAZ, B. C. S., MÉXICO, FEBRERO DE 2008



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISION DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 26 del mes de Octubre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

**“VARIACIÓN DE FLUJOS DE LOS ELEMENTOS PARTICULADOS EN CUENCA ALFONSO, BAHÍA DE LA PAZ, EN EL PERIODO 2002-2005”**

Presentada por el alumno:

**RODRÍGUEZ**  
Apellido paterno

**CASTAÑEDA**  
materno

**ANA PATRICIA**  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	3	0	4	2	9
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

**DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

DR. EVGUENI CHOUMILINE NIKOLAYEVICH

PRESIDENTE

  
DR. NORMAN SILVERBERG

SECRETARIO

  
DR. MA. MARGARITA CASAS VALDEZ

SEGUNDO VOCAL

  
DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ

TERCER VOCAL

  
DRA. LIA MENDEZ RODRIGUEZ

**EL PRESIDENTE DEL COLEGIO**

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



**L. P. N.**  
**CICIMAR**  
**DIRECCION**



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 29 del mes Octubre del año 2007, el (la) que suscribe ANA PATRICIA RODRÍGUEZ CASTAÑEDA alumno(a) del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS con número de registro A030429 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo al dirección de: DR. EVGUENI CHOUMILINE NIKOLAYEVICH y cede los derechos del trabajo titulado: "VARIACIÓN DE FLUJOS DE LOS ELEMENTOS PARTICULADOS EN CUENCA ALFONSO, BAHÍA DE LA PAZ, EN EL PERÍODO 2002-2005" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: aprodr@ipn.mx eshumili@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
ANA PATRICIA RODRÍGUEZ CASTAÑEDA

*nombre y firma*

*A mi madre,  
Marisela Castañeda, por su amor infinito*

*A mi hermano y cuñada,  
Arturo y Glideth, por todo su apoyo y cariño*

*A mi hija,  
Ana Daira, creación divina que colma mi vida de felicidad*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi agradecimiento al Instituto Politécnico Nacional por la beca que me otorgó para superación académica, así como el apoyo financiero concedido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

Agradezco al Dr. Evgueni Choumiline por dirigir este trabajo, por su comprensión, ayuda y disposición brindadas durante el desarrollo y conclusión de esta tesis doctoral.

Un particular agradecimiento a la Comisión Revisora, formada por el Dr. Evgueni Choumiline, Dr. Norman Silverberg, Dra. Lía Méndez Rodríguez, Dra. Margarita Casas Valdez y Dr. Enrique Nava Sánchez, por su buena disposición a revisar el documento y por sus observaciones que ayudaron a mejorar este trabajo.

Mi reconocimiento y agradecimiento al Dr. Fernando Aguirre Bahena ya que el éxito para la obtención de las muestras objeto de este estudio dependió de su colaboración en las campañas oceanográficas.

Asimismo agradezco a mis compañeros y amigos Biol. Juan José Fuentes Valdivia y M. en C. Griselda Rodríguez Figueroa y a la tripulación del B/O Francisco de Ulloa por su valiosa participación en la recolección de muestras.

Mi reconocimiento y agradecimiento al Dr. Cuauhtémoc Turrent, Dr. Eduardo González y Dr. Fernando Aguirre Bahena por su contribución para la elaboración y perfeccionamiento de los gráficos incluidos en este documento.

## **ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
2.1. Antecedentes generales	4
2.1.1. Materia suspendida particulada en el ambiente marino	4
2.1.2. Fuentes de los elementos traza (ET) al océano	5
2.1.2.1. Aportes atmosféricos	6
2.1.2.2. Influencia de los monzones	7
2.1.2.3. Aportes fluviales	8
2.1.2.4. Aportes hidrotermales	10
2.1.2.5. Formación de los elementos traza particulados en la columna de agua	11
2.1.2.6. Productividad primaria en el océano como una fuente de elementos traza particulados biogénicos	23
2.1.2.7. Aporte antropogénico	25
2.1.3. Materia particulada en hundimiento	25
2.1.4. Efecto de los eventos episódicos sobre la composición de las partículas y los flujos de la materia particulada en hundimiento	28
2.2. Antecedentes regionales	30
2.2.1. Zona de mínimo oxígeno en el Golfo de California (GC) y su importancia para la biogeoquímica de los elementos traza en los sedimentos	30
2.2.2. Estudios de la materia suspendida particulada	31
2.2.3. Estudios con trampas sedimentarias	32
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>35</b>
<b>4. HIPÓTESIS DE TRABAJO</b>	<b>37</b>

<b>5. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES</b>	<b>37</b>
5.1. Objetivo general	37
5.2. Objetivos particulares	37
<b>6. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>38</b>
6.1. Condiciones climáticas e hidrológicas de la zona de la Bahía de La Paz	38
6.1.1. Hidrología de la Bahía de La Paz	38
6.1.2. Vientos	41
6.1.3. Precipitaciones pluviales	42
6.2. Rasgos geomorfológicos y geológicos de la zona	42
6.2.1. Batimetría	42
6.3. Sedimentación y sedimentos	43
6.4. Productividad biológica	44
<b>7. METODOLOGÍA</b>	<b>46</b>
7.1. Recolección de muestras	46
7.2. Análisis químico	47
7.2.1. Determinación de masa total seca de las muestras, contenidos de ópalo biogénico, carbonatos y carbono orgánico	47
7.2.2. Determinación de fósforo	47
7.2.3. Determinación no destructiva de los elementos mayoritarios y traza por el método del análisis de activación neutrónica instrumental	48
7.2.4. Determinación de los elementos mayoritarios y traza en las soluciones de las muestras digeridas por diferentes métodos de análisis (espectrofotometría de absorción atómica con flama, ICP-AES (óptico) y espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS))	49
7.2.5. Digestión de las muestras de MPH	50
7.2.6. Mediciones de las concentraciones de los elementos mayoritarios (Al, Mn) en muestras digeridas	50
7.2.7. Mediciones de las concentraciones de los elementos traza en muestras digeridas	51
7.3. Análisis estadístico	52
<b>8. RESULTADOS</b>	<b>55</b>
8.1. Concentración de los elementos en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz	55

8.1.1. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos terrígenos (Al, Cs, Fe, Rb y Sc) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz	55
8.1.1.1. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos del grupo de tierras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu) en la MPH de la Cuenca Alfonso.	58
8.1.2. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos típicamente asociados a los componentes biogénicos (Ba, Ca y Sr)	65
8.1.3. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos-micronutrientes (Cd Co, Cr, Mn, Mo, Ni, Se, V, y Zn)	66
8.1.4. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos potencialmente tóxicos (As, Pb y Sb)	74
8.1.5. Variabilidad temporal de las concentraciones del elemento redox-sensible U	77
8.1.6. Variabilidad temporal de las concentraciones del fósforo inorgánico y orgánico en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz	77
8.2. Flujos de los elementos particulados en hundimiento en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, en los años 2002-2005	77
8.2.1. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos terrígenos (Al, Cs, Fe, Rb y Sc) particulados	81
8.2.1.1. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos del grupo de tierras raras (La, Ce, Nd, Sm. Eu. Tb, Yb y Lu) particulados	86
8.2.2. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos típicamente asociados a los componentes biogénicos (Ba, Ca y Sr)	86
8.2.3. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos-micronutrientes (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Se, V y Zn) particulados	89
8.2.4. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos potencialmente tóxicos (As, Pb y Sb) particulados	94
8.2.5. Variabilidad temporal de los flujos del elemento redox-sensible U particulado en hundimiento en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz	97
8.2.6. Variabilidad temporal de los flujos del fósforo particulado en hundimiento y sus dos principales fases (inorgánica y orgánica)	97
8.2.7. Comparación general de los flujos promedio de los elementos particulados en la Cuenca Alfonso durante los años 2002, 2004 y 2005	96
<b>9. DISCUSIÓN</b>	<b>101</b>
9.1. Aspectos generales de la composición de la MPH en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz	102
9.1.1. Flujo litogénico	102
9.1.2. Fósforo	103



9.2. Comparación de las concentraciones de los elementos mayores y traza en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso y otros sitios de la región	106
9.2.1. Elementos terrígenos (Al, Cs, Fe, Rb y Sc)	106
9.2.1.1. Elementos del grupo de las tierras raras	111
9.2.2. Elementos biogénicos (Ba, Ca, Sr)	114
9.2.3. Elementos micronutrientes	115
9.2.4. Micronutrientes y los elementos redox-sensibles en la zona de mínimo oxígeno	118
9.3. Comparación de los flujos de los elementos terrígenos (Al, Cs, Fe, Rb y Sc) en la materia particulada en hundimiento con otros sitios de la región	120
9.4. Factores de enriquecimiento (FEs)	121
9.5. Análisis de las asociaciones de los elementos en la materia particulada en hundimiento con el método de componentes principales	128
9.5.1. Resultados del análisis de componentes principales para todo el conjunto de datos sobre composición de la materia particulada en hundimiento	128
9.5.2. Asociaciones entre las fases inorgánica y orgánica del fósforo en la MPH de la Cuenca Alfonso de la Bahía de La Paz y otros componentes mayoritarios y traza mediante los métodos de los componentes principales, de factores y de clusters	137
9.6. Consideración de los factores que influyen en la variación en la MPH y los flujos de los elementos particulados en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz	138
9.6.1. Influencia del transporte eólico	138
9.6.2. Influencia de los huracanes	143
9.6.3. Influencia de la productividad marina	148
9.6.3.1. Búsqueda de la correlación entre contenidos y flujos de los ET particulados y concentración de clorofila “a” superficial	150
9.6.3.2. Análisis de la influencia de los componentes mayores (CaCO <sub>3</sub> , sílice biogénico y carbono orgánico)	151
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>152</b>
<b>11. LITERATURA CITADA</b>	<b>155</b>
<b>12 ANEXOS</b>	<b>176</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Área de estudio y localización de la trampa de sedimentos. Modificado a partir de Nava-Sánchez et al., 2001.....	39
<b>Figura 2.</b> Características de temperatura y salinidad de las masas de agua de la Bahía de la Paz. Tomado de Aguirre, 2007).....	40
<b>Figura 3.</b> Regresión lineal y correlación de los contenidos de Sc y Fe en la materia particulada en hundimiento.....	53
<b>Figura 4.</b> Concentración de Fe y Al en la materia particulada en hundimiento de la Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	57
<b>Figura 5.</b> Concentración de Sc y Sc en la materia particulada en hundimiento de la Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	59
<b>Figura 6.</b> Concentración de Rb y La en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	61
<b>Figura 7.</b> Concentración de Ce y Nd en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	62
<b>Figura 8.</b> Concentración de Sm y Eu en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	63
<b>Figura 9.</b> Concentración de Tb e Yb en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	64
<b>Figura 10.</b> Valores promedio normalizados con lutita norteamericana de las concentraciones de los lantánidos en la materia particulada en hundimiento para los cuatro años de muestreo.....	65
<b>Figura 11.</b> Concentración de Ca y Sr en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	67
<b>Figura 12.</b> Concentración de Ba y Co en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	68
<b>Figura 13.</b> Concentración de Mo y Cd en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	69
<b>Figura 14.</b> Concentración de Cu en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	71
<b>Figura 15.</b> Concentración de Zn y Cr en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	72
<b>Figura 16.</b> Concentración de Se y Mn en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	73

<b>Figura 17.</b> Concentración de V y Ni en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	75
<b>Figura 18.</b> Concentración de As y Sb en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	76
<b>Figura 19.</b> Concentración de Pb Y U en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	78
<b>Figura 20.</b> Concentración de Fósforo particulado orgánico, inorgánico y total en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	80
<b>Figura 21.</b> Flujos de Fe y Al particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	84
<b>Figura 22.</b> Flujos de Sc y Cs particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	85
<b>Figura 23.</b> Flujos de Rb y La particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	87
<b>Figura 24.</b> Flujos de Sm y Eu particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	88
<b>Figura 25.</b> Flujos de Ca y Sr particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	90
<b>Figura 26.</b> Flujos de Mo y Cd particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	91
<b>Figura 27.</b> Flujo de Cr y Co particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	92
<b>Figura 28.</b> Flujo de Cu particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	93
<b>Figura 29.</b> Flujo de Zn y Se particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	95
<b>Figura 30.</b> Flujos de As y Sb particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	96
<b>Figura 31.</b> Flujos de Pb y U particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	99

<b>Figura 32.</b>	Flujo de fósforo particulado total, inorgánico y orgánico en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	101
<b>Figura 33.</b>	Contribución litogénica calculada por la diferencia de material total y biogénico de un lado y la estimada usando Sc.....	104
<b>Figura 34.</b>	Anomalía de Eu en la materia particulada de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio.....	115
<b>Figura 35.</b>	Logaritmos de los valores promedio de los factores de enriquecimiento de las concentraciones de los elementos en el MPH la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz para los años de estudio: a) 2002; b) 2003; c) 2004 y d) 2005.....	124
<b>Figura 36.</b>	Logaritmos de los factores de enriquecimiento de los contenidos de Sb y Se en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. ....	125
<b>Figura 37.</b>	Logaritmos de los factores de enriquecimiento de los contenidos de Cd y As en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	127
<b>Figura 38.</b>	Logaritmos de los factores de enriquecimiento de los contenidos de Pb y U en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. ....	124
<b>Figura 39.</b>	Diagrama de PCA entre los contenidos de los componentes, elementos mayores y traza en la materia particulada suspendida.....	132
<b>Figura 40.</b>	Razón de La/Yb y Mn/Sc en la materia particulada en hundimiento La línea horizontal representa el valor para la corteza terrestre.....	141
<b>Figura 41.</b>	Razón de Mn/Al y Th/Sc en la materia particulada en hundimiento. La línea horizontal representa el valor para la corteza terrestre.....	142
<b>Figura 42.</b>	Razón de Zr/Sc en la materia particulada en hundimiento. La línea horizontal representa el valor para la corteza terrestre.....	143
<b>Figura 43.</b>	Contribución elemental influenciada por los periodos de huracanes.....	150

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Resultados del análisis de determinación de fósforo en el material de referencia NIST 1573a, E.U.A .....	48
<b>Tabla 2.</b>	Exactitud y límites de detección de los elementos analizados por activación neutrónica.....	49
<b>Tabla 3</b>	Resultados del análisis por ICP-MS del material estuarino de referencia NIST 1646a, E.U.A.....	50
<b>Tabla ..4.</b>	Resultados del análisis por ICP-AES del material estuarino de referencia NIST 1646a, E.U.A.....	51
<b>Tabla 5.</b>	Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la concentración de los elementos mayores y traza en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	56
<b>Tabla 6.</b>	Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la concentración de los elementos del grupo de las tierras raras en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	60
<b>Tabla 7</b>	Contenidos de fósforo particulado total, inorgánico y orgánico, en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	79
<b>Tabla 8.</b>	Valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de los flujos de los elementos mayores y traza en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	82
<b>Tabla 9.</b>	Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de los flujos de los elementos del grupo de las tierras raras en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	83
<b>Tabla 10.</b>	Flujos de fósforo particulado total, inorgánico y orgánico en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	100
<b>Tabla 11.</b>	Flujos de fósforo total, inorgánico y orgánico ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) en diferentes zonas de estudio.....	105
<b>Tabla 12.</b>	Razones entre macronutrientes (C; P y Si) en la MPH de Cuenca Alfonso.....	106
<b>Tabla 13.</b>	Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la concentración de los elementos mayores y traza en la MPH de la Cuenca Alfonso (Bahía de La Paz) y de otras áreas cercanas.....	108
<b>Tabla 14.</b>	Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la anomalía de Eu en la MPH de la Cuenca Alfonso.....	114
<b>Tabla 15.</b>	Valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de los factores de enriquecimiento encontrados en los elementos analizados en la MPH de la Cuenca Alfonso (Bahía de La Paz) .....	123
<b>Tabla 16.</b>	Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los contenidos de los elementos en la MPH de la Cuenca Alfonso de la Bahía de la Paz.....	128
<b>Tabla 17.</b>	Resultados de PCA (n = 117) para los elementos en la MPH de Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. ....	131

<b>Tabla 18.</b>	Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los contenidos de los elementos en la MPH de la Cuenca Alfonso de la Bahía de la Paz, sin incluir los periodos con influencia de huracanes.....	133
<b>Tabla 19.</b>	Resultados de PCA (n = 113) para los elementos en la MPH de Cuenca Alfonso, Bahía de la Paz, sin los periodos de huracanes.....	134
<b>Tabla 20.</b>	Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los contenidos de los elementos en MPH de la Cuanca Guaymas (Dean, com. per.).....	135
<b>Tabla 21.</b>	Resultados de PCA (n = 26) para los elementos en la MPH de Cuenca Guaymas (Dean, comunicación personal).....	136
<b>Tabla 22.</b>	Resultados de PCA (n = 36) de fósforo inorgánico y orgánico, así como elementos mayores y traza en la MPH de Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.....	139
<b>Tabla 23.</b>	Concentración promedio de la fracción terrígena, elementos mayores y traza en la MPH en Cuenca Alfonso. Periodos con influencia de huracanes vs condiciones “normales”.....	145
<b>Tabla 24.</b>	Flujos promedio de la fracción terrígena, elementos mayores y traza en la MPH en Cuenca Alfonso. Periodos con influencia de huracanes vs condiciones “normales”.....	147
<b>Tabla 25.</b>	Porcentaje del flujo anual total representado por los 29 días de sedimentación influenciada por los huracanes “Ignacio” y “Marty” durante el 2003.....	149

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b>	Contenido de Sc, Fe, Ca, Co, Ba, Cr, Cs, Rb y As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002-2005....	176
<b>Anexo 2.</b>	Contenido de Sb, Se, U, Al, Mn, Zn, V, Ni y Sb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años 2002 – 2005.....	180
<b>Anexo 3.</b>	Contenido de Cu, Sr, Mo, Cd y Pb ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002 – 2005.....	183
<b>Anexo 4.</b>	Contenido de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Er, Yb y Lu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002-2005....	186
<b>Anexo 5.</b>	Flujos de Fe, Ca y Al ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), Co, Ba, Cr, Cs, Rb y As ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) particulados en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años 2002-2005.....	189
<b>Anexo 6.</b>	Flujos de Sc, Se, U, Sb, Mn, Zn, V, Ni y Sb ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) particulados en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años 2002 – 2005.....	192
<b>Anexo 7.</b>	Flujos de Cu, Sr, Mo, Cd y Pb ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) particulado en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002 – 2005.....	195
<b>Anexo 8.</b>	Flujo de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Er, Yb y Lu ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) particulado en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años 2002-2005.....	198

## RESUMEN

La materia particulada en hundimiento (MPH) de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz (sur-occidente del Golfo de California), se examinó para cuantificar el contenido de los elementos mayoritarios y traza con los métodos de análisis instrumental de activación neutrónica (INAA) (As, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U e Yb), espectrofotometría de la absorción atómica (AAS) o ICP-OES (Al, Mn y Zn) y espectrometría de masas inductivamente acoplado a plasma (ICP-MS) (Cd, Cu, Pb, V, Ni y Mo). Las concentraciones de los constituyentes mayores y elementos traza en la MPH en la serie de tiempo de enero de 2002 a noviembre de 2005 revelan variabilidad temporal no sistemática. Los elementos de origen terrígeno tendieron a tener concentraciones menores al inicio del verano, posiblemente a causa del cambio en la dirección del viento del noreste (desde el continente) a suroeste (desde el océano) y al cambio consecuente en la circulación del agua del Golfo de California. Los resultados de aplicación del método del análisis de los componentes principales demuestran que cuatro factores controlan ~59 % de la varianza de los contenidos de los constituyentes de la MPH. Las siguientes asociaciones de los principales constituyentes y los elementos traza fueron encontradas: a) material litogénico, Al, Fe, Mn, Sc, Cs, Mn, V y los ETR ligeros a medios La, Ce, Nd, Sm y Tb, los cuales corresponden a un tipo de aporte terrígeno de los aluminosilicatos y las rocas ácidas erosionadas, tales como los granitos y los volcánicos riolíticos; b) Ni, Pb, Sb, U y los ETR pesados Lu e Yb, presuntamente aportados por vía eólica como otro tipo de material terrígeno generado por el intemperismo de las rocas básicas e intermedias, tales como las volcánicas basálticas y andesíticas que ocurren al noroeste de la Bahía de La Paz; c) carbono inorgánico y orgánico, calcio, Cu y Ni, asociación que refleja la productividad planctónica calcárea, con Cu y Ni incorporados en los tejidos orgánicos de los organismos planctónicos; d) Cd, Co, Se, C<sub>org</sub> y Sr, asociación relacionada con la transformación de las partículas biogénicas durante su sedimentación en la columna del agua. El Se, Sb, As, Cd, U, Mo y Zn muestran factores de enriquecimiento muy altos comparados con la corteza continental. El efecto del Se, Sb y As puede explicarse por la composición específica



(volcanosedimentaria y sedimentaria marina) de las rocas constituyentes de las cuencas de drenaje, mientras que el Cd, Cu y Zn posiblemente están sujetos a la bioacumulación selectiva por el fito y zoopláncton como micronutrientes. Los elementos redox-sensibles Mo y U presentan una posible influencia de la zona de mínimo oxígeno (ZOM), ya que en los estados de oxidación más bajos como Mo (+4) y U (+4) tienen mayor afinidad a la fase particulada que a la disuelta, generándose las formas autógenas particuladas de estos elementos. La ZOM puede tener cierta influencia también sobre la transferencia de los elementos calcófilos Cd, Cu y Zn en el caso de la presencia del H<sub>2</sub>S en la ZOM, lo que puede favorecer la formación de los sulfuros insolubles de estos elementos. Los patrones normalizados de los contenidos de los ETR en la MPH de la Cuenca Alfonso en condiciones normales generalmente mostraron una anomalía negativa de Eu y corresponde a las huellas geoquímicas regionales de los materiales continentales. Las concentraciones de los elementos traza terrígenos en la MPH de la Cuenca Alfonso y sus flujos verticales aumentaron intensamente durante el paso de los huracanes “Ignacio” y “Marty”. La contribución de estos elementos durante los 29 días del año 2003 con influencia de los fenómenos meteorológicos fueron de más del 50 % que las cantidades promedio anuales, calculadas para los años “normales” (2002, 2003 sin el periodo de huracanes, 2004 y 2005), con la siguiente secuencia: Rb (83 %) = Sc (83 %) > Fe (80 %) > Cs (77 %) > La (72%) > Ce (70 %) > Tb (66 %) = Nd (66 %) > Lu (64 %) = Yb (64 %) > Sm (64 %) > V (59 %) > Mn (58 %) > Al (56 %) > As (51 %)

## ABSTRACT

Settling particulate matter (SPM) from Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz (south-western Gulf of California) were analyzed for major and trace elements by instrumental neutron activation analysis (As, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U and Yb), flame atomic absorption spectrophotometry or ICP-OES (Al, Mn and Zn) and ICP-MS (Cd, Cu, Mo, Pb, V and Ni). The concentrations of major constituents and trace elements in the settling matter of the Alfonso Basin in the time-series between January 2002 and November 2005 are displaying non systematic temporal variability. The elements of terrigenous origin had a tendency to have smaller concentrations in the start of the summer, probably due to change in wind direction from northwest (from the continent) to southwest (from the ocean) and the consequent change of circulation of the waters of the Gulf of California. Measured variables have been used as discriminating factors to distinguish marine and terrestrial origin of settling particles. The results of the application of Principal Component Analysis (PCA) with Varimax rotation shows that four factors are controlling ~59 % of the variance and the following associations of components and elements could be found: 1) lithogenic material, Al, Fe, Mn, Sc, Cs, Mn, V, light to medium REEs La, Ce, Nd, Sm and Tb, corresponding to the terrigenous input of the aluminosilicates and eroded acid rocks source such as granites and rhyolitic volcanics; 2) Ni, Pb, Sb, U, and heavy lanthanides Lu and Yb, supposedly supplied through eolic way as terrigenous material generated by weathering of basic and intermediate rocks such as basaltic andesitic and volcanics occurring in the NW of the La Paz Bay; 3) inorganic and organic carbon, calcium, Cu and Ni, evidencing the calcareous plankton production, with Cu and Ni incorporated in organic tissues of planktonic organisms; 4) Cd, Co, Se, C<sub>org</sub> and Sr, association related to biogenic particles transformation during their settling in the water column. The selenium, Sb, As, Cd, U, Mo and Zn show very high values of enrichment factors comparing with a continental crust. In case of Se, Sb and As this effect can be explained by specific composition (volcanosedimentary and marine sedimentary) of the rocks constituting the drainage basin of the La Paz Bay, while Cd, Zn and Cu are possibly subjected to the selective bioaccumulation by phyto and zooplankton. The

redox-sensitive elements Mo and U present are possible influenced by the Oxygen Minimum Zone (ZOM), being in the low oxidation state such as Mo (+4) y U (+4) which have major affinity to the particulate phase. The ZOM can have certain influence also on the transfer of chalcophilic Cd, Zn and Cu in a case of the presence of H<sub>2</sub>S that could favour the formation of insoluble sulphides of these elements. The shale normalized patterns of the contents of REEs in SPM of the Alfonso Basin, in normal conditions, generally display the negative Eu anomaly and correspond to the geochemical “fingerprints” of the regional continental materials. The concentrations of terrigenous ET in SPM of the Alfonso Basin and their vertical fluxes are strongly increased during the passage of the hurricanes “Ignacio” and “Marty”. The contributions of various elements during 29 days of the 2003 year with the influence of these phenomenon accounts more than half of the average annual fluxes calculated for a “normal” year (2002, 2003 without a period of hurricanes, 2004 y 2005): Rb (83 %) = Sc (83 %) > Fe (80 %) > Cs (77 %) > La (72%) > Ce (70 %) > Tb (66 %) = Nd (66 %) > Lu (64 %) = Yb (64 %) > Sm (64 %) > V (59 %) > Mn (58 %) > Al (56 %) > As (51 %).

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se generó y ha aumentado la preocupación en la humanidad por el posible impacto de la actividad antropogénica sobre la naturaleza, y en particular, si están perturbados los ciclos biogeoquímicos de los elementos traza (ET) en el planeta y en específico en el océano, así como cuáles son las consecuencias de tales perturbaciones en los ecosistemas globales, regionales y locales (Schlesinger, 1997).

Los ciclos biogeoquímicos de los elementos representan parte de los ciclos geológico (largo plazo) e hidrológico (corto y mediano plazo). Están constituidos por flujos de materia y energía entre la geósfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera, que son los compartimentos generales de este intercambio reflejado en flujos, particularmente en los flujos verticales de la materia particulada en hundimiento (MPH) y de los elementos mayoritarios y traza particulados en el océano. Si bien, las bases teóricas de este concepto se instituyeron por Goldschmidt, Goldberg, Krauskopf, Vernadsky, Vinogradov y otros reconocidos científicos en las primeras cinco décadas del siglo XX, su realización concreta a nivel mundial se abordó en los 80's con la creación del programa internacional "IGBP" (International Geosphere Biosphere Programme) y sus programas específicos "JGOFS" (Joint Global Ocean Flux Study) y "LOICZ" (Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone). Los estudios de acuerdo a estos programas y las investigaciones biogeoquímicas colaterales establecieron que los ciclos biogeoquímicos de los ET tienen implicaciones directas en la dinámica del ciclo del carbono, en el funcionamiento de los ecosistemas marinos no perturbados y en las evaluaciones de la contaminación ambiental por metales pesados (Chester, 2003; Schlesinger, 1997).

Para fortalecer investigaciones en esta dirección, recientemente fueron organizados nuevos programas internacionales de IGBP como "SOLAS" (Surface Ocean-Lower Atmosphere Studies) y "LOICZ-II", así como el programa "GEOTRACES", que es un estudio internacional de los ciclos biogeoquímicos marinos globales de los ET y sus isótopos.

El plan científico del programa “GEOTRACES” tiene como cometido principal “identificar los procesos y cuantificar los flujos que controlan la distribución de los ET y los isótopos claves en el océano y establecer la sensibilidad de estas distribuciones a las condiciones ambientales cambiantes” (Anónimo, 2006). Entre los objetivos específicos de este programa, una tarea relevante es, determinar las distribuciones globales de elementos traza selectos y sus isótopos, incluyendo sus concentraciones, especiación química y forma física, así como evaluar las fuentes, sumideros y el ciclo interno de estas especies para caracterizar plenamente los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan sus distribuciones.

Otro punto importante es conocer en que grado la productividad primaria en los océanos está relacionada con la concentración y disponibilidad de los elementos mayores y traza, conjuntamente con las condiciones óptimas de temperatura y luz.

La producción fitoplanctónica ocurre en los océanos en la capa de mezcla superficial, con la participación de los nutrientes ordinarios P, N, Si y C (Falkowski *et al.*, 2004; Libes, 1992; McCarty y Goldman, 1979; Millero, 1996; Murray *et al.*, 1994) y algunos ET llamados micronutrientes (Cd, Fe, Ni, Se y Zn entre otros). Esto es en parte, debido a que los ET tienen funciones importantes en la fisiología celular y en las reacciones bioquímicas en el fito y zooplancton, así como en la actividad microbiana (Morel y Price, 2003; Morel *et al.*, 2003).

La distribución de los elementos en el agua marina está determinada en gran medida por la formación de partículas en la superficie oceánica y su remoción al fondo marino. Las partículas en el ambiente acuático ejercen una considerable influencia en la forma química, dispersión y sedimentación de los elementos presentes de forma natural o emitidos antropogénicamente (Chester, 2003; Turekian, 1977; Wangersky, 1986). Asimismo, la sedimentación de las partículas a zonas profundas es uno de los principales mecanismos de redistribución tanto de nutrientes, como de los elementos traza presentes en la columna de agua. La alteración química, descomposición y disolución de las partículas durante su hundimiento controlan, junto con la circulación oceánica, la distribución del oxígeno, nutrientes, CO<sub>2</sub> y de los elementos mayores y traza disueltos en el agua marina (Broecker y Peng, 1982; Fowler y Knauer, 1986; Millero, 1996). Conocer los procesos

de la formación de partículas en el océano, de su transporte y transformación durante la sedimentación en la columna de agua es por lo tanto crucial en la construcción de los ciclos globales de los elementos en los océanos.

Un flujo importante para modelar y construir los ciclos biogeoquímicos de los ET en el océano, sus mares marginales, bahías y lagunas, es el flujo de la materia particulada en hundimiento y de los elementos particulados en sedimentación. Las partículas en hundimiento continuamente recolectadas por las trampas sedimentarias contienen huellas geoquímicas que dependen de la composición de sus fuentes, de los procesos biogeoquímicos y en particular de las tasas de remineralización en zonas profundas (Anónimo, 1996; Buat-Menard *et al.*, 1989, Buesseler *et al.*, 1990, Honjo y Manganini, 1993; Noriki y Tsunogai, 1986).

Las trampas sedimentarias permiten una resolución temporal superior de la que tienen los registros obtenidos en los sedimentos marinos con el empleo de núcleos. Su uso permite observar el efecto sobre el ambiente marino de fenómenos de corta duración. Tales eventos discretos como los terremotos o anomalías climáticas intensas (ciclones tropicales, monzones, fenómeno de “El Niño”-Oscilación del Sur) pueden jugar un papel importante en la transferencia de grandes cantidades de material sedimentario desde el continente, la plataforma continental o el talud y manifestarse en el flujo de la MPH y elementos particulados en el ambiente marino. Se ha notado que en las cuencas de drenaje pequeñas o medianas los eventos intensos ocasionales transportan a veces más sedimentos que años o décadas de procesos erosivos normales (Depetris, 1996). También debido a la industrialización los flujos de algunos elementos hacia los sedimentos marinos se han incrementado o alterado en las últimas décadas (Schlesinger, 1997).

Ya que el conocimiento de las diversas fuentes y de los procesos de transporte y hundimiento involucrados para cada elemento es necesario para el entendimiento de los ciclos biogeoquímicos de los elementos de los ecosistemas regionales y locales, incluyendo los ambientes marinos de México, en este trabajo se pretende realizar el estudio geoquímico de la variación temporal de los contenidos de los elementos mayores y traza en la MPH y sus flujos particulados verticales en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, en el suroeste del Golfo de California.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Antecedentes generales

#### 2.1.1. Materia suspendida particulada en el ambiente marino

La materia suspendida particulada (MSP) se define como las partículas que se contienen con un filtro de membrana o Nuclepore con un tamaño de poro de 0.45  $\mu\text{m}$ , establecido convencionalmente en los años 60's y 70's (Chester, 2003; Millero, 1996; Libes, 1992; Riley y Chester, 1989).

La concentración de los elementos mayoritarios y traza de la MSP oceánica fue estudiada por varios autores y revisada en forma breve por Chester (2003). Dentro de los trabajos mas destacados sobre la geoquímica de los elementos traza (ET) en la MSP está el de Sherrell (1989) quién realizó un extenso estudio de perfiles verticales en el Mar de Sargasso cerca de las Bermudas (Océano Atlántico) y en aguas de la Corriente de California (Océano Pacífico Nororiental) aplicando la bomba de inmersión ("in situ"), lo que permitió medir los contenidos de varios ET y de los componentes mayoritarios usando diferentes técnicas de lixiviación. Las concentraciones de Cd, Co, Cu, Ni, Pb y Zn particulados cerca de Bermudas fueron menores, comparadas con las determinaciones de estos mismos elementos publicadas con anterioridad, mientras que las concentraciones de los elementos más abundantes Al, Fe y Mn fueron similares a las estimaciones anteriores. Los perfiles verticales de Co, Cu, Ni, Mn, Pb y Zn particulados ( $\text{mol/l}$ ) en el agua circundante a las Bermudas mostraron una depleción relativa en las aguas superficiales, el máximo en la termoclina superior y relativamente constantes concentraciones en las aguas profundas. La similitud en las variaciones de la distribución vertical en la columna del agua entre estos metales tanto disueltos como particulados, en opinión de Sherrell (1989), puede ser causada por la interacción de los metales disueltos con las fases autógenas de Mn. Sobre este tema, en la última década se encuentran publicaciones de estudios en las aguas del Océano Atlántico (Helmers, 1996; Weinstein y Bradley, 2004).

Los elementos traza en la MSP se distinguen por estar entre dos asociaciones genéticamente diferentes: a) los ET asociados con la matriz mineral cristalina (fracción detrítica o residual), los cuales están en forma no disponible, con sus concentraciones fijas en el sitio de intemperismo y b) los ET asociados con el material no cristalino (fracción no detrítica o no-residual) los cuales son las formas disponibles y tienen sus concentraciones alteradas por el intercambio entre las fases disueltas y particuladas. Diferentes asociaciones de los elementos pueden ser identificadas en la fracción no-detrítica, por ejemplo, la fracción intercambiable, la fracción asociada con los óxidos de metales y la fracción asociada con la materia orgánica (Chester, 2003).

Las “formas” de los elementos que constituyeron la MSP del Mar del Sur de China y del Océano Índico (Demina *et al.*, 1985) fueron diferentes en mares continentales y en el Océano Índico, así como en el transepto meridional en el Océano Índico al sur de la Isla Ceylon hasta el ecuador. El Cu de la MSP del Mar del Sur de China en mayor parte fue asociado con la materia orgánica. El aluminio en la MSP cambió su forma predominantemente residual (aluminosilicatos) (casi 90 %), hacia formas más móviles (solo 9 % de la residual) en la MSP colectada en la latitud del ecuador (Demina *et al.*, 1985).

### 2.1.2. Fuentes de los elementos traza (ET) al océano

Las principales vías de entrada de los ET a la capa superficial de las aguas de los océanos son la atmosférica y la fluvial, con las fuentes atmosféricas dominando en muchas de las regiones del océano abierto (Chester, 2003; Salomons y Förstner, 1984). También hay una influencia local en los extremos norte y sur por medio del transporte en hielo.

Los productos del intemperismo de la corteza son los componentes típicos de la MSP de las aguas superficiales, con los principales minerales derivados de la corteza, los aluminosilicatos (minerales arcillosos y feldespatos) y el cuarzo (Chester, 2003). Este mismo autor indica que la contribución de los aluminosilicatos varía mucho regionalmente, desde un 60% de la MSP en los mares marginales de China hasta el 10 % en el Océano Atlántico frente a África Occidental. Las menores



contribuciones de los aluminosilicatos se observaron en los giros del océano abierto a gran distancia de los continentes.

La relación significativa entre los contenidos de algunos elementos traza con los contenidos del Al en el material sedimentario natural se considera generalmente como la evidencia principal de su origen terrígeno/continental (Chester, 2003). En particular, Windom y colaboradores (1989) han mostrado esto para el As, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni y Zn en muestras de sedimentos estuarinos y costeros marinos del sureste de Estados Unidos, colectadas en zonas sin influencia de fuentes contaminantes, sugiriendo que los aluminosilicatos naturales son las fases portadoras de estos metales.

#### 2.1.2.1. Aportes atmosféricos

Buat-Menard *et al.* (1980) propuso usar el análisis instrumental de activación neutrónica para los estudios multielementales, el cual permitiría en trabajos de rutina determinar las concentraciones de 25 elementos en la MSP oceánica y en los aerosoles, considerando este método como esencial para la interpretación de los ciclos biogeoquímicos globales.

Desde hace varios años se sabe que el polvo de zonas áridas es transportado por viento a los océanos con implicaciones relativas de esta fuente continental para la sedimentación marina. Windom (1969) sugirió que en el Pacífico Norte y Sur así como en la parte central del Atlántico, entre el 25 y 75 % de las fases detríticas de los sedimentos marinos provienen del polvo atmosférico. La preponderancia de la entrada por vientos de varios elementos al ambiente marino está ahora claramente establecida, siendo particularmente importante en la plataforma y en áreas semi-cerradas, como en el Mar Mediterráneo (Buat-Menard *et al.*, 1989).

La importancia del aporte continental al océano de las partículas terrígenas a través de la vía atmosférica fue mostrada claramente por Greaves *et al.* (1999), quienes usaron las huellas geoquímicas de los elementos del grupo de tierras raras (ETR). Los patrones de los contenidos de los ETR normalizados con la lutita, fueron determinados en muestras del agua de mar superficial en el trayecto longitudinal desde Asia hasta América del Norte, dentro de la banda latitudinal de 24°N – 32°N.

Las concentraciones de los ETR fueron significativamente mayores cerca de Asia y disminuyeron hasta las más bajas registradas en las aguas superficiales de los océanos en la longitud de 180° en el centro del Océano Pacífico. Los patrones también cambiaron desde el afín a los de China cerca del continente asiático hacia el patrón típico del agua de mar, que se caracteriza por los ETR pesados enriquecidos y el mínimo en cerio (Greaves *et al.* 1999).

La composición de la MPH colectada con trampas sedimentarias frecuentemente refleja el efecto de la depositación a gran escala de polvo atmosférico proveniente del desierto del Sahara (Buat-Menard *et al.*, 1989; Wefer y Fischer, 1993; Kremling y Streu, 1993) o de otras áreas desérticas continentales.

Algunos autores han intentado hacer comparaciones de flujos de áreas a cientos o miles de kilómetros de distancia, por ejemplo para dos sitios al norte del Atlántico (Honjo y Manganini, 1993), para sistemas de surgencia de África (Wefer y Fischer, 1993) y para el Mar Árabe (Haake *et al.*, 1993) entre otros.

#### 2.1.2.2. Influencia de los monzones

La influencia de los monzones sobre los flujos verticales del Al, Fe, Mg y Ti particulados fue estudiada con seis series de tiempo con trampas sedimentarias instaladas en el Mar Árabe oriental, central y occidental (Balakrishnan Nair, 2006). Los flujos anuales de Al en los horizontes de la columna de agua someros y profundos fueron 0.47 y 0.46 g m<sup>-2</sup> en el occidente del Mar Árabe y 0.3 y 0.5 g m<sup>-2</sup> en la parte oriental. Este autor nota que existe una diferencia aproximadamente de 0.9-1.8 g m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> en los flujos litogénicos determinados analíticamente (residuo que se queda después de la lixiviación) y estimados desde los flujos de Al particulado en la parte occidental del Mar Árabe. Esto aparece a causa de flujos mas altos de Mg (como dolomita) en esta parte del mar (6-11 veces más que en la parte oriental de este mismo mar). Los flujos estimados de dolomita en el Mar Árabe occidental varían entre 0.9 a 1.35 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>. Los flujos de Fe particulado en el Mar Árabe fueron menores que los flujos atmosféricos reportados sin alguna evidencia de fracción lábil de Fe en MPH. Más de 75 % de los flujos verticales de Al, Fe, Mg y Ti han ocurrido durante el monzón suroccidental en el Oeste del Mar Árabe. En el

Este del Mar Árabe los mayores flujos de Al, Fe, Mg y Ti particulados en hundimiento fueron registrados durante ambos monzones (nor-oriental y suroccidental). Durante el monzón suroccidental existe un periodo de diferencia cerca de un mes entre los incrementos en los flujos litogénicos y los flujos de la dolomita. Flujos totales litogénicos se incrementan cuando una rama sureña del polvo, traído del noroeste fue desviado por el monzón suroccidental hacia las posiciones de las trampas sedimentarias. El flujo de dolomita se incrementó solo cuando la rama norte (el cual lleva una gran cantidad de dolomita de hasta 60 % de la carga total del polvo) esta desviada por vientos del monzón sur occidental. Así que este fenómeno tiene cierto potencial para usar la razón Mg/Fe como aproximación de los paleo-monzones (Balakrishnan Nair, 2006).

#### 2.1.2.3. Aportes fluviales

Los ríos son la otra fuente importante de partículas que transfieren el material sólido de los continentes a los océanos (Chester, 2003). Una porción significativa de este flujo de material sedimentario es retenida en o cerca de los límites de los márgenes continentales. Este material es derivado de las rocas expuestas en la superficie continental bajo la acción del intemperismo químico y físico, así como del impacto biológico. El aporte de los ríos, además del agua y la fase inorgánica disuelta y particulada, incluye los productos finales de la descomposición de la vegetación circundante, así como de la materia orgánica producida en la zona estuarina e intermareal. Mientras que la fracción gruesa del producto final de la erosión es en mayor medida retenida en la zona de mezcla inicial de las aguas dulces y marinas a baja salinidad de los estuarios, las partículas de tamaño fino, como lodos y arcillas, comprenden la mayor parte del material sedimentario que alcanza la zona costera (Chester, 2003; Salomons y Förstner, 1984).

Además del intemperismo de la corteza continental los componentes externos de la MSP oceánica incluyen las suspensiones orgánicas, los coloides metal-orgánicos floculados y los oxihidróxidos de hierro y manganeso los cuales se forman en los ambientes fluviales y estuarinos (Chester, 2003).

Las concentraciones de metales pesados selectos (Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en los sedimentos superficiales, la MPS y la MPH en el margen continental al sur de Barcelona fueron estudiados para evaluar el impacto ambiental de los metales antropogénicos aportados por el Río Llobregat, en el Mar Mediterraneo (Puig *et al.*, 1999). Las mayores descargas del río remueven los metales acumulados en los sedimentos finos del cauce del río (con anomalías positivas de Cr, Cu y Zn hacia la plataforma continental adyacente y después se transportan a lo largo del talud por la corriente geostrofica sin acumularse en los sedimentos del talud. La MPH colectada por las trampas sedimentarias sobre el talud mostró bajas concentraciones de los metales pesados excepto por unas pocas muestras de la MPH enriquecidas en Cr y Zn. Este enriquecimiento lo relacionan los autores con descargas cortas y esporádicas del río y solo están registrados dentro del cañón submarino Foix, el cual actúa como el conducto principal para la transferencia de los sedimentos para la plataforma-talud en el área del estudio.

Las distribuciones de C, Al, Si, P, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn y Pb en la MPS y MPH en Puget Sound fueron estudiados por Feely *et al.* (1986) para conocer los procesos que afectan la captura de los ET por las fases particuladas entre diciembre de 1980 y diciembre de 1981, usando lixiviación secuencial para extraer los ET asociados con las fases de los óxidos, materia orgánica y residual. Los resultados mostraron que para Mn, Fe, Zn y Pb la fase residual y de los óxidos fueron las más importantes en el control del flujo vertical, mientras las fases residual y orgánica estaban controlando el flujo vertical del Cu. Los flujos promedio anuales de los metales junto con los datos sobre los perfiles verticales de los metales disueltos se usaron para calcular tiempos de residencia de "scavenging" para algunos ET en Puget Sound. Los tiempos residencia de "scavenging" relativamente cortos (< 30 días) fueron obtenidos para los metales, los cuales fueron enriquecidos en las fases de los óxidos, tales como Fe, Mn y Pb. En contraste, tiempos más largos (> 100 días) fueron calculados para los metales enriquecidos en las fases orgánicas, tales como Cu.

Entre otros trabajos de esta línea de investigación puede ser mencionado el estudio de Broman *et al.* (1994) quienes han determinado los flujos y la

concentración de 11 metales (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn), materia orgánica, carbono y nitrógeno en la MPH colectada en 7 exposiciones continuas durante 15 meses con 10 trampas sedimentarias, instaladas a lo largo de un sistema con miembro terminal fluvial (descarga del lago Mälaren) a través de la zona estuarina cercana al archipiélago de Estocolmo hasta el Mar Báltico. Se identificó la disminución rápida del flujo de la MPH y 7 metales particulados desde la zona de mayor influencia de agua dulce hacia las zonas de mayor salinidad. Estos autores encontraron que la distribución y composición de las partículas estaba dominada por las variaciones en el aporte fluvial desde el lago y además tuvieron estacionalidad en la productividad primaria. Las concentraciones de Cu, Hg, Pb y Cd en el interior del área del estudio mostraron los máximos valores dentro del archipiélago de Estocolmo, evidenciando un aporte antropogénico local. El cromo, Fe y Zn también mostraron las señales de los aportes desde el ambiente urbanizado. El flujo de la mayoría de los metales estudiados mostró correlación espacial y temporal con la masa del material (Broman *et al.*, 1994).

#### 2.1.2.4. Aportes hidrotermales

Otros importantes aportes de los ET particulados al ambiente marino son la introducción por fuentes hidrotermales y volcánicas submarinas. Los elementos traza pasan a la fracción particulada a consecuencia de varios procesos de transformación de los elementos aportados básicamente en la fracción disuelta de los fluidos hidrotermales, caracterizados por alta presión (~ 200 atmósferas) y temperatura (50-330° C), concentraciones elevadas de metales traza y condiciones reductoras (H<sub>2</sub>S) y valor bajo de pH (3-5) (Chester, 2003). En el contacto con las aguas frías del mar, oxigenadas y un poco básicas (pH 8.1) ocurren los procesos de precipitación de sulfuros de Cd, Cu, Pb y Zn poco solubles, oxidación de Fe (+2) y Mn (+2) hasta Fe (+3) y Mn (+4) con una consecuente hidrólisis y formación de oxihidróxidos de Fe y Mn, los cuales también juegan el papel de “scavengers” para varios otros elementos traza. En particular, se reportaron altas contribuciones de Mn en las partículas en hundimiento hasta 300-400 m arriba de las ventilas hidrotermales de la Cuenca Guaymas (Tambiev y Demina, 1992). Dymond y Roth (1988), con trampas

sedimentarias, han encontrado que los flujos de Cd y Zn particulados fueron 200 veces mas altos debajo de la pluma hidrotermal, comparándolos con los flujos de estos ET, registrados por trampas sedimentarias instaladas encima de estas plumas del campo hidrotermal de la cordillera de Endeavour del Pacífico Nororiental. Se reportó la existencia de una anomalía positiva de Eu, el cual se introduce en la forma soluble de Eu (+2) con los fluidos hidrotermales, pero en la columna del agua de mar oxigenada se oxida fácilmente hasta Eu (+3) con alta afinidad a las partículas. Esto lo mostraron Murphy y Dymond (1984), al comparar los patrones de los ETR en el material de las trampas sedimentarias, sedimentos y nódulos del Pacífico Oriental tropical. Estos autores mostraron la dominancia de los aportes de los ETR al fondo marino con las partículas en hundimiento y establecieron un hecho interesante. Mientras los fragmentos biogénicos son portadores predominantes de los ETR particulados en la capa superficial de las aguas de esta parte del Océano, las partículas lábiles biogénicas ceden por su importancia como portadores de ETR a las partículas de aluminosilicatos a mayores profundidades (Murphy y Dymond, 1984).

#### 2.1.2.5. Formación de los elementos traza particulados en la columna del agua

a) adsorción de los elementos traza en las partículas y formación de minerales autógenos

La materia particulada puede interactuar con la fase disuelta del agua del mar alterando la concentración de los elementos disueltos, en particular los ET, los cuales se encuentran en muy bajas concentraciones y además ciertas formas de algunos elementos tienen una alta afinidad a las partículas (Bruland, 1983; Nozaki, 1997; Turekian, 1977). Los procesos responsables en la transferencia de los ET disueltos a la fracción particulada del agua de mar son diferentes por su naturaleza y solo de manera formal pueden ser clasificados en procesos químicos (formación de compuestos poco solubles en el agua de mar, hidrólisis y adsorción de iones, complejos y de las moléculas de los ET en partículas ajenas tales como los oxihidróxidos de Fe (+3) y Mn (+4)), bioquímicos (bioacumulación selectiva de los ET por las células vivas del fitoplancton, zooplancton o bacterias), o fisicoquímicos (agregación de partículas pequeñas coloidales hacia las grandes por diversos

mecanismos) (Chester, 2003; Goldberg, 1954; Krauskopf, 1956; Salomons y Förstner, 1984; Santschi, 1984; Santschi *et al.*, 1983). Los expertos en geoquímica ambiental desde hace mucho tiempo reconocen la importancia de la adsorción de los ET sobre la superficie de los sólidos en el control de sus concentraciones en el océano (Goldberg, 1954; Krauskopf, 1956). La remoción de las sustancias químicas de la columna de agua oceánica, por captura sobre la superficie de las partículas y su consecuente transporte hacia los sedimentos del fondo usualmente está referido como “scavenging” químico (Goldberg, 1954). De acuerdo con un trabajo clásico de Krauskopf (1956), las concentraciones de 13 elementos (Ag, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V, W y Zn), en el agua de mar, a excepción de Co, Cr, Ni, V y W pueden ser controlados por los siguientes factores: 1) adsorción por el sulfuro ferroso, oxihidróxido de hierro (+3) hidratado, bióxido de manganeso (+4) hidratado, apatita, arcillas y materia orgánica; 2) reducción, el Cr se supone, puede ser removido por la reducción hacia Cr (+3) y precipitación de su hidróxido, así como otros cuatro ET por reacciones con la materia orgánica; 3) precipitación de los sulfuros de algunos elementos (Ag, Bi, Cd, Cu, Hg, Pb Zn,) en ambientes anóxicos.

Wangersky (1986) en su revisión bibliográfica mostró que el mecanismo predominante que controla las concentraciones de la mayoría de los ET en el océano podría ser la adsorción sobre la MPS de origen biogénico marino. Cierta proporción de los ET, removidos desde aguas superficiales por este mecanismo, se regresa a la solución en aguas profundas a causa de la descomposición microbiana de las partículas, y como resultado, muchos ET disueltos muestran distribuciones verticales en la columna de agua parecidas a las de los nutrientes inorgánicos.

Procesos de reducción-oxidación en la columna de agua marina y de las zonas de mínimo oxígeno (ZOM). La ZOM ( $O_2 \leq 2 \mu M$ ) ocurre en el océano entre 0.5 y 1.5 km y es muy bien expresada en el Pacífico ecuatorial oriental (Wyrski, 1967). Tiende a corresponder a las profundidades de la columna de agua en las cuales el agua de mar está sujeta al incremento relativamente rápido de su densidad, conocido como una pycnoclina. Las aguas superficiales tienen más oxígeno aportado desde la atmósfera por la difusión química a lo largo de la superficie del mar y por la acción del oleaje. También el oxígeno se produce con la fotosíntesis de las plantas marinas

y el fitoplancton. Se supone que la causa principal de la existencia de las intensas ZOM en el océano es la descomposición de materia orgánica que se remineraliza con la participación del oxígeno, provocando la concentración mínima del oxígeno disuelto dentro de la ZOM.

Esta disminución o desaparición completa del oxígeno disuelto es crucial para el comportamiento de la MPH y los elementos mayores y traza particulados (Anderson, 1982). Primero se disminuye la tasa de remineralización de los fragmentos orgánicos de la MPH. El segundo factor es la posible reducción de los elementos mayores y traza, los cuales tienen diferentes estados de oxidación. Estudios previos muestran que el Cd, Cu, Mo, Re, U y V están enriquecidos en los sedimentos anóxicos a diferencia de aquellos que son óxicos (Bertine y Turekian, 1973; Calvert y Pedersen, 1993; Veeh, 1967). Es menos conocido sobre el efecto subóxico ( $<10 \mu\text{mol/L O}_2$  y  $<1 \mu\text{mol/L H}_2\text{S}$ ) en los ambientes depositacionales (Froelich *et al.*, 1979; Van Geen *et al.*, 1995) en la distribución de estos metales en la columna de agua, en el material particulado en hundimiento y en los sedimentos.

Los elementos que con la variación de las condiciones redox pueden cambiar su especiación y la migración biogeoquímica en el ambiente acuoso y sedimentario se denominan redox sensibles. A estos pertenecen varios elementos, entre los más estudiados en este aspecto están el hierro y el manganeso. El manganeso es un elemento biogeoquímicamente activo en el ambiente acuático porque está sujeto a las transformaciones entre las fases disuelta y particulada, principalmente en respuesta a los cambios en pH y las condiciones redox (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2006).

La distribución vertical “típica” de Mn disuelto en el Pacífico Nororiental muestra dos conspicuos máximos: uno cercano a la superficie, el cual fue explicado por el aporte atmosférico y uno subsuperficial, ligado a la zona de mínimo oxígeno (ZOM) (Chester, 2003).

Como resultado algunos elementos se hacen más móviles y se liberan de la fase particulada a la fase disuelta (por ejemplo, Fe y Mn). Otros ET, al contrario, en la columna del agua con poco oxígeno o sin oxígeno cambian su especiación hacia las formas con menor número de oxidación más hidrolizables con mayor afinidad a las



partículas (Cr, Mo, Re, U, V) y se transportan al fondo, incorporándose en la matriz sólida de los sedimentos (Böning *et al.*, 2004; Borchers *et al.*, 2005; Nameroff *et al.*, 2002). Las huellas geoquímicas específicas de los elementos mayores y traza en los sedimentos de un núcleo de gravedad, colectado en un sitio somero (83 m de profundidad) del cinturón diatómico de surgencias frente a las costas del desierto de Namibia (África Sur-occidental) permitieron a Borchers *et al.* (2005) considerar este sistema como intermedio, por combinar alta productividad con la presencia esporádica de H<sub>2</sub>S en la columna de agua. Estos autores lograron encontrar dos tendencias diferentes en este sistema biogeoquímico, el Mo, Re y U se acumulan en los sedimentos por vía química por reducción de sus formas disueltas presentes en el agua de mar, mientras Ag, Cd, Cu, Ni, Tl y Zn requieren para su acumulación en los sedimentos la etapa de la preconcentración biológica. Elementos traza tales como As, Ba, Cr, Se y V muestran un comportamiento geoquímico intermedio entre estas dos tendencias mencionadas. Al enriquecimiento de los metales en los sedimentos lo favorecen las altas concentraciones de los sulfuros en el agua intersticial cerca de la interfase sedimento-agua del mar, lo que lleva a ligeramente elevados contenidos de Co y extremadamente bajas razones de Mn/Al, reflejando el carácter reductivo total del sistema Namibiano. El bajo contenido de Fe total en aquel lugar representa un factor importante, responsable por las erupciones esporádicas de H<sub>2</sub>S (Borchers *et al.*, 2005).

Dos núcleos de sedimentos que corresponden a dos ciclos completos glaciales de la Cordillera Murray, fueron estudiados por Van der Weijden *et al.* (2006). Estos autores describieron la depositación del material dentro de la ZOM (920 m) y debajo (1479 m). Las variaciones de los contenidos de C<sub>org</sub> fueron en correlación entre ambos núcleos, y además altos contenidos del carbono orgánico correlacionaron con una alta insolación y fueron acompañados por una estable e intensa ZOM. Las fracciones litogénicas fueron similares con relativamente constante composición, en particular los contenidos de Co, Cu, Mn, Sb, Se, V y Zn en estas fracciones fueron de acuerdo con los correspondientes valores promedio en lutitas. El contenido de Ni en la fracción litogénica fue más alto que en las lutitas a causa de sus mayores contenidos en el aporte eólico regional. Los contenidos de Mo, Re y U

fueron más altos como resultado de influencias sinérgicas o diagenéticas. En ambos núcleos Mn y Co tienen correlación negativa, y otros elementos correlación positiva con  $C_{org}$ . Los autores opinan que cuatro procesos contribuyen en el enriquecimiento del ambiente sedimentario en los ET: 1) el aporte, como componentes menores o traza en las partículas hidrogénicas y biogénicas; 2) “scavenging” en la columna de agua; 3) retención parcial en los sedimentos durante la descomposición de las fases-portadoras; 4) difusión dentro de los sedimentos a través de la interfase sedimento-agua y consecuente fijación en respuesta a la reducción o la precipitación de los sulfuros. El molibdeno, Re, U y V fueron claramente enriquecidos y Cu, Ni, Se y Zn pueden ser posiblemente enriquecidos como resultado de estos procesos (Dean *et al.*, 2004; 2006; Degens *et al.*, 1977; Van der Weijden *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2002).

En el caso particular de la desaparición completa de oxígeno disuelto y de la reducción consecuente de los sulfatos hasta sulfuros, pueden formarse sulfuros insolubles de los elementos calcófilos tales como CdS, CuS, FeS, PbS y ZnS, los cuales también se incorporan a las partículas y se depositan al fondo, esto ocurre en el Mar Negro, Cuenca Cariaco, los fiordos de Noruega y otras cuencas anóxicas, así como cerca de las ventilas hidrotermales oceánicas (Chester, 2003) o escapes de metano (Treude *et al.*, 2005).

El efecto de la interfase entre la capa óxica y la anóxica sobre la composición y flujos de la MPH y los elementos particulados (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) fue estudiado recientemente por Pohl y colaboradores (2004) para la parte oriental de la Cuenca de Gotland del Mar Báltico con la trampa sedimentaria instalada entre diciembre y febrero de 2001 a una profundidad de 120 m debajo de la pycnoclina. Además de caracterizar el efecto de la interfase entre las capas con oxígeno y sin oxígeno sobre los elementos redox sensibles, estos autores encontraron estacionalidad en la composición de la MPH y los flujos de los elementos particulados en esta cuenca. Durante el invierno la composición del material de la trampa fue dominada por la fracción litogénica del Al y Fe, mientras que durante el verano la materia orgánica particulada fue el principal componente. Los contenidos elevados de los ET (As, Fe, Mn, Pb y Zn) en la MPS fueron atribuidos al transporte

lateral del material aportado por el Río Memel. Para caracterizar la columna de agua los perfiles de salinidad, temperatura, oxígeno, sulfuro de hidrógeno, MPS, y los ET disueltos y particulados fueron obtenidos en paralelo con el experimento de las trampas. El incremento continuo del factor de enriquecimiento (FE) en la MPH fue notado desde diciembre de 1999 a noviembre de 2000, con los valores más altos para el periodo julio-noviembre de 2000 de Cd (FE=280), Zn (FE=87) y Ni (FE=13), probablemente a causa de contenidos bajos de Al litogénico y un incremento en la remoción de los ET indicados por los productos de degradación de los florecimientos de cianobacterias. El plomo mostró la disminución de sus FEs durante el mismo periodo por una posible dilución con partículas de origen biogénico. Correlaciones significativas fueron encontradas entre los flujos de Pb/Al, As/Al, Fe/Al, Cd/C<sub>org</sub>, Cu/C<sub>org</sub>, Zn/C<sub>org</sub> y Ni/C<sub>org</sub> (Pohl *et al.*, 2004).

b) Incorporación de los elementos traza en partículas biogénicas formadas por medio de la fotosíntesis del fitoplancton

Los componentes de la MSP producidos internamente en el océano son los materiales biológicos (los tejidos y las conchas) y los precipitados inorgánicos, junto con algunos componentes de los sedimentos resuspendidos (Chester, 2003). Altas concentraciones usualmente se asocian con regiones de mayor productividad primaria. La materia orgánica particulada (MOP), compuesta de organismos vivos (fitoplancton, zooplancton, etc) y detrito (organismos muertos, desechos fecales, etc) constituyen una fracción grande de la MSP en diferentes aguas superficiales de los océanos, usualmente más de 50 % de los sólidos suspendidos (Chester, 2003). El material esquelético construido por los organismos marinos consiste, en la mayoría de los casos, de carbonato de calcio y de sílice biogénico (ópalo). Los materiales opalinos típicamente predominan en la MSP de las regiones de latitudes altas, mientras las conchas hechas de los carbonatos de calcio pueden predominar en los giros centrales de latitudes bajas (Chester, 2003).

Los ciclos biogeoquímicos de muchos elementos traza son directa o indirectamente movidos por el crecimiento, la muerte, el consumo, el transporte vertical y la remineralización del fitoplancton (Cullen y Sherrell, 1999). Las partículas biogénicas se generan en la capa fótica de la columna de agua por la producción

biológica. El fitoplancton y el zooplancton son constituyentes de las partículas biogénicas las cuales pueden acumular y transferir elementos mayoritarios y traza en el ambiente marino (Collier y Edmond, 1984; Martin y Knauer, 1973). No obstante la importancia ecológica y ambiental de la asimilación de los elementos traza por los autótrofos, hasta la fecha se tienen pocas mediciones de los elementos traza en el fitoplancton en ambientes naturales a causa de las limitaciones metodológicas (Cullen y Sherrell, 1999).

Los resultados del estudio de la presencia de los elementos mayoritarios y ET en muestras de plancton de diferentes ambientes marinos realizado por Collier y Edmond (1984), con el uso de lixiviaciones químicas, han mostrado que la mayor parte de los ET en estas muestras estaba directamente asociada con las fases orgánicas no-esqueletales del plancton. Estas asociaciones incluyen una fracción muy lábil de los ET, la cual rápidamente se libera al agua de mar, inmediatamente después de su colección, y el componente más refractario que involucra un enlace metal-orgánico específico. El carbonato de calcio y el sílice biogénico (ópalo) no fueron portadores característicos de ninguno de los ET estudiados por estos autores. La fase refractaria, que contiene aluminio y fierro en razones típicas para el material terrígeno, estuvo presente en todas las muestras, incluyendo muestras de los ambientes pelágicos distantes al continente, pero en cantidades insignificantes de otros ET.

Las muestras del plancton en este estudio fueron colectadas de aguas superficiales en un intervalo amplio de las razones de ET disueltos/nutrientes, pero las mismas razones elementales en las muestras del plancton fueron relativamente constantes en todos estos ambientes. La composición total y la liberación rápida de los ET y nutrientes (específicamente el fósforo) desde el plancton después de su colección fueron usados para examinar la sistemática de las depleciones de los ET disueltos de las aguas superficiales. Estas razones elementales fueron combinadas con flujos conocidos de los materiales biogénicos mayoritarios para estimar la importancia del plancton en el flujo vertical de los ET particulados. En paralelo con los mayores ciclos oceánicos del carbono y nitrógeno, las fracciones significativas de los ET tomados por los productores primarios deben ser rápidamente regeneradas

para explicar las composiciones elementales observadas y los flujos (Collier y Edmond, 1984). Varios ET ya se consideran como micronutrientes, entre los cuales se destacan cadmio, cobalto, fierro, manganeso y zinc.

El cadmio se encuentra entre los ET más estudiados en la columna de agua oceánica (Chester, 2003). Mientras que el cadmio puede ser tóxico en concentraciones altas, se emplea por el fitoplancton en concentraciones bajas encontradas en aguas superficiales oceánicas y puede jugar un papel en la nutrición de fitoplancton (Lacan *et al.*, 2006). La distribución vertical del Cd disuelto en el océano es semejante al fosfato, con una depleción en la capa superficial al ser consumido por el fitoplancton y con un aumento en las profundidades a causa de la remineralización de las partículas biogénicas en hundimiento y su concentración tiene valores relativamente constantes en aguas profundas (Boyle *et al.*, 1976; Bruland *et al.*, 1978). En el Pacífico Nororiental las porciones del Cd particulado varían en un rango de 0.75 a 9 % (Helmers, 1996). Los factores que pueden influir en la captura del Cd por el fitoplancton son la concentración de Zn (Price y Morel, 1990), la presión parcial de CO<sub>2</sub> (Cullen *et al.*, 1999), tasa de crecimiento y disponibilidad de Fe o Mn (Sunda y Huntsman, 2000). La fraccionación isotópica en el ciclo de Cd en el mar es muy reducida (Lacan *et al.*, 2006).

El fierro es un micronutriente requerido para la actividad fotosintética de los organismos ya que este elemento juega un papel importante en los procesos redox del fotosistema que convierte la luz en energía química y se sabe también que el fierro es necesario en la captación del nitrato por los organismos. En el océano el fierro libre Fe (+3) parece no tener importancia biológica, ya que se encuentra en bajas concentraciones ( $10^{-20}$  M), sin embargo tampoco hay claras evidencias del uso del fierro en forma coloidal. Al parecer el Fe (+2), que es oxidado en una forma muy rápido, del orden de minutos y no llega a tener relevancia biológica. Se ha sugerido que la especie química preferida en la captación de los organismos es el Fe (+3) en forma hidroxilada (Archer y Johnson, 2000). Cerca de los continentes, la concentración de Fe en el agua marina es normalmente adecuada para soportar el crecimiento fitoplanctónico, pero en el Pacífico central Martin y Gordon (1988) encontraron que las fuentes internas de Fe podían sostener solo un pequeño

porcentaje de la producción primaria neta. Con estos resultados se propuso que más del 98 % de la producción nueva en cada área es soportada por el Fe derivado del polvo depositado de la atmósfera y que probablemente más de la mitad de este polvo provenía de los desiertos de China (Duce y Tindale, 1991).

Como se discutió antes (Broman *et al.*, 1994), se observaron variaciones estacionales asociadas con la productividad biológica en 10 trampas sedimentarias, ancladas a lo largo del sistema estuarino en el Mar Báltico cerca de Estocolmo. La variación estacional de la concentración de Cd estaba en correlación, no con la masa, sino con el volumen del material particulado y la concentración de la materia orgánica (MOP, CP y NP) (Broman *et al.*, 1994).

Los relativamente pocos registros de series de tiempo con trampas sedimentarias de flujos de partículas oceánicas sugieren que estos aportan información para el entendimiento de los procesos en la capa superficial de las aguas del océano (Jickells *et al.*, 1996). Existen registros de series de tiempo que muestran flujos altos, con periodos cortos, dominados por ópalo a latitudes altas en la Antártica, mientras que a latitudes mas bajas se reportan patrones de flujos con menor estacionalidad y con un bajo contenido de ópalo (Berger y Wefer, 1990; Dymond y Collier, 1988; Haake *et al.*, 1993; Wefer, 1989; Wong *et al.*, 1999).

En las zonas de surgencia la estacionalidad es reducida con flujos algo mayores durante todo el año y con una variabilidad dependiente de la dinámica particular de cada sistema (Wefer y Fischer, 1993).

c) incorporación de los elementos traza en el zooplancton y sus fragmentos particulados

La distribución, fraccionación y concentraciones de los elementos (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn) en el agua de mar, incluyendo sus fases disuelta y particulada y en copépodos cerca de la salida de descarga de aguas negras en la costa norte de Taiwan fue estudiada por Fang *et al.* (2006). La normalización con las concentraciones de ET en base a una zona prístina proporcionó valores de los factores de enriquecimiento (FEs) que se usaron para evaluar la contaminación de los ET disueltos y particulados en el agua de mar en la zona de descarga de aguas residuales. Estos valores de enriquecimiento mostraron que el área de la descarga

está significativamente contaminada con Fe y Zn disueltos y por Cu, Cr, Fe, Pb y Zn particulados. Asimismo, la mayoría de los ET se reconocieron principalmente en la fase particulada. El porcentaje de los ET particulados con respecto a los ET totales presentaron la secuencia: Al (95%) = Mn (95%) > Pb (88%) > Cu (86%) > Fe (72%) > Zn (32%) > Cr (17.5%) > Cd (3.4%). Por esa razón la contaminación por metales se veía más fácilmente en la MSP, que en la fase disuelta.

Los intervalos en las concentraciones de ET en los copépodos, *Temora turbinata*, *Oncaea venusta* y *Euchaeta rimana*, cerca de la salida de aguas residuales fueron: Cd 0.23–1.81  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Cr 16.5–195  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Cu 14–160  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Fe 256–7255  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Mn 5.5–80.8  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Pb 2.6–56.2  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Zn 132–3891  $\mu\text{g g}^{-1}$  y Al 0.21–1.13 %. Las concentraciones de ET en los copépodos, especialmente *Temora turbinata*, circundante de la descarga de aguas residuales fueron típicamente más altos, que en la estación fuera de la zona de impacto. El incremento promedio en el factor de bioconcentración en los copépodos varió en un rango entre 4 y 7 y siguió la secuencia: Al (6.4) > Cu (6.2) > Fe (6.0) > Zn (5.7) > Pb (5.6) > Cr (5.5) > Cd (5.1) > Mn (4.7).

Los autores llegaron a la conclusión que los copépodos marinos de las aguas al norte de Taiwan pueden acumular ET en concentraciones superiores a las de la línea de base y pueden usarse como indicadores de contaminación.

Además de las fuentes externas para los ET particulados provenientes desde el continente por vías atmosféricas o fluviales, son de gran relevancia varios procesos involucrados en los ciclos biogeoquímicos marinos tales como la producción biológica, la agregación de las partículas biogénicas, terrígenas y autógenas por diferentes mecanismos, incluyendo los recientemente descubiertos exopolímeros, el transporte vertical a la zona media y profunda del océano de productos biológicos y de los agregados de la composición orgánica-inorgánica, la remineralización durante el transporte vertical y la descomposición parcial en el fondo marino (Honjo, 1996).

El bario recientemente se empezó a considerar como elemento no indiferente a la biota marina. Esser y Volpe (2002) en su expedición desde Bahía de San Francisco a lo largo de la Corriente de California frente a la Península de Baja

California han descubierto que el Ba disuelto está en una depleción mayor del 60% en la capa superficial del agua, a causa de su remoción después de ser acumulado por el fitoplancton. Estos autores no encontraron la depleción correspondiente para estroncio, lo que sugiere que los *Acantarians*, con esqueleto de celestita ( $\text{SrSO}_4$ ), no son responsables por la remoción biogénica del Ba de la columna de agua. Esto es una de las indicaciones indirectas de que el Ba en las partículas no solo puede ser de origen terrígeno sino también incluirse por vía biológica en zonas de alta productividad. Lo mismo puede concluirse del perfil típico del Ba disuelto en las aguas del Océano Pacífico, el cual se clasifica como de tipo nutriente, con disminución superficial y un incremento en la profundidad (Nozaki, 1997). El mecanismo de la creación de las formas particuladas del Ba biogénico está todavía en discusión. Una de las versiones más difundidas incluye la idea de que dentro de los organismos planctónicos o agregados en las partículas biogénicas aparecen microambientes en los cuales las concentraciones de los iones de  $\text{Ba}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  aumentan los valores hasta que se alcanza el producto de solubilidad necesario para la formación de  $\text{BaSO}_4$  autógeno insoluble (François *et al.*, 1995; Jeandel *et al.*, 2000).

En el Mar Árabe las mediciones realizadas con trampas sedimentarias instaladas en las partes Este, Central y Oeste por Balakrishnan Nair *et al.* (2005) da los flujos de Ba y Ba biogénico particulados, los cuales mostraron fuerte correlación lineal entre los flujos de Ba en exceso y los flujos del ópalo biogénico y carbono orgánico, indicando el origen biogénico del Ba particulado. Tal correlación entre los flujos biogénicos y del Ba en exceso son muy fuertes en las áreas de productividad uniforme, como el centro del Mar Árabe, comparando con las regiones de la productividad episódica. Los autores consideran que los procesos involucrados en la precipitación del Ba particulado son menos activos durante los periodos de flujos biogénicos altos. Para el cálculo de flujo en exportación se usa el algoritmo especial (François *et al.*, 1995) o los flujos de  $\text{C}_{\text{org}}$  (Sarnheim *et al.*, 1988) en las diferentes profundidades.

Mientras los procesos involucrados son bastante complejos de interpretar, se mostró que un incremento de ~35 % de flujos de Ba y el incremento de las razones



Ba/C<sub>org</sub> se documentan entre 919 y 2002 m en la parte occidental del Mar Árabe. Este incremento puede ser a causa de la incorporación de Ba dentro de las pelotillas fecales de mezozooplankton hundido hacia las profundidades o por “scavenging” de Ba por oxihidróxidos de manganeso. Esta captura de Ba por oxihidróxidos de manganeso parece ser más probable, cuando la concentración de Mn en exceso excede ~200 mg kg<sup>-1</sup>, especialmente en las partes occidental y central del Mar Árabe, donde se reporta la precipitación in situ de los óxidos de Mn (Balakrishnan Nair *et al.*, 2005)

Sánchez-Vidal *et al.* (2005) aplicaron estos conceptos para el Ba en la MPH del Mar de Alborán en la parte occidental del Mar Mediterráneo en los datos obtenidos por trampas sedimentarias, a 500–700 m, 1000–1200 m y 30 m arriba del fondo marino y en profundidades de 1000–2200 m, entre julio de 1997 y mayo de 1998. Estos autores han mostrado, que la relación entre bio-Ba y C<sub>org</sub> en este sistema marginal es distinta de la relación descubierta para el océano abierto. En el Mar de Alborán los flujos promedio anuales de bio-Ba fueron en un rango de 0.39 a 1.07 μmol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, con concentración promedio de 1.31–1.69 μmol g<sup>-1</sup> y las razones bio-Ba/C<sub>org</sub> son más bajas que en el océano abierto. Sánchez-Vidal *et al.* (2005) indicaron que el cálculo de bio-Ba en sus muestras fue extremadamente sensible a la razón de Ba detrítico al Al, porque la fracción del Ba litogénico varía entre 24 y 85 % del Ba total. La eficiencia incrementada de la exportación de bio-Ba se observaba después de los periodos de alta productividad primaria y esto sugiere que los procesos que limitan la formación de bio-Ba en esta área se relacionan con la dinámica del hundimiento de los agregados de la materia orgánica (MO). El efecto del arrastre de las abundantes partículas litogénicas y de los carbonatos puede limitar la descomposición de los agregados de MO y aumentar la transferencia de las partículas ricas en C<sub>org</sub> y relativamente pobres en bio-Ba al fondo marino. Además, el aporte lateral del material biogénico recientemente sedimentado, incluyendo el bio-Ba particulado, fue observado en el bajo talud continental en la parte occidental del Mar de Alborán. Estas observaciones generaron la recomendación de los autores de ser cuidadoso en el uso de bio-Ba como aproximación de la productividad en

exportación desde la superficie del océano en los altamente dinámicos ambientes, tales como el Mar de Alborán (Sanchez-Vidal *et al.*, 2005).

En la naturaleza del océano no siempre hay separación clara entre los procesos “inorgánicos” y “biogénicos”. Observaciones fueron realizadas por Li *et al.* (2004) con trampas colocadas a 500 m de la superficie y a 500 m arriba del fondo oceánico en la estación SHIBT (29°30' N, 135°15' E, aprox. a 4600 m de profundidad) cerca del centro del giro oligotrófico subtropical de la cuenca Shikoku en el Pacífico Nor-Oeste de febrero a diciembre de 1999 y de junio a septiembre de 2000, con la colecta de la MPH de alta resolución. Los componentes mayoritarios de las partículas en hundimiento, tales como CaCO<sub>3</sub>, oxihidróxidos de Fe–Mn, materia orgánica (MO), ópalo y aluminosilicatos litogénicos (arcillas) fueron medidos por lixiviación secuencial. El flujo biogénico (CaCO<sub>3</sub> + MO + ópalo) en la trampa de arriba constituyó el 93 % del FMT en el año 1999 y el CaCO<sub>3</sub> fue el componente predominante en ambas trampas. Flujos biogénicos más altos se observaron en primavera, cuando cuatro florecimientos planctónicos ocurrieron entre febrero y mayo de 1999. En la primavera la razón isotópica de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr de la fracción de las arcillas fue en un intervalo 0.7163–0.7188 consistente con las razones isotópicas de Sr en el polvo de Asia. Esta coincidencia de alto flujo biogénico con el aporte del polvo de Asia sugiere la posibilidad de que la alta productividad biológica de esta área oligotrófica podría ser afectada por el aporte del polvo de Asia en primavera.

#### 2.1.2.6. Productividad primaria en el océano como una fuente de elementos traza particulados biogénicos

Usando el análisis multielemental de las partículas de aguas de la plataforma continental y del talud, Sherrell y Simonet (2004) suponen, que el fitoplancton domina la composición total particulada para algunos ET (Cd, Cu, Zn), mientras las partículas no-vivas dominan otros (Ti, Fe), y algunos (Mn, Co) pueden estar en cualquiera de los dos grupos mencionados. Los resultados de estos autores muestran consistencias cuantitativas con los resultados de los experimentos con los cultivos de diatomeas en el laboratorio, y es prometedor, en su opinión, para mejorar las predicciones de los flujos verticales de ET particulados asociados con la exportación

del carbono desde la zona eufótica con los característicos regímenes oceánicos (Sherrell y Simonet, 2004).

Los flujos y la composición química de la MSP están estrechamente relacionados con las características del ambiente en el cual ocurre su sedimentación y la fuente de dióxido de carbono atmosférico (Honda *et al.*, 1997). Se ha documentado que hay una gran influencia de los aportes episódicos de pequeños ríos en los flujos anuales de sedimentación en la plataforma continental (Hsu *et al.*, 2004; 2006). Asimismo fuerzas naturales de mediana a gran escala pueden propiciar el movimiento de masas submarinas y jugar un papel importante en el aporte de los componentes terrígenos a los sedimentos del fondo de las cuencas profundas (Mulder y Cochonat, 1996).

Elementos litogénicos como el aluminio, escandio, titanio, torio y los elementos del grupo de las tierras raras generalmente se encuentran incorporados dentro de aluminosilicatos u otro material refractario de procedencia continental, tienen alta afinidad a las partículas y por lo tanto la abundancia de estos elementos en las partículas es usado como un indicador para esclarecer los procesos del transporte de material litogénico en la columna de agua y su procedencia en los sedimentos marinos (Otosaka y Noriki, 2000; Shumilin *et al.*, 2002).

La sedimentación de las partículas a zonas profundas es uno de los principales mecanismos de redistribución de carbono, fósforo, nitrógeno y sílice, así como de los ET presentes en la columna de agua (Broecker y Peng, 1982; Fowler y Knauer, 1986).

La materia particulada y/o disuelta puede interactuar y alterar la concentración de los elementos en solución. Los sedimentos del fondo marino representan un reservorio de elementos que llegan a ser liberados a través de la interfase sedimentos-agua marina por la disolución, desorción y procesos biológicos autolíticos. De esta manera, cambios de pH y de potencial redox en los sedimentos pueden producir reacciones químicas que movilizan algunos ET liberándolos al agua intersticial y a capas de agua de la interfase mencionada y capas de agua superiores. Los factores físicos (corrientes) y biológicos (bioturbación por

organismos) son agentes que facilitan el intercambio de los ET y el agua. Los organismos son asimismo un medio para el transporte y la acumulación de los ET.

#### 2.1.2.7. Aporte antropogénico

La contribución antropogénica de los metales traza en la MPH y sedimentos superficiales fue también determinada exitosamente en la plataforma continental de alta energía adyacente a Sydney en Australia por Matthai *et al.* (2002) en la cercanía de la descarga principal de las aguas residuales de esta ciudad y en cinco sitios de control de la plataforma continental media. Las trampas sedimentarias fueron puestas en 10 ocasiones hasta 2 semanas en el verano e invierno de 1995 y la MPH fue analizada para Ag, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn. De acuerdo a estos autores, el Co, Fe, Mn y Ni se comportaron de manera conservativa en la MPH y en los sedimentos y se usaron como elementos normalizadores para determinar el enriquecimiento antropogénico, lo cual fue reportado para Ag, Cr, Cu, Pb y Zn cerca del sitio de descarga de las aguas residuales y en sitios de control, mientras las partículas de los desechos solo contribuyeron con < 5 % de los metales totales en la muestra total (Matthai *et al.* 2002).

#### 2.1.3. Materia particulada en hundimiento

La MSP presente en el océano es una mezcla compleja de partículas de diferente origen, algunas de las cuales tienen fuentes externas al ambiente marino (aporte continental natural y antropogénico), y otras se producen dentro del océano (materiales biogénicos y autógenos marinos, así como los agregados que se forman en el ambiente marino mediante diferentes procesos de coagulación o floculación. La MSP difiere en su tamaño de grano y tasas de sedimentación y puede ser dividida en dos grandes grupos: a) un grupo pequeño en su masa total, pero numeroso en cantidad de partículas, que comprende a la materia particulada fina con una tasa de depositación lenta y b) un grupo de mayor masa y tamaño de grano que consiste principalmente de agregados de partículas biogénicas con las partículas terrígenas o autógenas, que demuestra un relativamente rápido hundimiento. Este último grupo es el objeto de este estudio y se denomina materia particulada en hundimiento (MPH).

Las trampas de sedimentos han sido ampliamente usadas para examinar procesos biogeoquímicos y tasas de remineralización en zonas profundas del océano (Anónimo, 1996). Estos instrumentos oceánicos han sido empleados también para el estudio de distribuciones verticales y de los ciclos de los elementos traza y de los radionúclidos en el océano (Buat-Menard *et al.*, 1989; Buesseler *et al.*, 1987, 1990; Spencer *et al.*, 1978).

Las partículas en sedimentación transportan eficientemente el material biogénico derivado de la producción primaria y el no biogénico como los minerales arcillosos (Biscaye y Anderson, 1994; Ittekkot *et al.*, 1991; Otsuka y Noriki, 2000; Otsuka *et al.*, 2004).

Entre los componentes importantes de las partículas biogénicas están los macronutrientes, tales como el N, C, Si y P, siendo este último un nutriente esencial importante para la incorporación de los ET en las partículas desde la fase disuelta. Usualmente los organismos fitoplanctónicos lo consumen en forma de fosfato disuelto y lo transforman a fósforo particulado. Como resultado de este consumo de  $\text{PO}_4^{3-}$  con la formación del fósforo orgánico e inorgánico particulado y su consecuente hundimiento y remineralización en las partículas. Se han mostrado evidencias de que a la acumulación de fósforo en el fitoplancton lo acompañan los ET, en particular el cadmio, aún se discuten los posibles mecanismos que controlan estas acumulaciones entre el P y el Cd en el ambiente marino (Chester, 2003).

Los flujos de la MPH,  $\text{C}_{\text{org}}$ , nitrógeno total y del fósforo total y la composición de la MPH fueron determinados en el Mar Adriático nor-oriental en dos sitios costeros afectados por las descargas de los ríos Po y Adige y un sitio fuera de la zona costera (Giani *et al.*, 2001). Los flujos verticales fueron fuertemente influenciados por los procesos de resuspensión en adición al flujo primario y la advección. El material resuspendido contribuía en promedio 34–43 % de la MPH colectada por las trampas sedimentarias cerca del fondo en las aguas costeras. La exportación del carbono al fondo fue limitado durante épocas cálidas, cuando constituía solo 2-9 % de la producción primaria, a causa del alto reciclamiento y utilización en la capa superior de la columna de agua, incrementándose a 8-18 % en

el invierno a causa de la inestabilidad de la columna de agua y la baja utilización biológica.

La materia particulada fina desciende principalmente por asociación con la materia particulada agregada, la unión entre las dos formas de la materia particulada ocurre por “acarreo”.

La mayoría del flujo de material es acarreado hacia el fondo de la columna de agua en asociación con los agregados de gran tamaño, como las pelotillas fecales y la nieve marina. Por lo tanto el transporte vertical de los ET particulados es dominado por el flujo global del carbono.

La intensidad de los flujos en la columna varía dependiendo en relación a la productividad primaria en el agua superficial.

Las partículas en hundimiento en la columna que se refieren a los flujos de perfiles en muchas plataformas son extremadamente complejos como resultado de aportes de material por el transporte lateral y la resuspensión en este ambiente.

Además de la influencia de las fuentes de aporte de los sedimentos, una gran cantidad de factores están considerados como reguladores en los flujos de sedimentos en el mar, como la producción primaria (Nair *et al.*, 1989), direcciones y escalas en los flujos oceánicos (Honjo, 1996), descargas de ríos (Ittekkot *et al.*, 1991) y cambios en los patrones de circulación oceánica inducidos por eventos climáticos (Nair *et al.*, 1989).

Pocos datos están disponibles sobre los contenidos de los ET en la materia particulada fina de la columna de agua. Por lo tanto los estudios reportados por Westerlund y Öhman (1991) proporcionan información útil. En particular, estos autores han reportado un contenido alto de Cd en aguas superficiales en el Mar Weddell, lo que probablemente es generado por la biota.

Deuser *et al.* (1983) mostraron que había una fuerte correlación entre los flujos del carbón orgánico (biogénico) y el aluminio (litogénico) en una trampa de sedimentos puesta a 3200 m de profundidad en el Mar Sargasso.

Las concentraciones de los elementos del grupo de tierras raras (ETR) en la MPH fueron caracterizados por varios autores (Lerche y Nozaki, 1998; Tachikawa *et al.*, 1997; Ootosaka *et al.*, 2000). Los contenidos de los ETR en la MPH fueron

medidos para investigar la fraccionación de estos ET durante el “scavenging” y el hundimiento a través de la columna de agua (Lerche y Nozaki, 1998). Las asociaciones de los ETR en la MPH fueron también investigadas por lixiviación secuencial con tres tratamientos químicos. El flujo vertical de las partículas en hundimiento incrementado con la profundidad sugiere una adición significativa a los horizontes profundos. Ninguna variación sistemática en la concentración de los ETR en la MPH fue observada con respecto a la profundidad o a la estación del año. Los patrones de los contenidos de los ETR normalizados con la lutita fueron planos o con los pesados ligeramente enriquecidos y ETR con enriquecimiento en los medios, en el cual el máximo fue centrado en Gd o en Eu y una anomalía positiva de Ce. Las lixivitaciones secuenciales indicaron patrones característicos para los ETR normalizados. La lixiviación con el ácido acético mostró un patrón marcado con los ETR medios enriquecidos con el máximo en Eu y anomalía negativa del Ce. La lixiviación “suave” con HCl/HNO<sub>3</sub> obtuvo el patrón de los ETR medios enriquecidos con el máximo en Gd, pero sin anomalía negativa de Ce. La fracción residual mostraba el patrón de los ETR casi plano con una marcada anomalía positiva de Ce y frecuentemente los ETR medios enriquecidos con el máximo en Gd, típico para los materiales fosfatados. Diversos autores sugieren que los ETR adsorbidos en las partículas suspendidas fueron alterados en algunas fases refractarias antes o durante el transporte por el hundimiento. Estos resultados son comparados con los reportados previamente para partículas suspendidas y en hundimiento en otras partes del océano. También se menciona que existe la posibilidad de que la barita autógena formada en el microambiente alrededor de los agregados puede efectivamente coprecipitar los ETR, atraídos por las superficies de las partículas (Lerche y Nozaki, 1998).

#### 2.1.4. Efecto de los eventos episódicos sobre la composición de las partículas y los flujos de la materia particulada en hundimiento

El efecto de los eventos episódicos de alta energía (huracanes, terremotos, tsunamis) sobre la sedimentación marina ya fue descifrado en varios registros sedimentarios en núcleos de sedimentos finos laminados, colectados en las cuencas

marginales del océano (Bourrouilh-Le Jan, 1998; Bourrouilh-Le Jan *et al.*, 2007; Gonzalez-Yajimovich *et al.*, 2007; Gorsline *et al.*, 2000). Desafortunadamente, este tipo de registros no permite caracterizar los fenómenos de corta duración y con suficiente resolución, tales como los huracanes o inundaciones de las zonas costeras.

Mientras ha crecido el número de publicaciones dedicadas a la composición elemental y los flujos de MPH en el océano abierto y los mares costeros (Collier *et al.*, 2000; Kuss y Kremling, 1999a,b; Otsuka y Noriki, 2000; Silverberg *et al.*, 2004; Tambiev y Demina, 1992), además de las observaciones sobre la influencia en la composición de la MPH y los flujos elementales a causa de los cambios estacionales en los aportes del material terrígeno a través de la descarga fluvial (Hsu *et al.*, 2004; Ittekkott *et al.*, 1991), se obtuvieron evidencias de que los eventos meteorológicos y las surgencias locales también pueden influenciar los flujos de materia particulada terrígena y biogénica marina. Las tormentas del polvo de Sahara afectan fuertemente la composición y flujos de la MPH a través del Océano Atlántico (Buat-Menard *et al.*, 1989; Ratmeyer *et al.*, 1999). Cortas pero fuertes tormentas de polvo en el Norte de China causan picos en los flujos de la MPH en el Mar de Japón y en el Pacífico Occidental adyacente (Li *et al.*, 2004; Otsuka *et al.*, 2004). Las tormentas de polvo fueron también reportadas como fuente de las partículas fuera de América del Norte en su parte Suroccidental (Lisitsin, 1996; Trasviña *et al.*, 2003).

Mientras algunos estudios han reportado la influencia de los huracanes sobre las temperaturas de la capa superficial del agua del océano (Dickey *et al.*, 1998; Zedler *et al.*, 2003), intercambio de CO<sub>2</sub> en la interfase aire-agua (Bates *et al.*, 1998) y la productividad marina (Davis y Yan, 2004; Malone *et al.*, 1993; Walker *et al.*, 2005), su impacto sobre los flujos de las partículas en el océano es raramente descrito en la literatura. Una rápida acumulación de lodo, asociado con la propagación del delta subacuoso de la plataforma continental Atchafalaya cerca de la boca del Río Mississippi fue reportado después de los ciclones tropicales “Isidoro” y “Lili” (Allison *et al.*, 2005). Fuertes olas y corrientes asociadas con los huracanes se reconocen como la causa de la resuspensión de los sedimentos de la plataforma continental y que las aguas turbias pueden persistir por algunos días (Chang *et al.*,



2001; Keen y Glenn, 2002). El paso del huracán “Fabián” sobre Bermudas en septiembre del 2003 causó resuspensión de los sedimentos en los taludes al Sur de Bermudas por las grandes olas internas y las corrientes de rotación, transportando grandes plumas de sedimentos de los arrecifes fuera de la costa. Este evento, captado con la trampa sedimentaria anclada a 75 km de la costa, ha generado los flujos más grandes observados durante series de tiempo de 28 años de duración, aportando una cantidad de carbonatos al mar profundo, como normalmente ocurre en el año completo (Conte, 2005; Weber *et al.*, 2006). Flujos extremadamente altos (de 4 a 70 veces más que lo normal) fueron registrados sobre la plataforma continental de Mississippi/Alabama en el Golfo de México en las trampas instaladas cerca del fondo, cuando el huracán “George” pasó en el área del estudio (Sager *et al.*, 2001).

## 2.2. Antecedentes regionales

### 2.2.1. Zona de mínimo oxígeno en el Golfo de California (GC) y su importancia para la biogeoquímica de los elementos traza en los sedimentos.

En el GC la distribución de los ET en la columna de agua puede ser complicada a causa de que expone las influencias continentales y las condiciones oceánicas, que pueden afectar la distribución “típica” de los elementos traza, tales como el Mn. Por ejemplo, la circulación termohalina está caracterizada por salida superficial de las Aguas del Golfo de California (Gulf of California Waters-GCW), combinado con la entrada al golfo a entre 200 y 500 m de profundidad de las masa del aguas subtropicales subsuperficiales (subtropical Subsurface Waters-SSW) y las masa del agua intermedia del Pacífico (Pacific Intermediate Waters-PIW), ambas llegando del Pacífico Nororiental adyacente (Bray, 1988). También, las aguas superficiales del GC reciben importantes aportes del material litogénico desde el continente árido, o a través del aporte fluvial estacional (Thunell, 1998a) o por aporte eólico de polvo (Carriquiry *et al.*, 2001),

Los datos sobre la distribución del Mn disuelto y particulado en el GC son escasos, excepto para la región intensamente estudiada en la Cuenca de Guaymas

(Campbell *et al.*, 1988) localizada a una profundidad de 1600 m. Menos se conoce sobre las fuentes y procesos que controlan la distribución espacial y temporal del Mn en la columna del agua del golfo. El estudio de Delgadillo-Hinojosa *et al.* (2006) presenta los perfiles verticales del Mn disuelto y particulado a lo largo del eje principal del GC y muestra que son comparables con los perfiles reportados para el Pacífico Nororiental abierto (Landing y Bruland, 1987). Sin tener un balance completo del Mn en el GC, este trabajo muestra que la distribución vertical del Mn está influenciada por las fuentes externas, tales como la depositación del polvo eólico y aporte de los sedimentos, y por los procesos internos tales como la mezcla vertical, disolución reductiva in situ y “scavenging” de las partículas. En particular, el manganeso en condiciones anóxicas o subóxicas puede pasar del estado de oxidación (+4) con afinidad a la fracción particulada al estado de oxidación (+2), en la cual predomina este elemento en fracción disuelta (Chester, 2003; Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2006).

Brumsack y Gieskies (1983) reportaron los perfiles de los elementos mayoritarios y menores para las aguas intersticiales extraídos de los sedimentos de la ZOM del Golfo de California, con una mayor atención al Al, Ba, Cr, Fe, Mn, Mo y V. Los elementos mayoritarios y los nutrientes muestran perfiles de concentración versus profundidad típicos para los sedimentos anóxicos laminados con la reducción de los sulfatos, que ocurre cerca de la interfase sedimento-agua, acompañados por el incremento de alcalinidad y amonio. La fuerte correlación de las concentraciones de Cr, Mo y V con la absorbancia de la “sustancia amarilla” refleja la importancia de la materia orgánica disuelta para la movilidad de estos tres elementos durante la diagénesis temprana.

### 2.2.2. Estudios de la materia suspendida particulada

Una de las primeras caracterizaciones generales de relativamente grandes partículas de la MSP en las aguas superficiales del Golfo de California fue realizada por Zeitschel (1970). Este autor trabajó con muestras de MSP de la zona eufótica de este mar marginal. Los resultados de los análisis con el contador de partículas de Coulter, microscópicos y químicos mostraron, que la mayoría de los parámetros

medidos se encuentran en correlación, el volumen total de las partículas con el diámetro de 2 a 150  $\mu\text{m}$ , medidos con el contador de Coulter, se correlacionaron significativamente con parámetros tales como la concentración de cestón, nitrógeno particulado, carbono particulado, carbono de fitopláncton y clorofila "a" (Zeitschel, 1970).

Douglas *et al.* (2007) recientemente integraron la información que relaciona el forzamiento climático, productividad primaria y la distribución de los sedimentos biogénicos en el Holoceno en el Golfo de California. Esta revisión e integración actualiza resultados de diferentes estudios meteorológicos, biológicos y sedimentológicos en este mar marginal.

### 2.2.3. Estudios con trampas sedimentarias

Los únicos datos con trampa sedimentaria para el Golfo de California fueron obtenidos para la MPH, sílice, carbono orgánico, carbonatos y materiales litogénicos durante una serie de tiempo larga (1990-1996) sobre la Cuenca de Guaymas por Thunell (1998a). Este autor observó abundante material biogénico en las partículas sedimentarias, y como en los casos antes mencionados, el sílice biogénico (asociado a la mezcla por mareas y de surgencias que impulsaron la producción del fitopláncton) fue el componente predominante comparando con otros componentes biogénicos (carbonato de calcio y carbono orgánico).

Los datos de base sobre la variabilidad temporal del flujo de masa total (FMT), las abundancias y los flujos de sílice biogénico, carbonato de calcio, materia orgánica y material litogénico para el presente estudio se presentaron parcialmente por Silverberg *et al.* (2006) y la secuencia completa de enero de 2002 a noviembre de 2005 por Aguirre Bahena (2007). Estos autores revelaron un grado considerable de variación en la composición y flujo de las partículas sedimentarias en Cuenca Alfonso. El FMT cambia por un orden de magnitud entre principios de la primavera y finales del otoño, pero también hay cambios en escala más pequeña lo que influencia directamente a los flujos de los elementos estudiados.

Asimismo se encontró para esta cuenca una alta proporción de carbonatos asociada con bajos flujos totales que han sido relacionados a los periodos

oligotróficos en varias cuencas de la margen del Océano Pacífico (Silverberg *et al.* 2004; Ziveri y Thunell, 2000), durante los cuales el nanoplancton de cocolitofóridos prolifera a expensas de las diatomeas silíceas (Silverberg *et al.*, 2006). El promedio de los flujos de  $\text{CaCO}_3$  en la Cuenca Alfonso ( $0.128 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) es mucho más grande que el  $0.05 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  determinado en la Cuenca de Guaymas (Ziveri y Thunell, 2000). Esto favorece el incremento en los componentes terrígenos ya que hay relación con la dilución de los componentes marinos como el sílice biogénico, carbono orgánico y el  $\text{CaCO}_3$ .

Entre los trabajos por su importancia para la zona de estudio destaca el reporte de Nameroff *et al.* (2002). Aunque la duración de exposición de sus trampas fue corta, con base en un estudio integral en el talud continental frente a Mazatlán en el sureste del Golfo de California lograron mostrar la importancia de la ZOM para la migración biogeoquímica de los metales traza redox-sensibles en la columna de agua, los perfiles verticales de algunos metales traza disueltos, acumulados en la MPH y en los sedimentos de un polígono pequeño con un gradiente de oxígeno disuelto en el agua.

Los únicos datos sobre las concentraciones de algunos elementos mayoritarios y traza en la materia suspendida particulada, colectada por filtración de la capa superficial del agua, en 23 estaciones en la Laguna y Bahía de La Paz durante las diferentes épocas del año 2002 en los meses de enero, mayo y septiembre con mayor y menor precipitación e intensidad de vientos en la zona fueron presentados por Romero (2003). El mostró que los contenidos de los metales Al, Fe, Mn, Cu y Cd en la MSP tienen variaciones espacio-temporales, las cuales están controladas por factores naturales, tales como el viento, precipitación y corrientes. En particular, la resuspensión de los sedimentos por los vientos de invierno promueven al aporte de Al y Fe en la zona somera de la laguna y de la bahía, mientras que la advección del agua del GC mediante la remoción provoca el enriquecimiento de Mn y Cd en la MSP en la parte sur de la bahía.

Se tiene ya conocimiento de la composición química de los sedimentos de la Laguna y Bahía de La Paz y del material terrígeno acumulado en los cauces secos de los principales arroyos de la cuenca de drenaje de la Bahía de La Paz, cerca de

sus desembocaduras (Green Ruiz, 2000; Rodríguez Meza, 1999; Rodríguez Castañeda, 2002; Shumilin *et al.*, 2001), así como las distribuciones verticales de los ET en los núcleos de los sedimentos y los resultados de la fechación de los núcleos con el  $^{210}\text{Pb}$  en exceso (Rodríguez Castañeda, 2002; Shumilin *et al.*, 2000; Shumilin, datos personales).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Existe la necesidad de extender el estudio del destino geoquímico de los elementos mayores y traza, sus contenidos y flujos en el ambiente de la Bahía de La Paz y área adyacente del Golfo de California.

Se logró en años recientes ampliar el número de elementos estudiados en sedimentos superficiales y en sedimentos finos con núcleos de alta resolución y así obtener cierto conocimiento sobre las regularidades de acumulación de los elementos de la parte profunda de Bahía de La Paz (Rodríguez Castañeda, 2002; Shumilin *et al.*, 2000, 2001). La trampa de sedimentos, instalada en la Cuenca Alfonso de la Bahía de La Paz desde enero de 2002, proporciona muestras de materia particulada en hundimiento (MPH) para el estudio de su composición química y la comparación de ésta con la composición química de la MPH y de los sedimentos de otras áreas de estudio, así como con los sedimentos acumulados en el fondo de la Bahía de La Paz y de la Cuenca Alfonso en particular.

Puede esperarse que la mayor resolución temporal de la colecta de las muestras por la trampa de sedimentos permita interpretar los fenómenos de corta duración, posiblemente importantes para la geoquímica de los elementos traza y la sedimentación en la Bahía de La Paz.

Los patrones de los contenidos normalizados con la lutita norteamericana de los elementos del grupo de las tierras raras en diferentes materiales continentales y marinos, pueden ser útiles en la interpretación del origen del material sedimentario interceptado en la columna de agua con la trampa de sedimentos.

En la Bahía de La Paz se cuenta con un estudio preliminar con el fin de establecer el marco ambiental de la zona, en el que se determinaron las concentraciones de elementos mayores y traza en los sedimentos marinos superficiales, en tres núcleos de sedimentos y en muestras de macroalgas. Con los resultados se pudieron establecer tres principales patrones de acumulación de los elementos en los sedimentos superficiales, con lo que se puso de manifiesto la gran influencia de los aportes terrígenos de materiales erosionados continuamente de las formaciones circundantes e integrados al cuerpo de agua. También se concluyó que

los elementos que presentan el mayor enriquecimiento en los sedimentos superficiales son el As, Sb y Se (Rodríguez Castañeda, 2002).

Por lo anterior se planteó este estudio para elucidar las causas naturales o antropogénicas que controlan las variaciones temporales de la composición química de la MPH colectada por la trampa sedimentaria en la Cuenca Alfonso en la Bahía de La Paz y de los flujos de los elementos particulados.

Igualmente, interpretar cómo cambia la composición elemental de las partículas durante su sedimentación en la columna de agua, así como determinar la contribución de las fuentes terrígenas y marinas en la composición del material sedimentario.

#### **4. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Mediante el empleo de los indicadores geoquímicos se puede hacer una evaluación de la contribución relativa de los materiales terrígenos y biogénicos marinos en la composición de la materia particulada en hundimiento colectada por una trampa sedimentaria.

#### **5. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES**

##### **5.1. Objetivo general**

Caracterizar la variación temporal de la composición elemental de la materia particulada en hundimiento y los flujos de los elementos mayoritarios y traza particulados así como sus posibles causas y factores que controlan esta variabilidad, en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, en el Suroeste del Golfo de California, durante el periodo 2002-2005.

##### **5.2. Objetivos particulares**

1. Estudiar la variación de la composición elemental de la MPH, colectada por una trampa sedimentaria, con atención especial a algunos de los indicadores geoquímicos de partículas terrígenas como el aluminio, el escandio y el grupo de las tierras raras, así como de las partículas biogénicas marinas como calcio, estroncio y bario.

2. Establecer las asociaciones de los componentes mayoritarios y elementos traza en la MPH de la zona de estudio y en base a esta información determinar las fuentes de aporte de los componentes mayoritarios (Al, Ca y Fe) y de los elementos traza (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, U, V, Zn y los elementos del grupo de las tierras raras) particulados hacia los sedimentos de la Bahía de La Paz.

3. Caracterizar la variación temporal de los flujos de los elementos particulados en hundimiento en la Cuenca Alfonso de la Bahía de La Paz y estimar el papel de eventos episódicos como los ciclones tropicales en los flujos anuales de los elementos particulados hacia los sedimentos.



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de la Paz se encuentra ubicada en la zona suroriental de la península de Baja California y es el cuerpo de agua más grande del litoral Este de la Península de Baja California con una superficie de aproximadamente 2,635 km<sup>2</sup>. Se localiza entre los 24° 10' N y los 24° 47' N y los 110° 20' W y 110° 44' W (Figura 1). La región es de clima seco y cálido y se localiza dentro de una franja de clima de tipo seco desértico que incluye a todo el Golfo de California, la península de Baja California y una parte importante de la zona Noroeste de México.

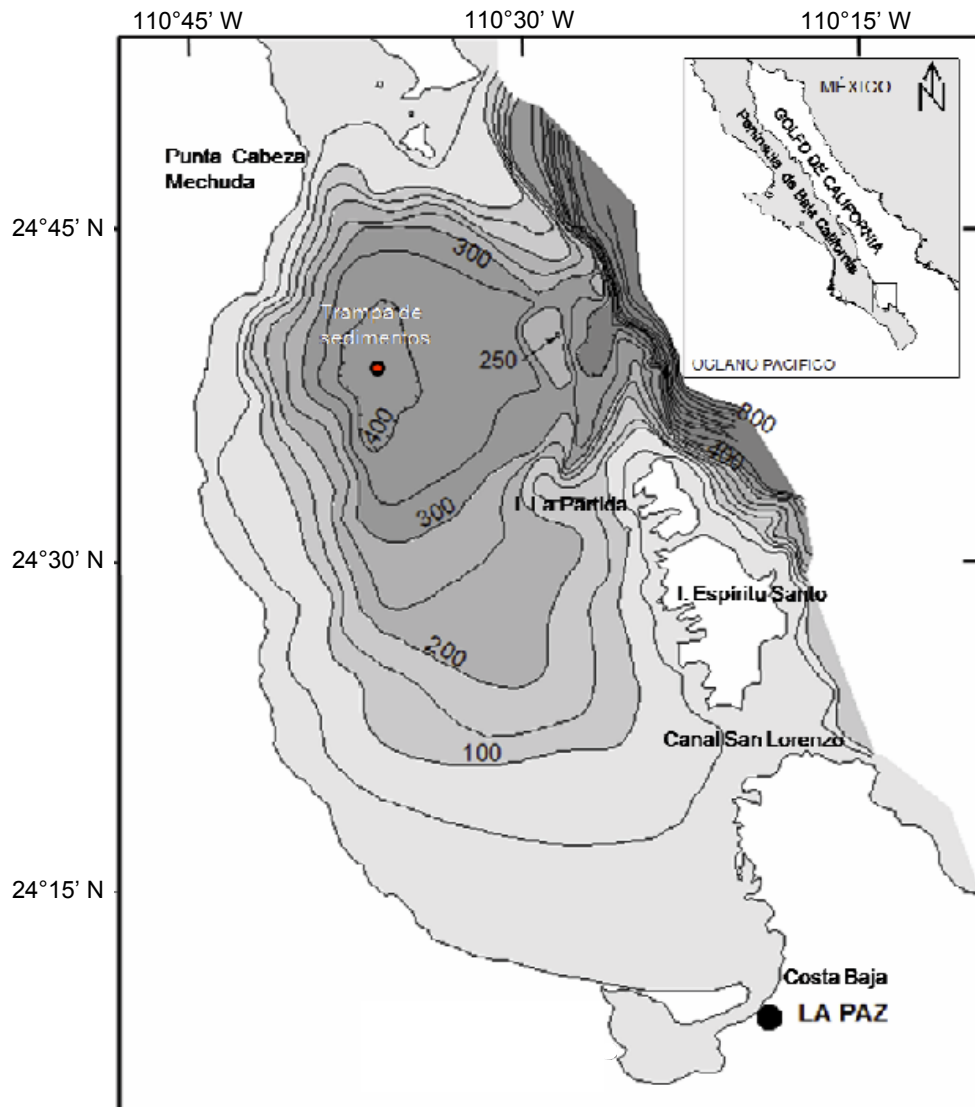
### 6.1. Condiciones climáticas e hidrológicas de la zona de la Bahía de La Paz

#### 6.1.1. Hidrología de la Bahía de La Paz

A excepción de las escasas lluvias temporales que se presentan, la Bahía de La Paz carece de una fuente de aporte de agua dulce.

La temperatura promedio del agua de la Bahía de La Paz es de 24.7 °C con un intervalo de 20 a 29.5 °C. La salinidad media del agua superficial es de 36 ‰ (Villaseñor-Cázales, 1979).

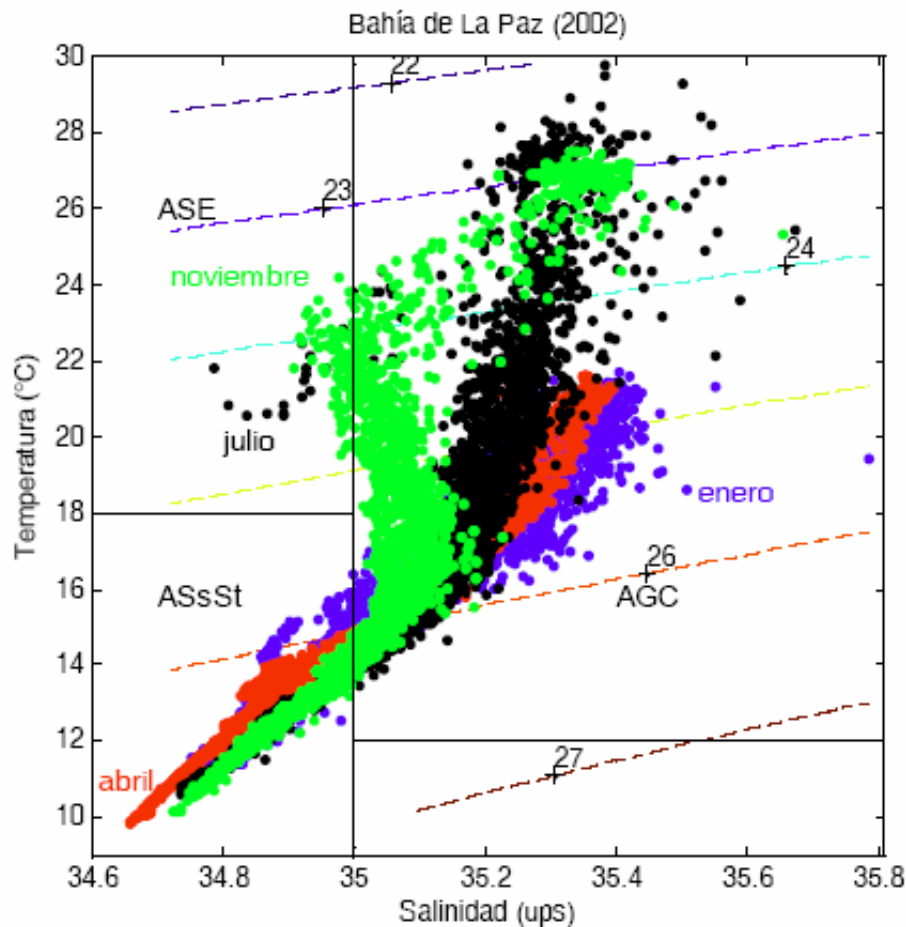
En cuanto a las corrientes superficiales del interior de la bahía Salinas-González (2000) reportó una velocidad dentro de un intervalo de 8 a 20 cm/s, dependiendo de las condiciones del viento en la superficie y de la marea, mientras que las corrientes más profundas (30-40 m) tienen la mitad de la velocidad de las corrientes superficiales, pero manteniendo la misma dirección del flujo de marea. Los principales factores que gobiernan la circulación y la estructura termohalina de la Bahía de La Paz son la fuerte estructura barotrópica y la fuerza de los vientos (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997). Se describe por Monreal-Gómez *et al.* (2001) que la circulación estuvo influenciada durante junio del 1998 por vientos del sureste y en el invierno por vientos del noroeste. Salinas-González (2000) reporta dos protuberancias de agua menos salinas y más cálidas al centro y sur de la bahía, la existencia de dichas zonas se explica por la presencia de giros en el sentido de las manecillas del reloj.



**Figura 1.** Área de estudio y localización de la trampa de sedimentos. Modificado a partir de Nava-Sánchez *et al.*, 2001.

En cuanto a las masas de agua se describe la presencia de tres tipos en la bahía, agua del Golfo de California (AGC;  $S \geq 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T \geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$ ), agua superficial ecuatorial (ASE;  $S < 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T \geq 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y agua subsuperficial subtropical (AssSt;  $34.5 < S < 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $9 < T < 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Figura 2).

Dentro de la bahía se presenta un giro ciclónico inducido por los vientos del noroeste, con una profundidad de 150 m. El giro ciclónico origina un proceso de divergencia, el que teóricamente, podría incrementar la productividad primaria del área (Monreal-Gómez *et al.*, 2001; Obeso-Nieblas *et al.*, 2004; Salinas-González *et al.*, 2003; Sánchez-Velasco *et al.*, 2004; 2006).



**Figura 2.** Características de temperatura y salinidad de las masas de agua de la Bahía de La Paz. Tomado de Aguirre Bahena (2007).

Según los perfiles hidrológicos en octubre de 1999 se reporta una capa superficial de mezcla de 35 hasta 45 m de profundidad, con una distribución vertical de T y S casi constante, la termoclina y pinoquina son encontradas entre los 40 y 60 m de profundidad, la zona más profunda es de gradiente suave hasta el fondo.

Dichas características prevalecen durante el periodo de otoño con lo que se hace posible la existencia de la capa de mezcla de un grosor significativo. Dicha estratificación da origen a procesos hidrodinámicos en la bahía que inciden en la posible distribución vertical y horizontal de organismos planctónicos así como del material disuelto y suspendido en el agua de mar, sin embargo para otros periodos de muestreo se reporta una capa de mezcla muy delgada o inexistente (Salinas González, 2000).

#### 6.1.2. Vientos

A pesar de que los vientos dominantes estacionales del Golfo de California provienen del noreste en invierno y primavera y del sureste en verano y otoño, el viento en las zonas costeras es muy variable, con la prevalencia del sistema de brisas. En la bahía se reporta un régimen de vientos que cambia del día a la noche. En invierno (de noviembre a mayo) provienen del noroeste por la mañana y después del crepúsculo cambian a vientos del sur. Durante el resto del año (verano) los vientos del sureste durante el día y del suroeste después del crepúsculo, son los dominantes. El patrón de vientos estacional desempeña un papel importante en la circulación superficial de la Bahía, y puede generar un desplazamiento de agua y afloramiento de nutrientes (Jiménez Illescas *et al.*, 1994; Salinas González, 2000).

En la Bahía de La Paz, durante los años de este estudio y con datos de la estación meteorológica del CIBNOR, Aguirre Bahena (2007) reporta que en los meses de mayo a octubre los vientos soplan predominantemente del sureste, mientras que de octubre a marzo lo hacen del noroeste. También reporta periodos de transición en marzo y abril en los que la dirección predominante del viento se invierte en cuestión de días.

El fenómeno de “brisa” es importante y es producto de la diferencia de disipación de la energía en la frontera mar-tierra. Esto se presenta en el verano ya que durante el día la temperatura de la tierra es marcadamente mayor a la del mar. Este contraste da lugar a que el aire frío que esta sobre el mar tenga un desplazamiento hacia la tierra (Obeso *et al.*, 2002).

### 6.1.3. Precipitaciones pluviales

Las precipitaciones pluviales en la región de La Paz se caracterizan por ser escasas con una permanente estacionalidad, con un promedio anual de alrededor de 120 mm año<sup>-1</sup>. Las lluvias más frecuentes ocurren en el verano e invierno, son escasas en el otoño y prácticamente ausentes en la primavera. Los meses con mayor precipitación son septiembre y de agosto, a causa del pasaje de los ciclones tropicales. En cuanto a la variación interanual, la precipitación es variable, en el año 2003 con la ocurrencia de dos huracanes (“Ignacio” y “Marty”) la precipitación máxima fue de 199 mm, mientras que en el 2005, el año más seco del periodo estudiado, fue de 53 % con respecto al máximo valor observado (Aguirre Bahena, 2007).

## 6.2. Rasgos geomorfológicos y geológicos de la zona

Estructuralmente la Bahía de La Paz es un graben tectónico con orientación norte-sur que se extiende hacia el sur incluyendo los valles de La Paz y El Carrizal. Esta estructura mayor está limitada geográficamente por la Sierra de La Giganta que conforma el pilar occidental y por la Sierra de Las Cruces que constituye el pilar oriental. El límite norte no está definido, pero el límite sur probablemente se encuentre en la convergencia de las fallas de La Paz y El Carrizal aproximadamente al norte de la población Todos Santos. Las fallas de La Paz y El Carrizal son los límites del graben al oriente y occidente respectivamente.

### 6.2.1. Batimetría

Los datos batimétricos de la Bahía de La Paz muestran profundidades muy variables. En su porción sur es un cuerpo de agua relativamente somero y de pendiente suave. Su profundidad aumenta hacia el norte, presentando un cause a partir de los 200 m de profundidad que desemboca en la depresión Alfonso con una profundidad máxima registrada de 400 m (Cruz Orozco *et al.*, 1989; 1996; Nava-Sánchez, 1997).

En cuanto al relieve submarino, el margen sureste de la península se caracteriza por la presencia de plataformas y taludes estrechos de poco desarrollo,

ya que son márgenes relativamente jóvenes y con escasos aportes sedimentarios provenientes de la península. Así las pendientes pronunciadas son rasgos frecuentes en el fondo marino de esta región sólo suavizados en aquellos sitios con aporte considerable de sedimentos desde las áreas continentales como es el caso del sur de la Bahía de La Paz.

Se distinguen dos rasgos estructurales en el fondo de la bahía, una falla en la parte central con rumbo suroeste a partir del extremo norte de la Isla La Partida y un alineamiento de montes submarinos denominados “Bancos más allá del Espiritu Santo” (Cruz Orozco *et al.*, 1990). Este alineamiento se encuentra constituido por tres promontorios cuya cima se encuentra entre 250 y 300 m de profundidad. Se observan otros rasgos morfológicos como la cuenca de la parte norte de aproximadamente 400 m de profundidad (Figura 1), las pendientes abruptas del fondo del margen occidental insinuando cañones y promontorios, posiblemente asociadas a trazas de falla, y la pendiente suave del sur asociado con un régimen de aporte de sedimentos desde el valle de La Paz. En la parte central se destaca un comportamiento del relieve del fondo que sugiere una zona de flujo hacia la cuenca profunda y es muy probable que este rasgo corresponda a un paleocauce pre-holocénico relacionado a un nivel del mar varias decenas de metros por debajo del nivel actual a lo largo del cual escurrieron los drenes de aquella época y otra posibilidad es que corresponda a un cause activo de transporte de sedimentos de la zona somera a la profunda. También se destaca el promontorio submarino del límite norte que se extiende en dirección sureste continuando un alineamiento con las islas y los montes sumergidos. Este conjunto está sugiriendo la existencia de una guía estructural de todos estos elementos que puede tener su continuación en la Falla La Paz.

### 6.3. Sedimentación y sedimentos

Diversos autores han trabajado y publicado información sobre la sedimentación y composición de los sedimentos en la Bahía de La Paz y, en particular, en la Cuenca Alfonso (Douglas *et al.*, 2007; Gorsline *et al.*, 2000, González-Yajimovich, 2004; González-Yajimovich *et al.*, 2007; Herguera *et al.*, 2003;

Molina-Cruz *et al.*, 2002; Nava-Sánchez, 1997; Pérez-Cruz, 2000, 2006; Rodríguez-Castañeda, 2002; Shumilin *et al.*, 2000). Las interpretaciones paleoceanográficas de los registros sedimentarios de los núcleos colectados en la Cuenca Alfonso muestran la alternación de los periodos cálidos y fríos en la historia reciente de la Cuenca Alfonso (Pérez-Cruz, 2006). Este autor, basándose en la fechación con  $^{14}\text{C}$  y estudios de la composición y la abundancia de las especies de radiolarios y la susceptibilidad magnética presume la ocurrencia de dos regímenes climáticos mayores y varios eventos cortos desde hace 7700 años en la zona de estudio. Las condiciones más cálidas y secas que actualmente conjeturan existen desde hace 7700 a 2500 años a C., favoreciendo la intensificación de la evaporación y predominancia de las Aguas del Golfo de California en la cuenca. Este estudio evidenció la ocurrencia del periodo cálido de 2400 hasta 700 años a C., con la predominancia del agua Ecuatorial Superficial en la Cuenca Alfonso, sugiriendo la intensificación de los fenómenos de El Niño en esta época. Al contrario, los eventos con las surgencias y alta productividad biológica se relacionan con los periodos de los eventos fríos a 5730, 3360, 2700, 1280 y 820 años a C. (Pérez-Cruz, 2006).

Otro tipo de registros sedimentarios de la Cuenca Alfonso se usó para reconstruir la temperatura de la superficie del mar en los últimos 300 años (Herguera *et al.*, 2003). Estos autores a partir de la composición isotópica del oxígeno en los caparazones del foraminífero planctónico *Globigerina bulloides*, preservados en la Cuenca Alfonso, opinan que hubo mayor variabilidad interanual de la temperatura de la superficie del mar en el invierno que de las de verano para las últimas dos décadas, y los inviernos más fríos se presume ocurrieron entre 1700 a 1830 años (Herguera *et al.*, 2003).

#### 6.4. Productividad biológica

La productividad primaria de las aguas de la Bahía de La Paz de manera indirecta se caracterizó por Reyes Salinas (1999). Se reporta la variabilidad estacional de la productividad primaria relacionada con el grado de estratificación vertical de las aguas de la bahía (Reyes Salinas *et al.*, 2003). Según lo reportado por Verdugo Díaz (2004) se observó que en la zona eufótica de la Bahía de La Paz los

diferentes grupos fitoplanctónicos están dominados por las diatomeas y en segundo término por los dinoflagelados, incrementándose la presencia de estos últimos durante el periodo cálido (primavera-verano). Asimismo concluye que la formación de asociaciones microplanctónicas entre los diferentes niveles de profundidad fue más evidente durante el periodo cálido, ya que las condiciones de estratificación favorecen de manera general la formación de asociaciones de especies arriba y debajo de la termoclina.

Esegún los resultados obtenidos por Verdugo Díaz (2004), los valores de la concentración de clorofila presentaron sus máximos en un nivel subsuperficial, correspondiente a 10 % de irradiancia, alcanzando el valor puntual mayor en septiembre de 2000 con  $15.7 \text{ mg Cl a m}^{-3}$ , mientras que el valor mínimo se describió para mayo de 2001 con  $0.41 \text{ mg Cl a m}^{-3}$ .

De forma mas puntual Aguirre Bahena (2007) describió en base a imágenes de satélite la concentración de la clorofila *a* en la superficie del área de la Cuenca Alfonso, con lo que mostró una alta variación con picos episódicos que ocurrieron consistentemente en junio y de igual magnitud en los meses de enero y febrero. La mayor concentración encontrada fue de  $5.4 \text{ mg m}^{-3}$  en junio de 2003. Mientras que de agosto a noviembre y de marzo a mayo usualmente se observaron periodos con bajas concentraciones de clorofila *a*, con un valor mínimo para todo el periodo de  $0.177 \text{ mg m}^{-3}$  con un promedio de  $0.71 \pm 0.58 \text{ mg m}^{-3}$ , asimismo se destaca el hecho de que casi el 80 % de los datos corresponden a una concentración  $< 1 \text{ mg m}^{-3}$ .



## 7. METODOLOGÍA

### 7.1. Recolección de muestras

La recolección de muestras de la MPH fue realizada por el grupo de trabajo dirigido por Dr. N. Silverberg. Los detalles concretos de los muestreos, así como los datos del flujo de masa total, de los contenidos y flujos del material litogénico, de carbonato de calcio, sílice biogénico (ópalo) y carbono orgánico se presentaron en la tesis doctoral correspondiente (Aguirre Bahena, 2007).

La colecta de la MPH se hizo con una trampa de sedimentos de plástico de alta densidad con una apertura de 0.125 m<sup>2</sup>, colocada en la Cuenca Alfonso (24°39'N; 110°36'W) a una profundidad de 360 m, soportada por boyas que brindan 160 kg de tensión con el fin de mantener la orientación vertical de la trampa. La trampa cuenta con un motor programable con capacidad para 12 botellas recolectoras de 250 ml. Los intervalos de muestreo fueron de aproximadamente cada tres o seis meses, por lo que se tuvo una resolución de entre siete - ocho a quince días de colecta para cada muestra. Debido a problemas con el funcionamiento del motor de la trampa en algunos periodos de colecta no se hizo o se presentó una resolución mayor.

Las botellas recolectoras se llenaron con una solución de formaldehído al 4 % que se preparaba con agua de mar filtrada (a través de filtros de 0.45 µm) a la que se le agregó sal de mesa (NaCl) de alta pureza para obtener una salinidad de 40 ups. La densidad resultante evitó el intercambio con el agua de mar del ambiente dentro de la trampa.

La muestra del material colectado se pasó a través de un tamiz con una luz de malla de 1000 µm con el fin de eliminar los agregados grandes y el zooplancton. Después del tamizado las muestras se dividieron en 10 fracciones mediante un fraccionador rotatorio para proveer 10 submuestras iguales. Estas submuestras se recolectaron en tubos de 50 ml previamente tratados con HCl al 10%, lavados con el agua desionizada y secados. Las muestras se lavaron con agua desionizada para eliminar las sales, centrifugando y decantando la solución nuevamente. Las muestras se secaron en un horno durante al menos 48 h a ~50° C. Después de que los tubos

se aclimataron a temperatura ambiente en un desecador, se pesaron para calcular la masa del material.  $\frac{1}{10}$  parte de la cantidad de cada muestra de MPH fue proporcionada a nuestro grupo de trabajo en forma seca homogenizada para sus estudios geoquímicas de los elementos mayoritarios y traza.

## 7.2. Análisis químico

### 7.2.1. Determinación de masa total seca de las muestras, contenidos de ópalo biogénico, carbonatos y carbono orgánico

En todas las muestras de MPH se hizo el análisis del ópalo biogénico, carbono orgánico y carbonatos. Los detalles de estas determinaciones, sus precisiones, exactitudes y límites de detección se presentaron en la tesis doctoral de Aguirre Bahena (2007). Los datos obtenidos en este trabajo se usaron en nuestros tratamientos estadísticos para ver las asociaciones de los componentes mayores y los ET.

### 7.2.2. Determinación de fósforo

En las muestras en que no se usó amortiguador fosfático y que se tuvo suficiente masa de MPH, se realizó la determinación del fósforo inorgánico y del fósforo orgánico en el laboratorio de la Dra. Claudia Benítez-Nelson en el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Carolina del Sur (E.U.A.) con la técnica clásica modificada para una mayor efectividad.

La determinación correcta del contenido de fósforo orgánico (FOP) e inorgánico (FIP) en la MPH para tener la exactitud y precisión necesarias para interpretaciones confiables requiere una cantidad mínima de 25 mg de la MPH (Benítez-Nelson, comunicación personal). En las alícuotas correspondientes del material sedimentario de la trampa, el fósforo particulado total (FPT) y el fósforo inorgánico particulado (FIP) fueron medidos con la adaptación al método propuesto por Aspila (Aspila *et al.*, 1976). El fósforo orgánico particulado (FOP) está estimado por diferencia (FPT – FIP). Con esto cada fracción es definida analíticamente y la fracción de FIP puede contener algunos lixiviados por ácido de las moléculas

orgánicas lábiles que contienen fósforo, tales como los azúcares, mientras el FOP puede contener algunos compuestos inorgánicos, tales como los pirofosfatos (Benítez-Nelson, 2000; Benítez-Nelson *et al.*, 2007). Para conocer la exactitud analítica y la variabilidad entre las series, el material estándar de referencia NIST 1573a (hojas de tomates) fue probado en cada serie de análisis. Este estándar de referencia fue seleccionado a causa de su semejanza en el contenido de fósforo con las muestras (0.216 %) y porque está compuesto de material orgánico fresco (Tabla 1).

**Tabla 1.** Resultados del análisis de determinación de fósforo en el material de referencia NIST 1573a, E.U.A

Límite de detección (mg kg <sup>-1</sup> )	Valor certificado (mg kg <sup>-1</sup> )	Resultado del material de referencia (mg kg <sup>-1</sup> )	Exactitud (%)
15.5	2159 ± 40	2165 ± 34	0.3

### 7.2.3. Determinación no destructiva de los elementos mayoritarios y traza por el método del análisis de activación neutrónica instrumental

La evaluación de los elementos en las submuestras de MPH se realizó con el análisis de activación neutrónica instrumental, en el Instituto de Geoquímica y Química Analítica de V.I. Vernadsky de la Academia de Ciencias de Rusia (Moscú, Rusia). Una parte de cada muestra inicial se empaquetó en papel aluminio, al igual que los estándares de referencia, y se irradiaron con neutrones termales (flujo =  $2.8 \times 10^{13}$  n/s cm<sup>2</sup>). La radioactividad inducida de cada muestra se midió con un espectrómetro de rayos gamma, marca Nokia con 4096 canales y con detector Ge (Li) de alta resolución. Las fuentes espectrométricas de los rayos gamma fueron usadas para la calibración instrumental (<sup>152</sup>Eu) (Shumilin *et al.*, 2000). Se determinó el contenido de los siguientes elementos: As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, Rb, Sc, Sb, Se, Sr, U, Zr, así como de ocho elementos del grupo de las tierras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu).

La exactitud del método se evaluó aplicando los estándares de referencia nacionales e internacionales incluyendo de los sedimentos estuarinos y marinos NIST 1646a, IAEA-356 y SD-N-<sup>1</sup>/<sub>2</sub> (IAEA). La exactitud obtenida en el laboratorio para cada elemento en conjunto de los estándares, así como los límites de detección de los elementos por este método se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Exactitud y límites de detección de los elementos analizados por activación neutrónica.

Elemento	Límite de detección (mg kg <sup>-1</sup> )	Exactitud (%)
As	0.8	8 - 10
Ba	80	10 - 15
Ca	5000	8 - 10
Co	0.05	2 - 5
Cr	2	2 - 5
Cs	0.5	8 - 10
Cu	100	15 - 20
Fe	100	2 - 5
La	0.2	0.02 - 0.05
Lu	0.04	0.05 - 0.08
Rb	15	8 - 10
Sb	0.5	8 - 10
Se	0.5	10 - 15
Sc	0.05	2 - 5
Sm	0.05	0.02 - 0.05
Tb	0.05	8 - 10
U	0.2	5 - 8
Yb	0.2	0.05 - 0.08

7.2.4. Determinación de los elementos mayoritarios y traza en las soluciones de las muestras digeridas por diferentes métodos de análisis (espectrofotometría de absorción atómica con flama, ICP-AES (óptico) y espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS))

Otra serie de elementos en las submuestras de la MHP fueron analizados aplicando diferentes métodos, espectrofotometría de absorción atómica con flama, ICP-AES (óptico) y espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS). Los Resultados del análisis por ICP-MS del material estuarino de referencia NIST 1646a, E.U.A, se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados del análisis por ICP-MS del material estuarino de referencia NIST 1646a, E.U.A

Elemento	Límite de detección (mg kg <sup>-1</sup> )	Resultado del análisis del material de referencia. NIST 1646 <sup>a</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Valor certificado NIST 1646a (mg kg <sup>-1</sup> )
Cu	0.22	11.0 ± 1.4	10.01
Mo	0.21	1.7 ± 0.2	1.8
Ni	6.6	30.2 ± 2.6	23
V	1.2	43.7 ± 3.4	44.84

#### 7.2.5. Digestión de las muestras de MPH

Para estos análisis se pesó cada submuestra y se puso en vasos de PFA (perfluoralkoxy) con capacidad de 50 ml. Se le realizó una digestión adicionando una mezcla 10:4 por volumen de HF y HClO<sub>4</sub> concentrados y bidestilados con un calentamiento a 120 °C hasta la formación de una pasta gelatinosa. Se adicionaron 2 ml de HClO<sub>4</sub> para eliminar los restos de HF y desintegrar sus sales, la solución obtenida se evaporó hasta sequedad total. Después de enfriar el vaso se preparó la solución final con 100 ml de solución acuosa al 2 % de HNO<sub>3</sub> y 10 µg l<sup>-1</sup> de la solución utilizada como estándar interno.

#### 7.2.6. Mediciones de las concentraciones de los elementos mayoritarios (Al, Mn) en muestras digeridas

Las concentraciones de Al y Mn en las soluciones muestras digeridas se determinaron aplicando el método de espectrofotometría de la absorción atómica (con flama) o por ICP-AES óptico del Instituto de Geofísica de la UNAM. La exactitud del análisis y los límites de detección de los elementos determinados se valoraron con el estándar de sedimento estuarino NIST 1646<sup>a</sup> (Tabla 4).

**Tabla 4.** Resultados del análisis por ICP-AES del material estuarino de referencia NIST 1646a, E.U.A.

Elemento	Valor certificado (mg kg <sup>-1</sup> )	Exactitud (%)
Al	22970±180	0.78
Mn	234.5±2.8	1.2

#### 7.2.7. Mediciones de las concentraciones de los elementos traza en muestras digeridas

El análisis cuantitativo de las concentraciones de los ET en las muestras digeridas se realizó con el método de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) en un instrumento marca VG Elemental modelo Plasma Quad3<sup>®</sup> en el Instituto de Geofísica de La UNAM bajo la supervisión de la Dra. Ofelia Morton Bermea. En esta técnica la solución a analizar fue introducida en un flujo de argón y se induce un calentamiento de aproximadamente 10,000° C. A esta temperatura el gas y todo lo contenido en el son atomizados e ionizados, formando un plasma que provee una fuente rica de átomos excitados y ionizados. Los iones positivos en el plasma son concentrados por un espectrómetro de masas cuadripolar.

Con los datos obtenidos se realizó una curva de calibración con seis puntos de concentración (blanco, 0.1 ppb, 1 ppb, 10 ppb, 100 ppb y 200 ppb) de una solución acuosa certificada mutielemental de metales pesados (ICP-MS-QCS-19, SPEX, High Purity), con la adición del estándar interno a cada uno de los estándares y muestras, esto con la finalidad de corregir fluctuaciones inmediatas del instrumento y efectos de la matriz. Por cada 10 muestras se efectuó la digestión de un blanco con la finalidad de cuantificar una posible contaminación entre las muestras y paralelamente se efectuó la digestión de material de referencia certificado con matriz semejante a las muestras analizadas (“Sedimento estuarino” NIST 1646a, E.U.A).

### 7.3. Análisis estadístico

Los cálculos de los flujos de los elementos particulados se efectuaron al multiplicar la concentración del elemento en consideración en una submuestra seca ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por el valor de flujo de masa en este periodo en unidades de  $\text{kg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

Para el análisis de los datos se emplearon los parámetros estadísticos básicos como el valor promedio, la desviación estándar, el máximo y el mínimo y los coeficientes de correlación, calculados con el empleo del programa computacional STATISTICA 5.0.

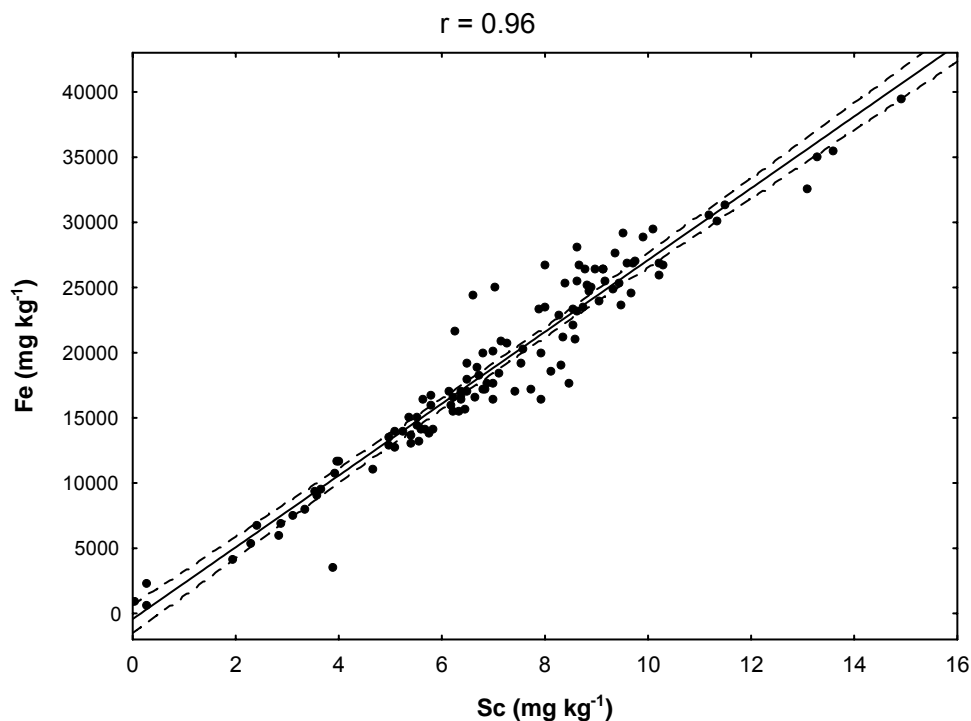
El tratamiento estadístico de los datos incluye el cálculo de las razones de los contenidos de los elementos, empleando elementos de referencia como el Al y el Sc, los cuales son indicadores de origen terrígeno (Windom *et al.*, 1989). También se aplicó el análisis de componentes principales (APC) y el análisis de cluster para distinguir las asociaciones de los elementos en el material sedimentario y evaluar la posible contribución de diferentes fuentes en la composición de los sedimentos y otros materiales sedimentarios (Basilevsky, 1994; Danielsson *et al.*, 1999). El ACP es un método multivariado usado para la reducción de los datos y apunta en encontrar unos pocos componentes que expliquen la mayor variación de la concentración de los elementos en el material sedimentario.

Con el fin de tratar de compensar la variabilidad natural de los metales traza en los sedimentos y estimar la incorporación de un elemento en los sedimentos terrígenos (Windom *et al.*, 1989; Loring, 1991), se calculó el factor de enriquecimiento (FE). Como indicadores del aporte terrígeno comúnmente se emplean el Al, Cs, Rb y Sc. En este estudio se decidió usar al escandio como elemento normalizador tomando en cuenta los resultados de las correlaciones ( $n=117$ ) entre estos elementos, en los que el Sc mostró ser superior con un valor de  $r=0.96$  (Figura 3).

Con base de estas observaciones los factores de enriquecimiento de los elementos (FE) se calcularon mediante la siguiente expresión:

$$FE_{\text{corteza}} = ([\text{El}]/[\text{Sc}])_{\text{MPH}} / ([\text{El}]/[\text{Sc}])_{\text{corteza}}$$

donde  $[El]_{MPH}$  es la concentración del elemento estudiado ( $mg\ kg^{-1}$ ) en la MPH y  $[El]_{corteza}$  es la concentración del elemento en la corteza continental ( $mg\ kg^{-1}$ ). Se emplearon los datos de los contenidos de Sc obtenidos para MPH y reportados por Taylor (1964) para la corteza continental.



**Figura 3.** Regresión lineal y correlación de los contenidos de Sc y Fe en la materia particulada en hundimiento

En el caso de los elementos del grupo de las tierras raras, para establecer la variabilidad natural del elemento, se efectuó una normalización con las concentraciones promedio determinadas para la lutita norteamericana por Taylor y McLennan (1985), así como los calculos de la anomalía de europio y las razones  $La_n/Yb_n$ , propuestos por Otosaka y Noriki (2000) para tener mayor información sobre el origen del material terrígeno que fue colectado por la trampa sedimentaria.

Con la finalidad de determinar que tan significativo fue el empobrecimiento de Eu en la MPH de la Cuenca Alfonso de La Bahía de La Paz, se empleó la ecuación



$$Eu_{anom} = \frac{2 Eu_n}{Sm_n + Gd_n}$$

donde se consideran los valores normalizados de Eu y los elementos vecinos Sm y Gd obtenidos en cada periodo de muestreo durante los cuatro años del estudio.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Concentración de los elementos en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

Los resultados obtenidos de los contenidos de los elementos analizados en la MPH para cada periodo de muestreo durante los años 2002-2005 se presentan en forma completa en los Anexos 1-4. Los valores de la concentración mínima, máxima y del promedio anual, así como los de la desviación estándar se presentan en las Tablas 5 y 6.

#### 8.1.1. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos terrígenos (Al, Cs, Fe, Rb y Sc) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

##### Fierro

El contenido de Fe varió en un intervalo de un mínimo de 0.05 % en 2002 a un máximo de 4 % en el otoño de 2003 (Tabla 5). Durante los cuatro años de muestreo, las mayores concentraciones de fierro se presentaron en la parte final del verano y principios del otoño como se observa en la Figura 4.

##### Aluminio

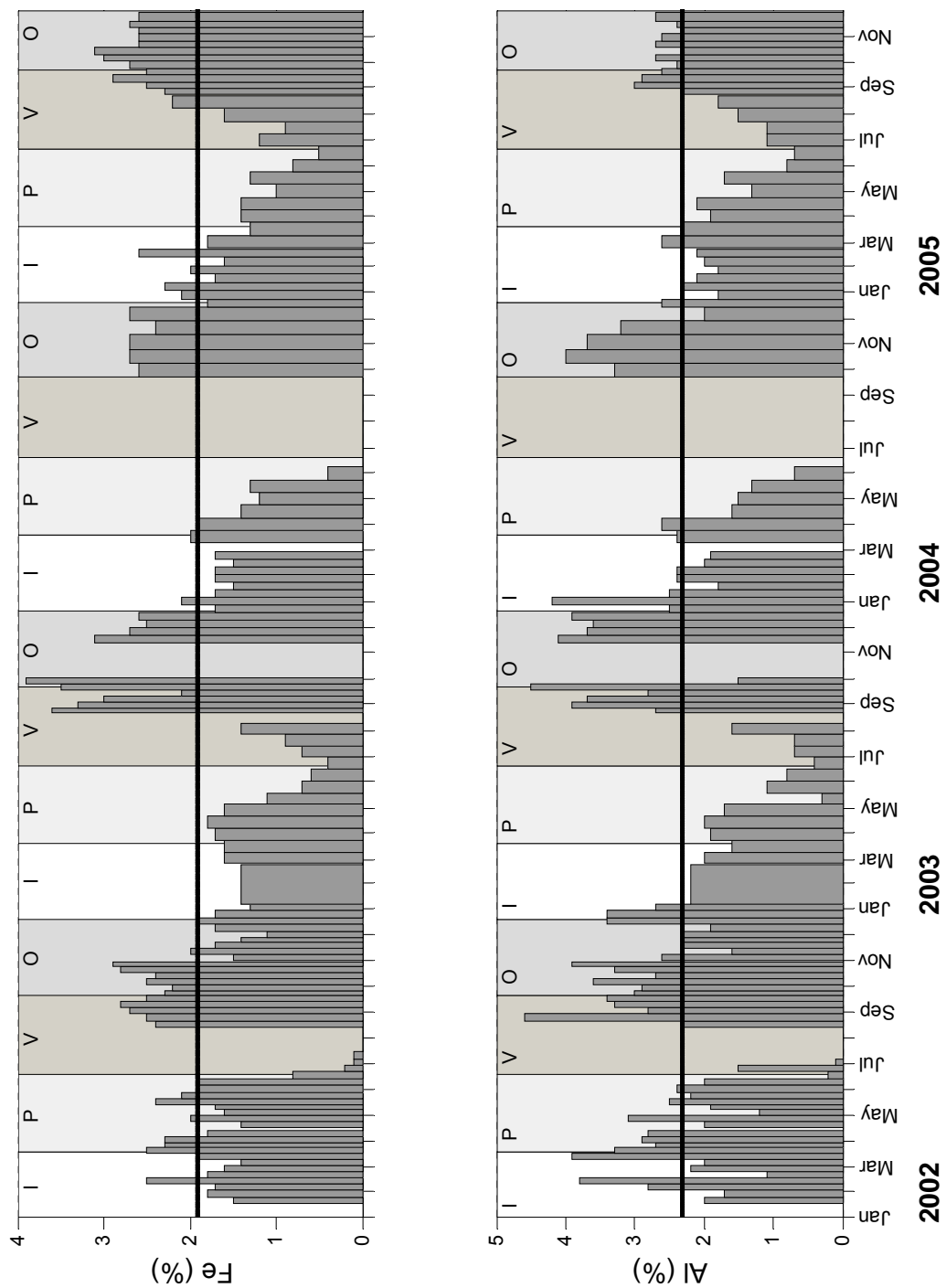
El aluminio es el elemento terrígeno que presentó el mayor contenido promedio (2.5 %) entre todos los elementos, con excepción de Ca (Tabla 5), con mayor variabilidad en el 2003, con la concentración mas alta en este año de 4.5 % (Figura 4).

##### Escandio

El Sc mostró una concentración promedio a lo largo de los años de muestreo de  $7 \text{ mg kg}^{-1}$  con un intervalo en sus contenidos en la MPH de  $0.06 \text{ mg kg}^{-1}$  a principios del verano de 2002 a  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  en el otoño de 2003 (Figura 4).

**Tabla 5.** Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la concentración de los elementos mayores y traza en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.

Elemento (mg kg <sup>-1</sup> )	Año			
	2002	2003	2004	2005
Fe (%)	<u>0.05 – 3</u> 1.9 ± 0.7	<u>0.4 – 4</u> 1.9 ± 1.02	<u>0.36 – 2.7</u> 1.8 ± 0.6	<u>0.5 – 3</u> 1.99 ± 0.7
Al (%)	<u>0.11 – 4.6</u> 2.5 ± 0.3	<u>0.27 – 4.5</u> 2.3 ± 1.3	<u>0.7 – 4.2</u> 2.4 ± 0.9	<u>0.7 – 3</u> 2.1 ± 0.6
Ca (%)	<u>1 – 11.5</u> 3.7 ± 1.7	<u>2.9 – 11.3</u> 5.4 ± 2.3	<u>0.3 – 5.5</u> 3.9 ± 1.4	<u>1.2 – 13.4</u> 7.6 ± 3.9
Sc	<u>0.1 – 9.7</u> 6.8 ± 2.3	<u>1.9 – 15</u> 7.5 ± 4	<u>4 – 10</u> 7 ± 2	<u>2.31 – 11.2</u> 7.1 ± 2.4
Co	<u>1.2 – 11</u> 7.5 ± 2.2	<u>0.34 – 28</u> 9 ± 6	<u>9.5 – 69</u> 26 ± 17	<u>8.65 – 59</u> 20 ± 12
Zn	<u>30.5 – 534</u> 124 ± 101	<u>20.7 – 165</u> 66 ± 32	<u>42 – 96</u> 70 ± 13	<u>36 – 415</u> 109 ± 78
Sr	<u>560 – 1430</u> 768 ± 195	<u>210 – 2266</u> 856 ± 549	<u>0.02 – 640</u> 352 ± 206	<u>217 – 640</u> 473 ± 116
Ba	<u>87 – 2147</u> 402 ± 357	<u>30 – 790</u> 253 ± 147	<u>5 – 560</u> 216 ± 144	<u>75 – 1460</u> 491 ± 313
Cr	<u>3.2 – 61</u> 34 ± 14	<u>6.8 – 48</u> 28.8 ± 10	<u>4.2 – 49</u> 28 ± 11	<u>3 – 55</u> 31 ± 15
Cs	<u>0.3 – 13</u> 5.9 ± 2.9	<u>0.7 – 11</u> 5 ± 2.8	<u>1.2 – 14</u> 5 ± 3.5	<u>0.3 – 14</u> 5 ± 3.4
Rb	<u>6.1 – 153</u> 51 ± 31	<u>10 – 94</u> 30 ± 23	<u>4.9 – 56</u> 25 ± 20	<u>2.3 – 91</u> 39 ± 26
As	<u>0.9 – 48</u> 11 ± 9	<u>1 – 19</u> 7 ± 4.2	<u>2.4 – 24</u> 11 ± 7.2	<u>1.2 – 19</u> 8 ± 5.3
Sb	<u>0.07 – 24</u> 10 ± 5	<u>0.08 – 12</u> 2.4 ± 3	<u>0.2 – 4</u> 1.1 ± 0.9	<u>0.08 – 2.2</u> 0.6 ± 0.5
Se	<u>0.2 – 12</u> 2.6 ± 2.4	<u>0.2 – 4</u> 1.4 ± 0.9	<u>0.8 – 38</u> 12 ± 12	<u>0.3 – 28</u> 4 ± 5
U	<u>0.8 – 43</u> 6 ± 7	<u>0.7 – 17</u> 3.9 ± 3.4	<u>0.5 – 4.5</u> 2.3 ± 1	<u>0.4 – 3.3</u> 1.6 ± 0.9
Mn	<u>219 – 650</u> 443 ± 102	<u>57 – 1406</u> 500 ± 351	<u>236 – 1009</u> 626 ± 205	<u>175 – 695</u> 473 ± 158
V	<u>0.5 – 85</u> 47 ± 23	<u>3 – 70</u> 31 ± 19	<u>17 – 58</u> 30 ± 15	<u>14 – 65</u> 41 ± 13
Ni	<u>3.1 – 108</u> 42 ± 23	<u>7 – 47</u> 25 ± 10	<u>11 – 58</u> 29 ± 13	<u>23 – 80</u> 47 ± 12
Cu	<u>3.6 – 63</u> 32 ± 12	<u>6 – 77</u> 29 ± 18	<u>9 – 59</u> 21 ± 10	<u>20 – 251</u> 85 ± 54
Mo	<u>0.2 – 8</u> 2.1 ± 1.7	<u>0.3 – 2</u> 0.8 ± 0.3	<u>0.7 – 2.8</u> 1 ± 0.5	<u>0.5 – 3.5</u> 1.3 ± 0.6
Cd	<u>0.2 – 4</u> 1.2 ± 0.8	<u>0.2 – 2.5</u> 0.9 ± 0.5	<u>1.2 – 4.7</u> 2.3 ± 0.9	<u>0.8 – 3.8</u> 1.7 ± 0.7
Pb	<u>4.4 – 55</u> 25 ± 12	<u>2.3 – 18</u> 9.7 ± 4	<u>7 – 24</u> 16 ± 4	<u>4.4 – 24</u> 12.5 ± 4.8



**Figura 4.** Concentración de Fe y Al en la materia particulada en hundimiento de la Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

## Cesio

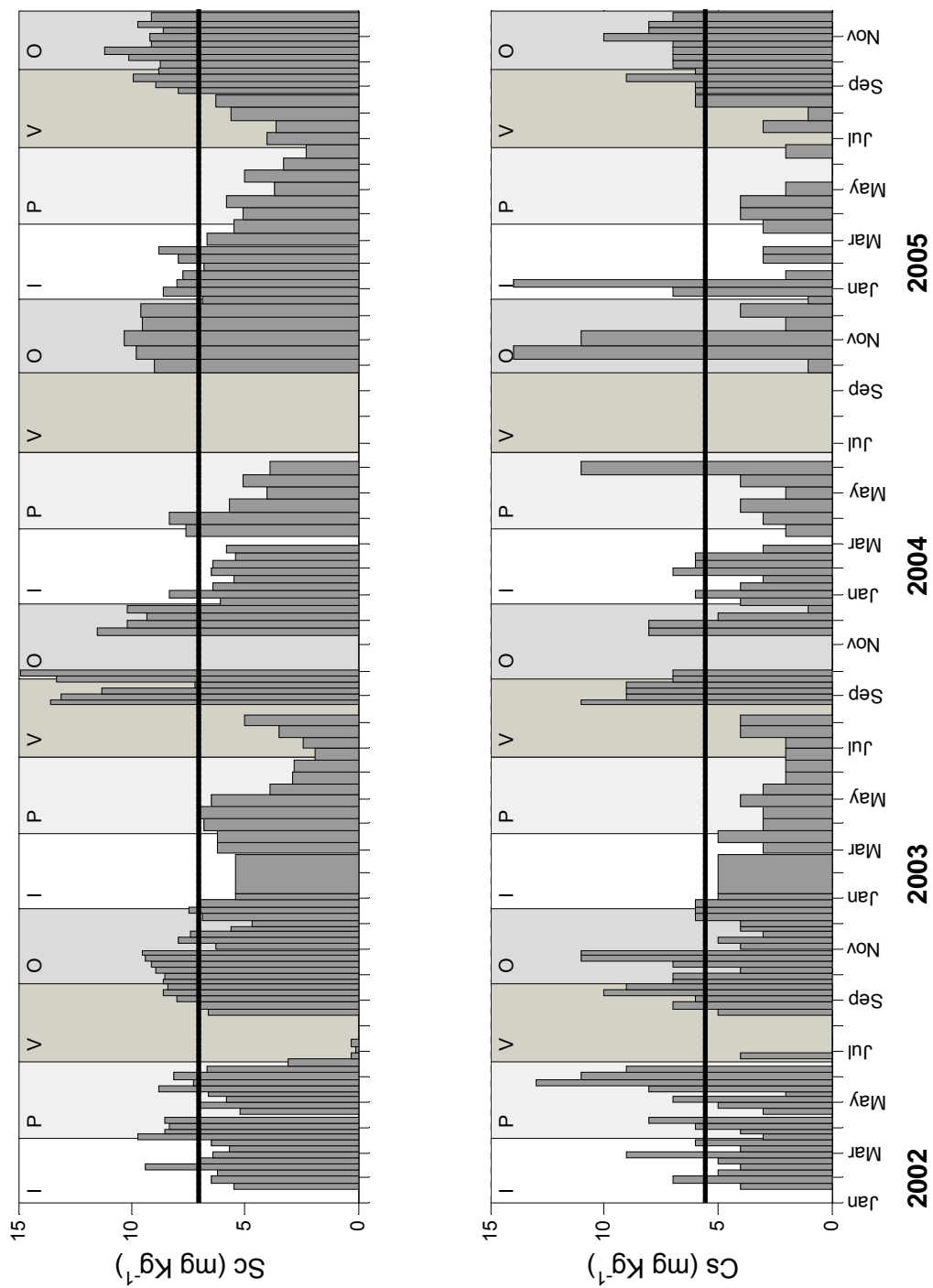
En relación al cesio se encontró un intervalo de variación de concentraciones menores de  $1.2 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $14 \text{ mg kg}^{-1}$ , con picos máximos en primavera de 2002, otoño de 2004 e invierno de 2005 (Figura 5). En promedio el comportamiento de este elemento en MPH fue muy similar en los cuatro años con una media de alrededor de  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ .

## Rubidio

El rubidio presentó una mayor heterogeneidad con un valor máximo de su concentración en el otoño de 2002 con  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que en los cuatro años el mínimo fue menor a  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 6).

### 8.1.1.1. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos del grupo de tierras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu) en la MPH de la Cuenca Alfonso.

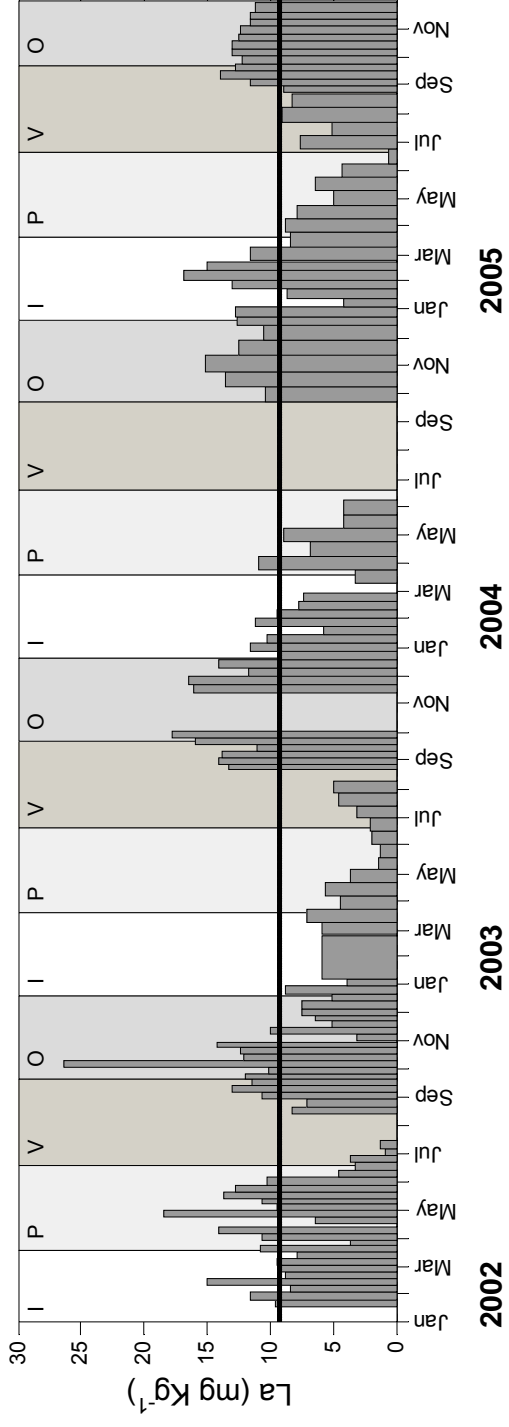
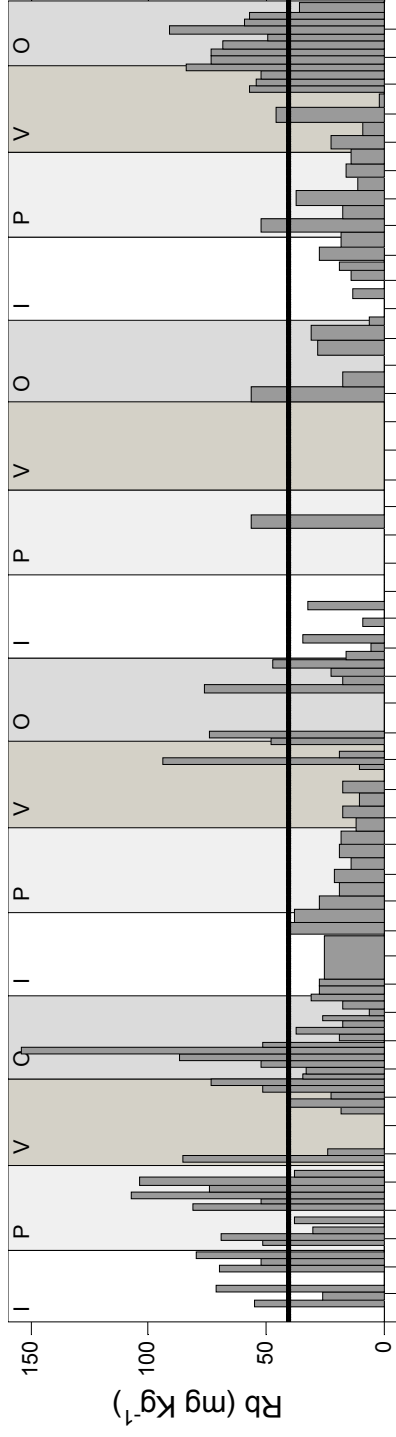
Como se observa en la Tabla 6, las mayores concentraciones de los lantánidos en la MPH se encontraron durante el año 2002, ya que como se nota en las Figuras 6 a 9, la mayoría de estos elementos presentaron un pico en sus concentraciones en otoño de 2002. Los lantánidos con los mayores contenidos en la MPH fueron el Ce con  $49 \text{ mg kg}^{-1}$ , La con  $26 \text{ mg kg}^{-1}$  y Nd con  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , estos datos son cercanos o menores a los valores para estos elementos (73, 23 y 33 respectivamente) reportados para la lutita norteamericana, por la dilución con material biogénico marino. Con la finalidad de observar más claramente la diferencia entre los elementos, se normalizó el contenido de los lantánidos con los datos reportados por Taylor y McLennan (1985) para la lutita norteamericana. Las variaciones para los valores promedio normalizados en la MPH para cada uno de los cuatro años de muestreo se presentan en la Figura 10. El patrón de variación de los valores normalizados promedio muestra mayor contenido de los elementos de las tierras raras pesadas en relación con las ligeras y una anomalía negativa de Eu que se caracteriza por un decremento en el valor normalizado de este elemento en comparación con los elementos de las tierras raras vecinas en su posición en la Tabla Periódica.



**Figura 5.** Concentración de Sc y Cs en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

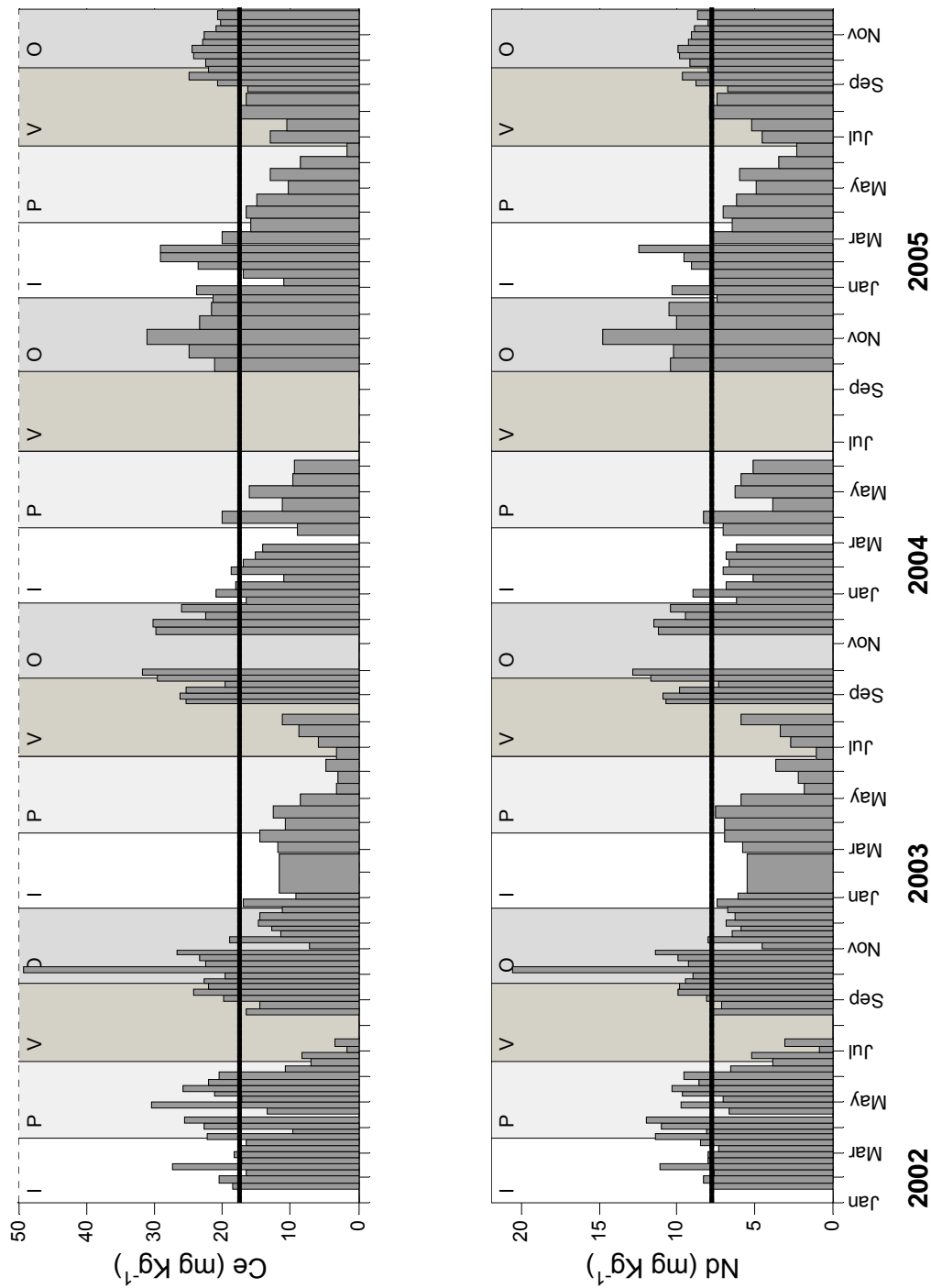
**Tabla 6.** Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la concentración de los elementos del grupo de las tierras raras en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.

Elemento mg kg <sup>-1</sup>	Año			
	2002	2003	2004	2005
La	$\frac{0.9-26}{9 \pm 4}$	$\frac{1.3-18}{8 \pm 5}$	$\frac{3.2-15}{9 \pm 3}$	$\frac{0.5-17}{10 \pm 4}$
Ce	$\frac{1.7-49}{18 \pm 8}$	$\frac{3-32}{16 \pm 10}$	$\frac{9-31}{18 \pm 6}$	$\frac{2-29}{18 \pm 6}$
Nd	$\frac{0.9-20}{8 \pm 3}$	$\frac{1-13}{7 \pm 3}$	$\frac{4-15}{8 \pm 3}$	$\frac{2-12}{8 \pm 2}$
Sm	$\frac{0.2-5}{2 \pm 0.7}$	$\frac{0.2-3}{2 \pm 0.8}$	$\frac{0.8-4}{2 \pm 0.7}$	$\frac{0.9-3}{2 \pm 0.5}$
Eu	$\frac{0.1-1}{0.3 \pm 0.2}$	$\frac{0.01-0.5}{0.2 \pm 0.1}$	$\frac{0.1-3.6}{0.5 \pm 0.8}$	$\frac{0.1-0.9}{0.4 \pm 0.3}$
Tb	$\frac{0.1-0.9}{0.4 \pm 0.1}$	$\frac{0.01-0.6}{0.4 \pm 0.1}$	$\frac{0.1-0.6}{0.3 \pm 0.1}$	$\frac{0.2-0.5}{0.3 \pm 0.1}$
Yb	$\frac{0.6-2.7}{1 \pm 0.5}$	$\frac{0.3-1.6}{0.9 \pm 0.4}$	$\frac{0.3-1.8}{0.8 \pm 0.4}$	$\frac{0.3-2}{0.9 \pm 0.4}$
Lu	$\frac{0.1-0.5}{0.2 \pm 0.1}$	$\frac{0.05-0.3}{0.1 \pm 0.06}$	$\frac{0.04-0.3}{0.1 \pm 0.08}$	$\frac{0.05-0.3}{0.1 \pm 0.06}$

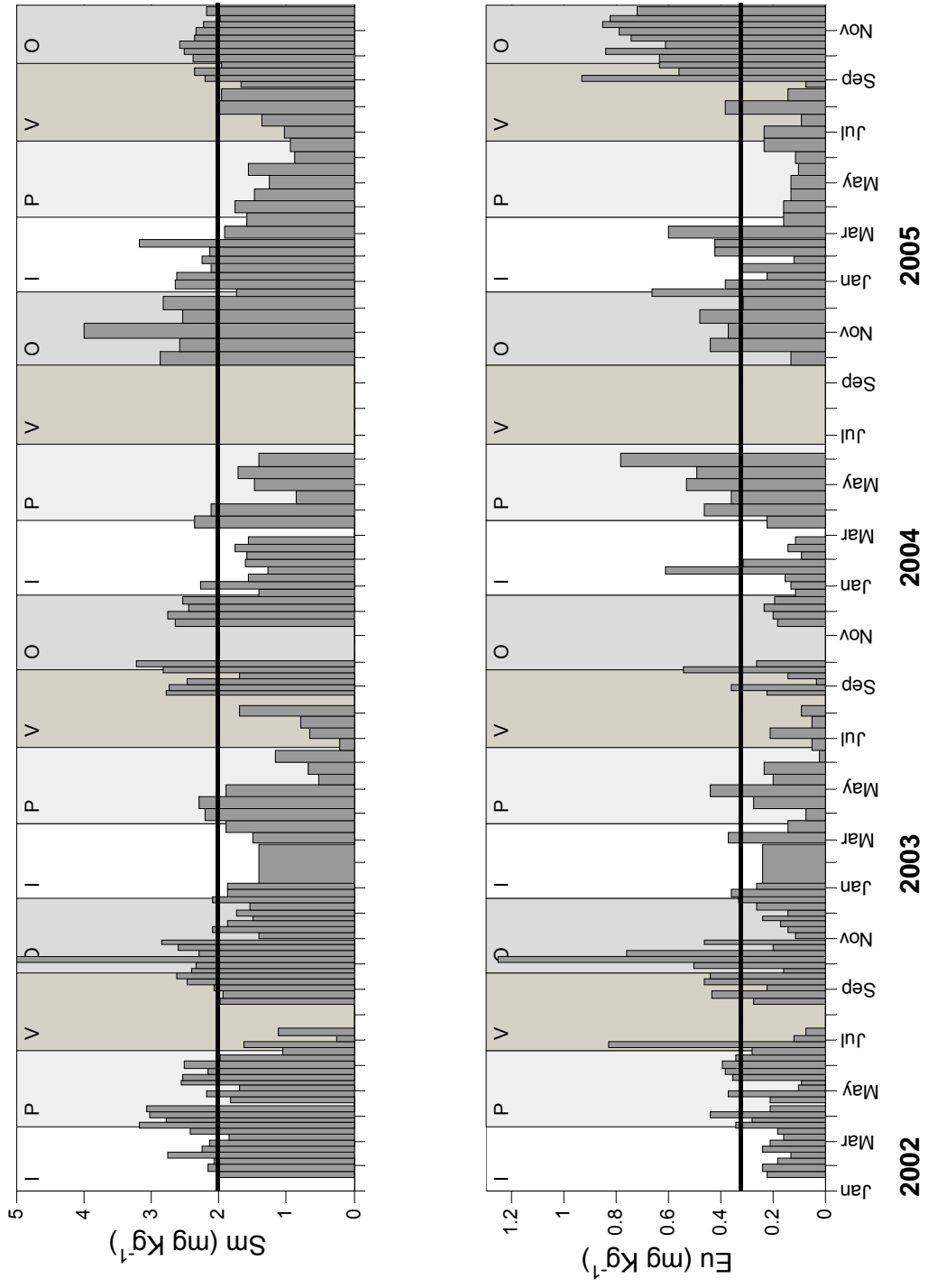


**Figura 6.** Concentración de Rb y La en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

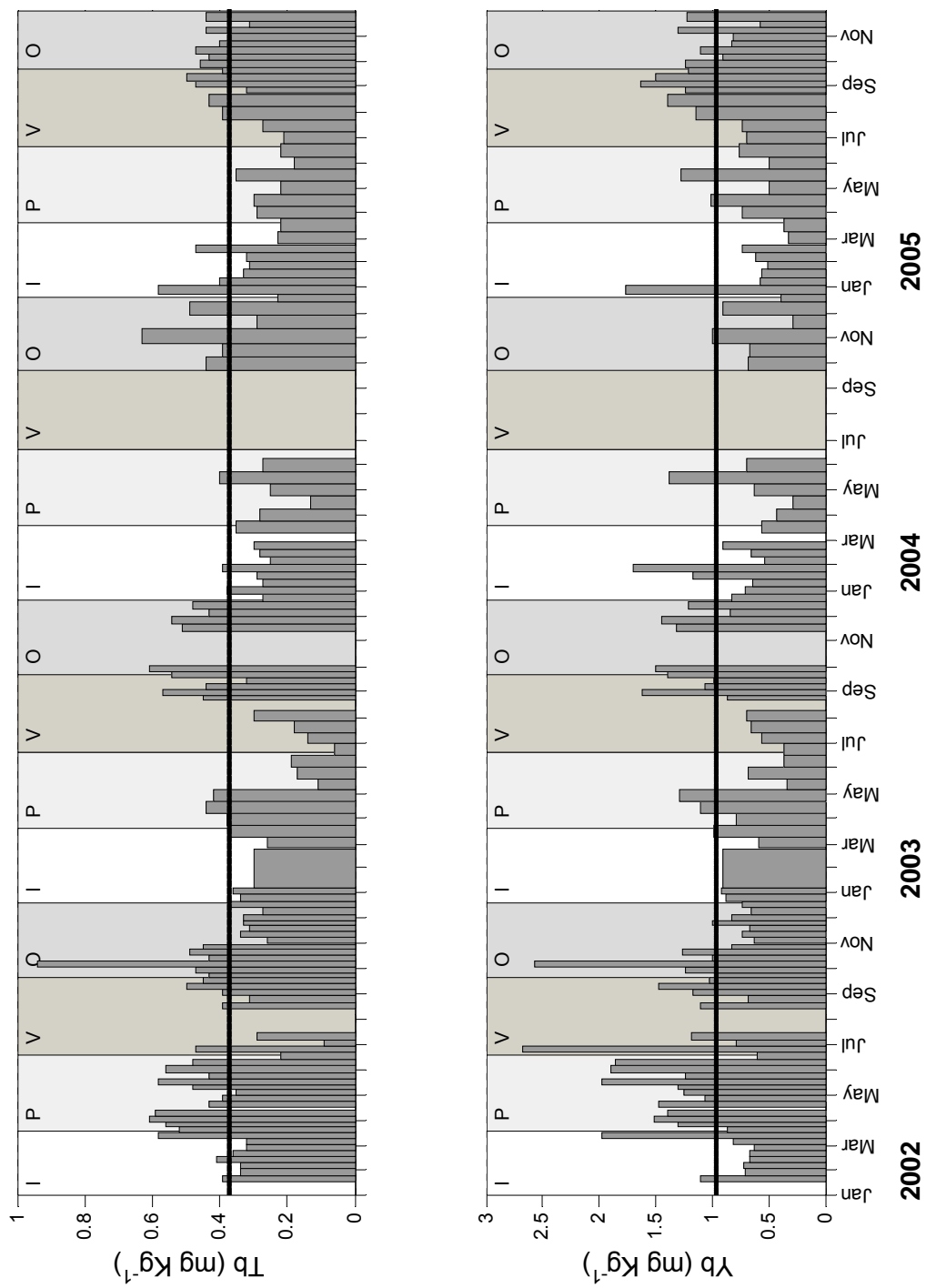




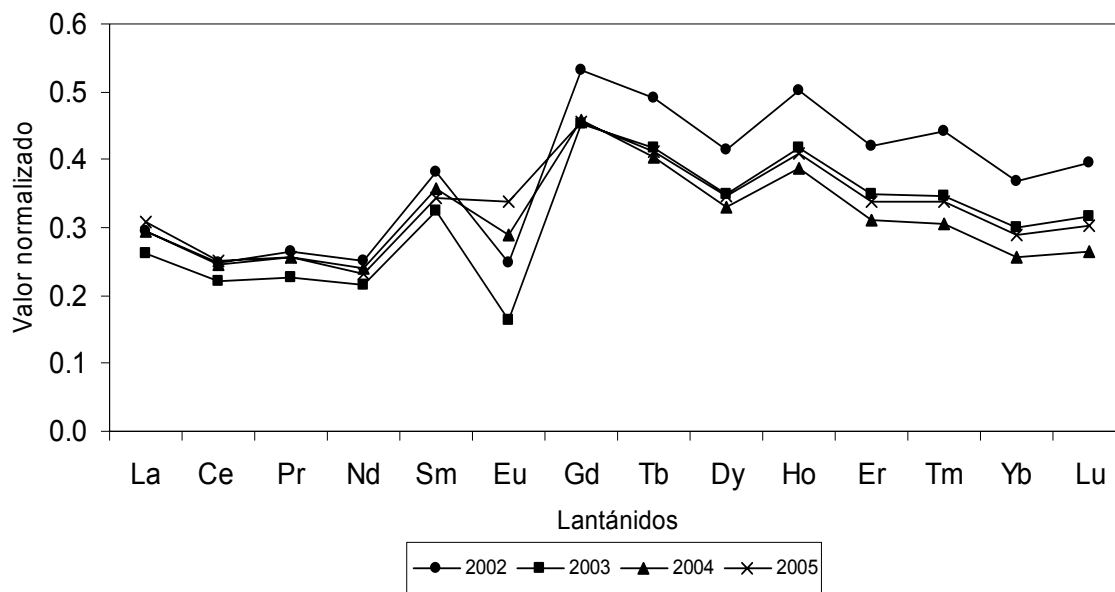
**Figura 7.** Concentración de Ce y Nd en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 8.** Concentración de Sm y Eu en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 9.** Concentración de Tb e Yb en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 10.** Valores promedio normalizados con lutita norteamericana de las concentraciones de los lantánidos en la materia particulada en hundimiento para los cuatro años de muestreo

### 8.1.2. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos típicamente asociados a los componentes biogénicos (Ba, Ca y Sr)

#### Calcio

El contenido de Ca presentó una concentración promedio de 5 % a lo largo de los cuatro años de muestreo, con un intervalo de 0.3 % (primavera de 2004) a 13 % (verano de 2002 y otoño de 2005). Es precisamente en este último año de muestreo que se presentó una mayor heterogeneidad en el contenido de Ca en el material particulado en hundimiento ya que, como se observa en la Figura 11, en la segunda mitad del 2005 hay un incremento importante de este elemento.

#### Estroncio

El Sr mostró una fluctuación de su contenido en las partículas en hundimiento de 0.02 mg kg<sup>-1</sup> en el 2004 a 3000 mg kg<sup>-1</sup> en el verano de 2002. El estroncio

presentó las mayores concentraciones promedio y una mayor variabilidad durante los dos primeros años de muestreo como se observa en la Figura 11.

#### Bario

El bario presentó los mas altos contenidos durante los meses de primavera y verano de 2002, con concentraciones de mas de 2000 mg kg<sup>-1</sup>, aunque en menor medida también en el 2004 se presentaron contenidos importantes de bario durante el invierno y la primavera, por lo que fue en este últimos año en el que se observó el promedio mas alto con casi 500 mg kg<sup>-1</sup>. Durante el 2003 se encontraron los contenidos más bajos de este elemento con valores menores a 5 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 12).

#### 8.1.3. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos–micronutrientes (Cd, Co, Cr, Mn, Mo, Ni, Se, V y Zn)

#### Cobalto

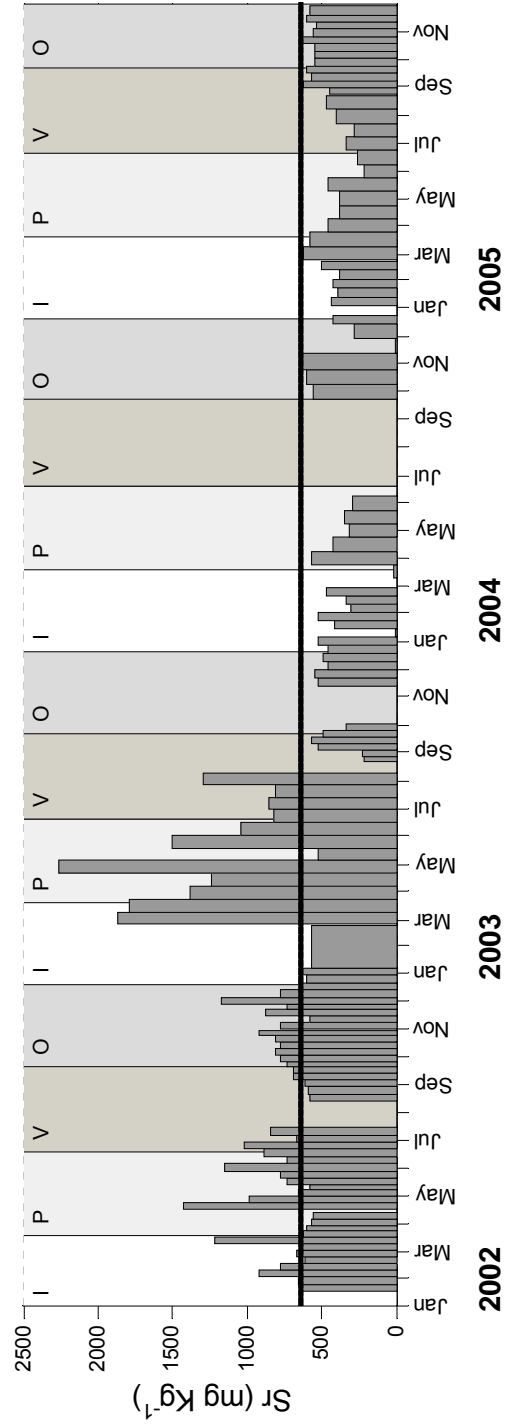
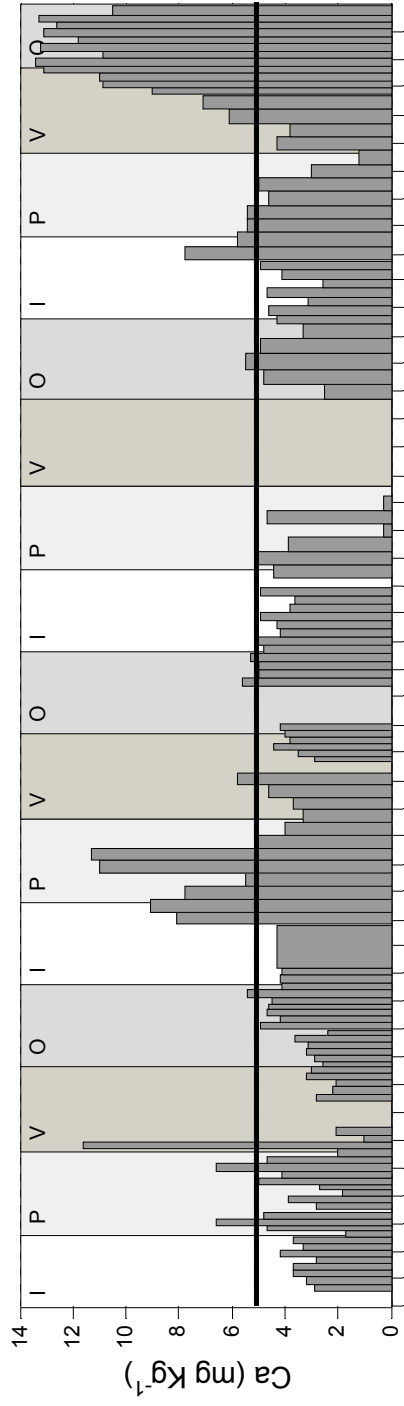
Los contenidos de cobalto presentaron un incremento en la MPH y una mayor variabilidad en los dos últimos años de muestreo, como puede observarse en la Figura 12. Durante el 2002 y 2003 los contenidos se mantienen por debajo del valor promedio indicado con la línea horizontal, a excepción de una muestra del otoño de 2003. Los valores más altos, con concentraciones de casi 70 mg kg<sup>-1</sup> se encontraron en la primavera de 2004.

#### Cadmio

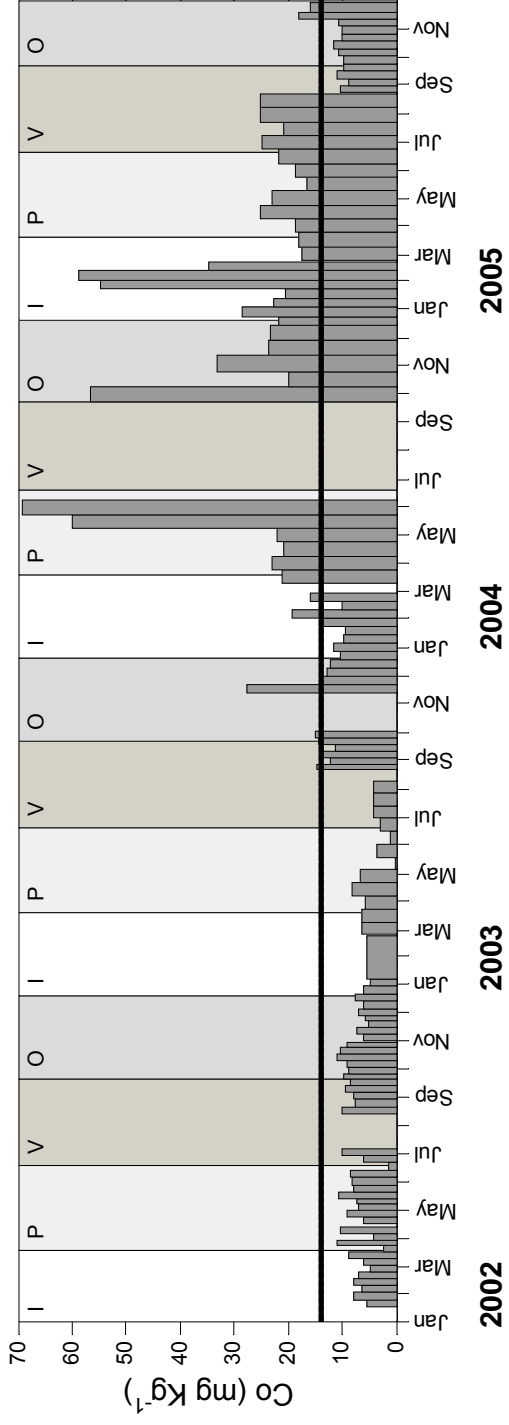
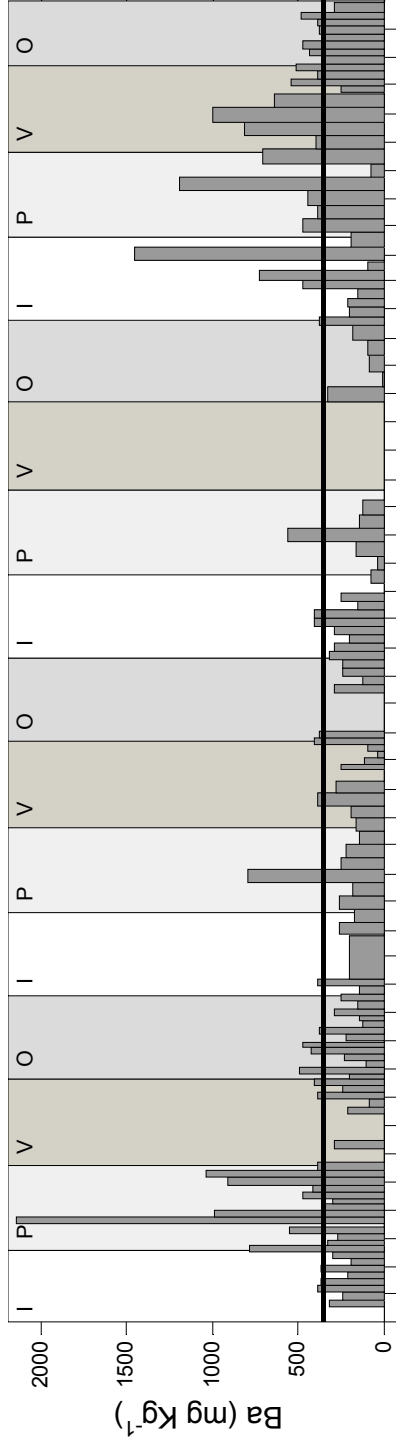
El cadmio mostró un incremento importante en el verano del 2002 con valores de 4 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 13).

#### Molibdeno

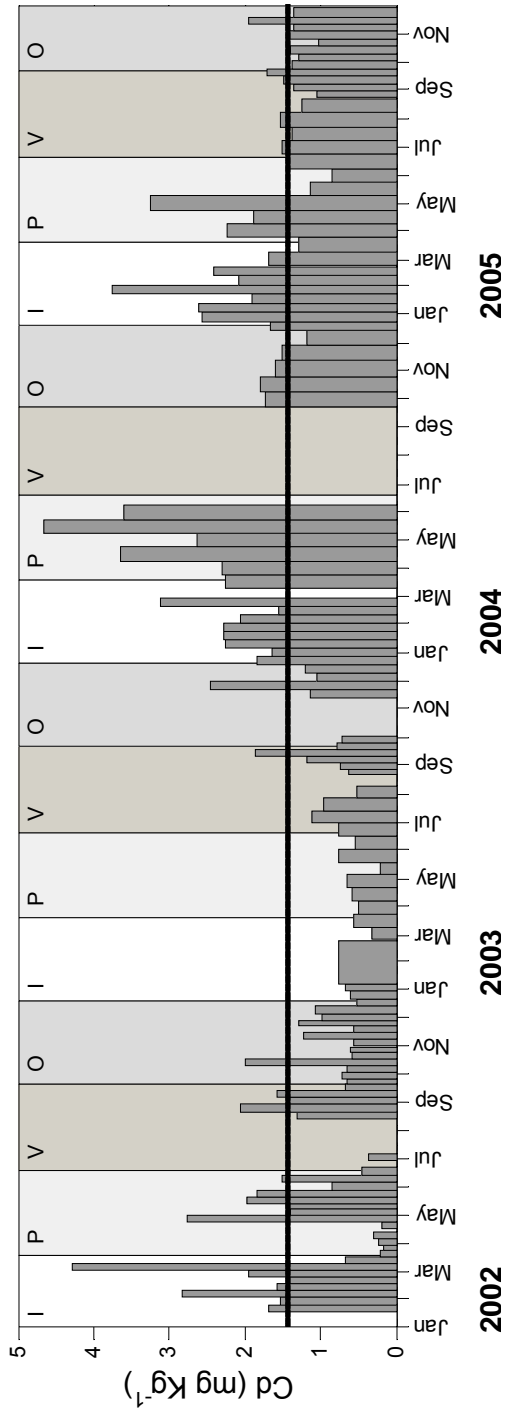
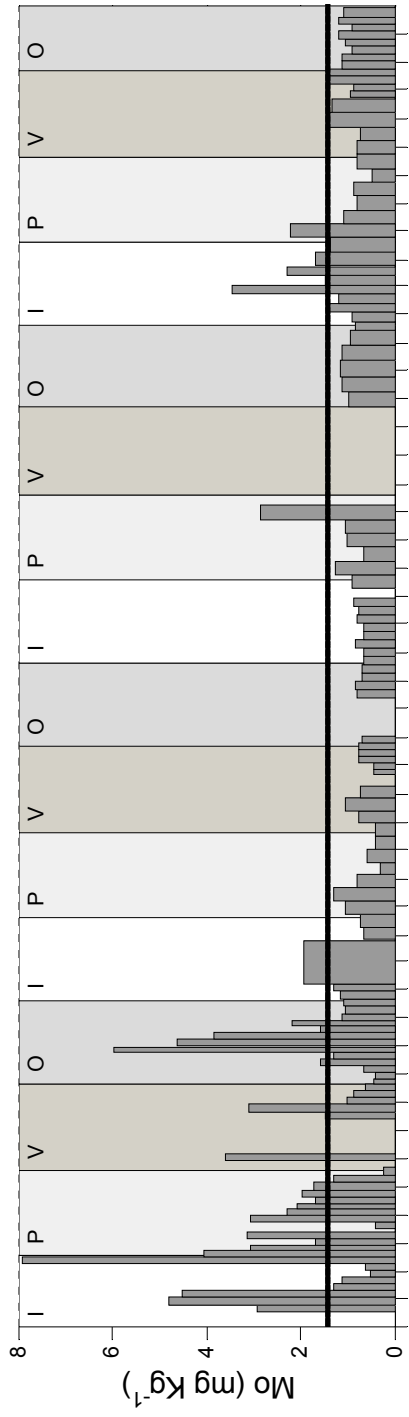
El molibdeno semejante al cadmio tuvo un aumento importante en el verano del 2002 con valor de 19 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 13).



**Figura 11.** Concentración de Ca y Sr en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 12.** Concentración de Ba y Co en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 13.** Concentración de Mo y Cd en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



## Cobre

A diferencia a otros micronutrientes, el cobre presentó los mayores contenidos en la MPH durante el 2005 con un pico durante el verano de una concentración de  $250 \text{ mg kg}^{-1}$ , siendo además a lo largo de este el año en el que se encontraron las mayores concentraciones y por lo tanto el mayor promedio de los cuatro años con  $85 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que los menores contenidos de este elemento se registraron en el 2004 (Figura 14).

## Cromo

En relación al cromo (Figura 15) se observó una variación interanual menor, con valores máximos similares en los cuatro años, sin embargo de forma anual se encontró que durante el 2002 se registró tanto la mínima concentración con  $3.2 \text{ mg kg}^{-1}$  como la máxima con  $61 \text{ mg kg}^{-1}$ .

## Zinc

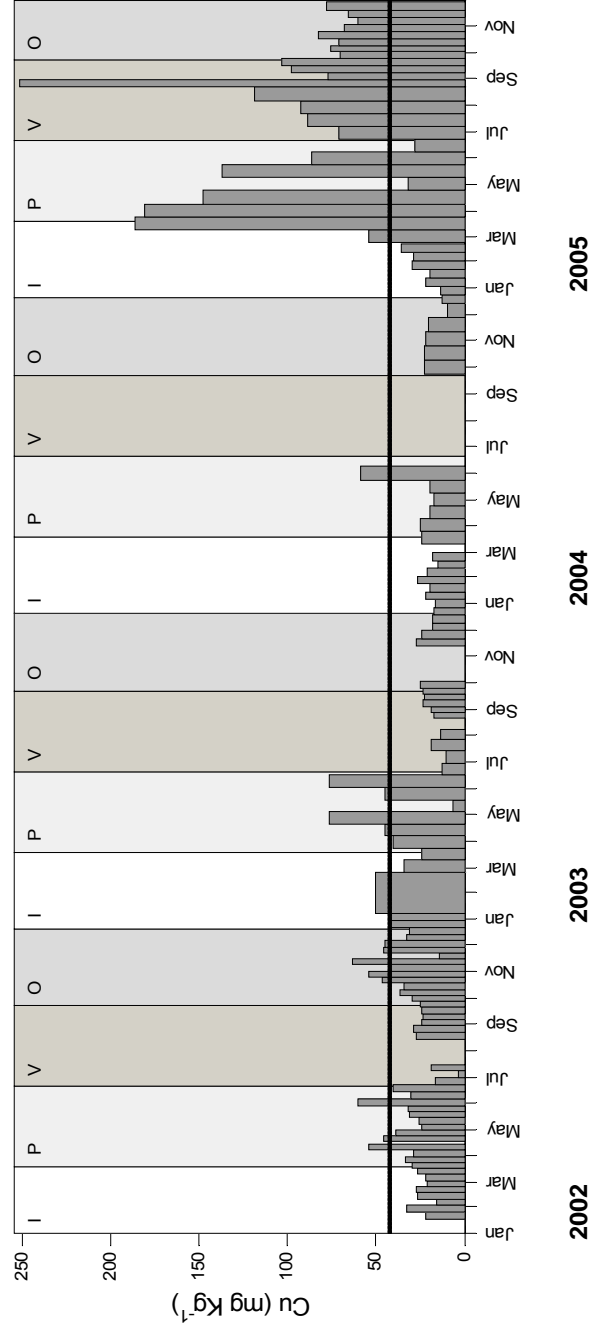
El contenido de Zn en MPH (Tabla 5) fluctuó entre un mínimo de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  en el verano de 2003 y el máximo de  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  en el de 2002. Este elemento presentó también valores altos durante el 2005 con un promedio de  $109 \text{ mg kg}^{-1}$  y un máximo de  $415 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 15).

## Manganeso

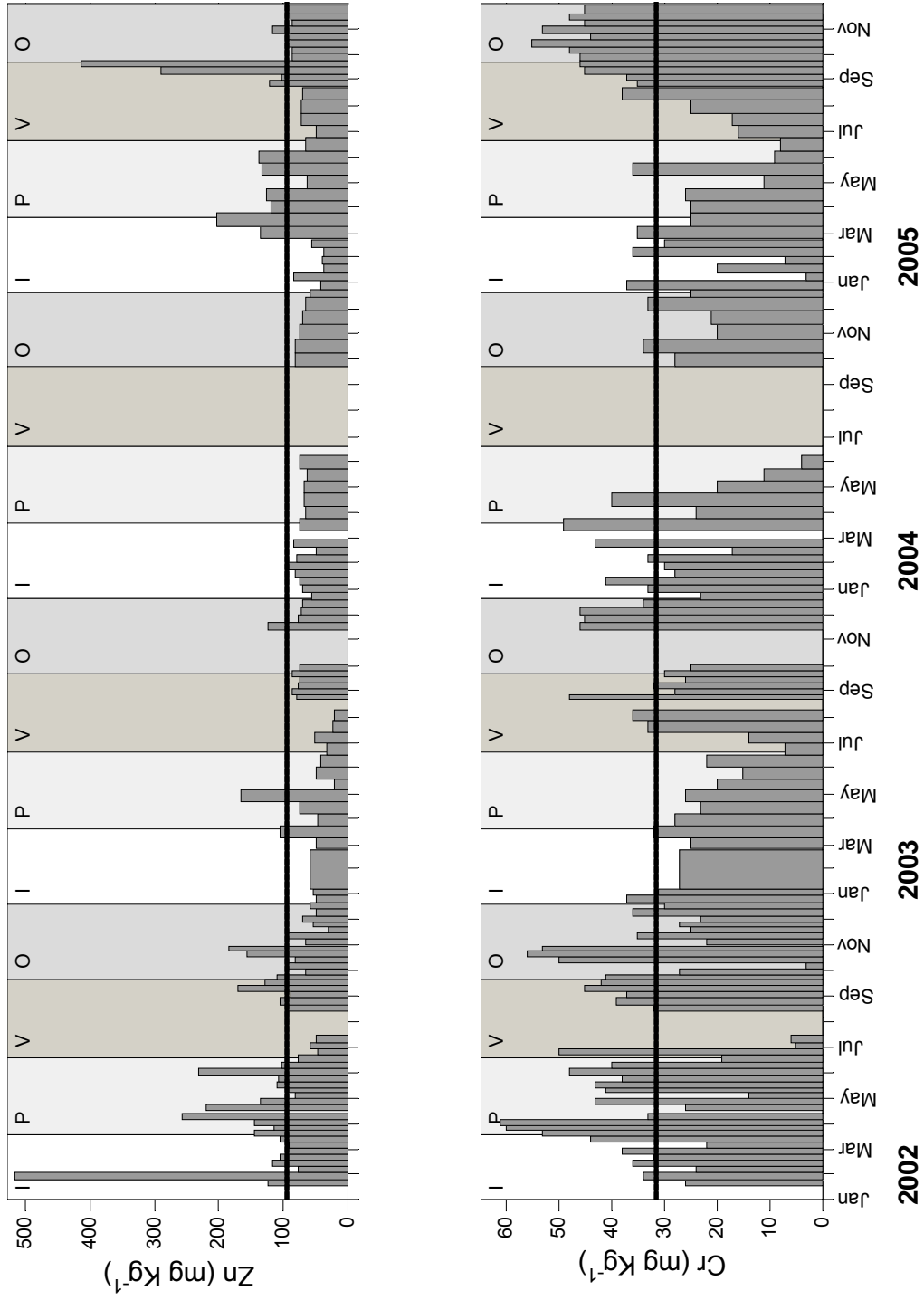
En la Figura 16 se observa el comportamiento de la concentración del manganeso en la MPH en donde se destaca una concentración elevada, de casi  $2000 \text{ mg kg}^{-1}$ , en el verano de 2002, mientras que en promedio fue durante el 2004 que se registró el valor más alto del muestreo ( $626 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

## Selenio

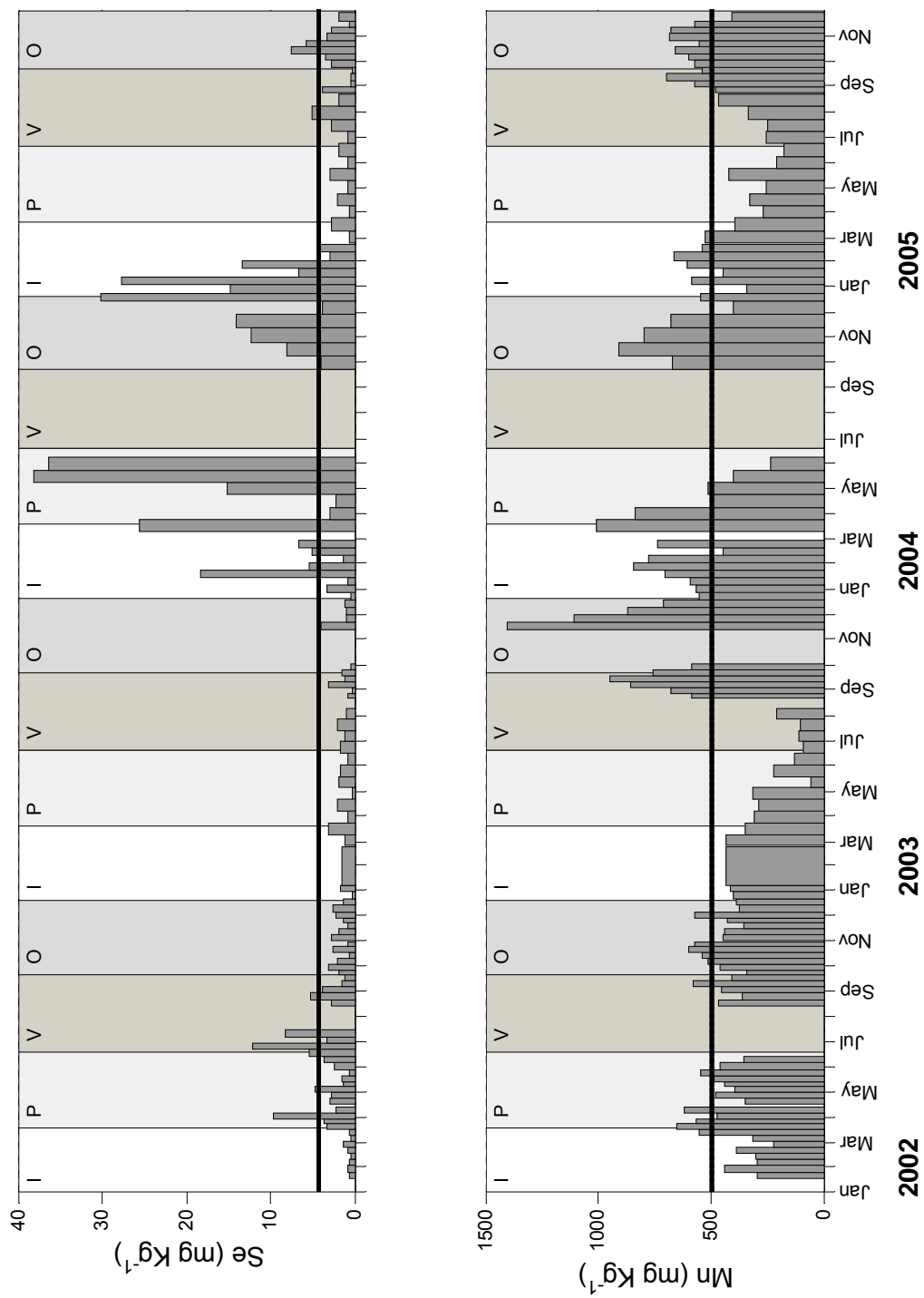
El selenio presentó las mayores concentraciones promedio en los años 2004 y 2005 con  $12$  y  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente, el valor mas alto registrado fue de  $38$  y se presentó durante la primavera del 2004 (Figura 16)



**Figura 14.** Concentración de Cu en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 15.** Concentración de Zn y Cr en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 16.** Concentración de Se y Mn en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

## Níquel

Del mismo modo que el cadmio y molibdeno el níquel presentó un incremento importante en el 2002 con valor de  $108 \text{ mg kg}^{-1}$  (como se presenta en la Figura 17)

## Vanadio

Un comportamiento similar al manganeso se observó en el vanadio ya que como se presenta en la Figura 17. También para este elemento se encontró un pico en el verano de 2002 con una concentración en MPH de  $250 \text{ mg kg}^{-1}$  y un mínimo en el mismo año de  $0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ .

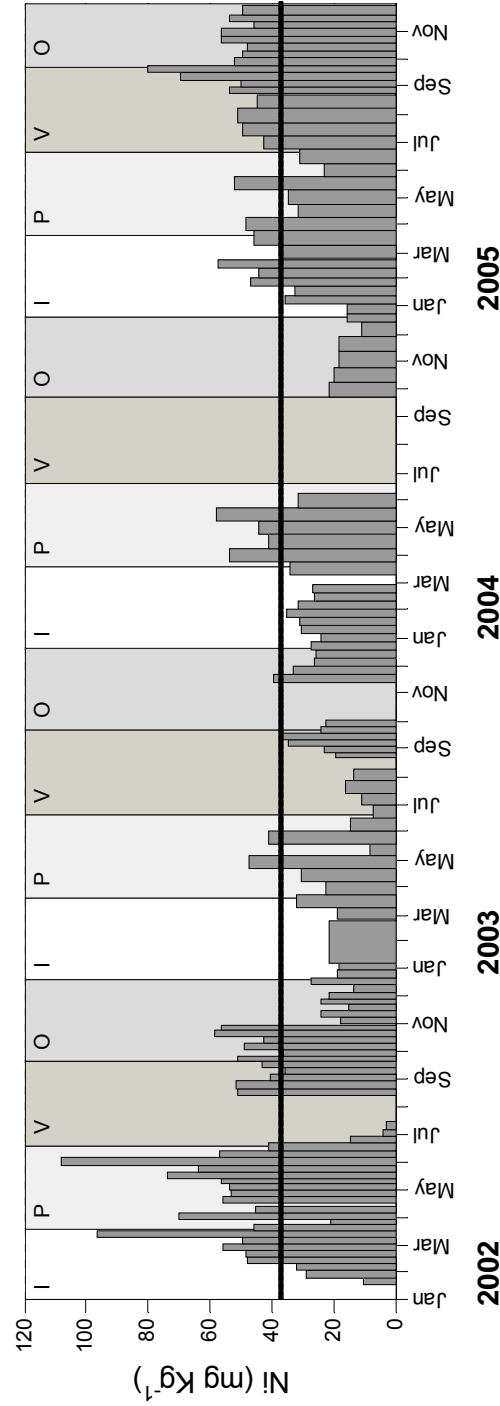
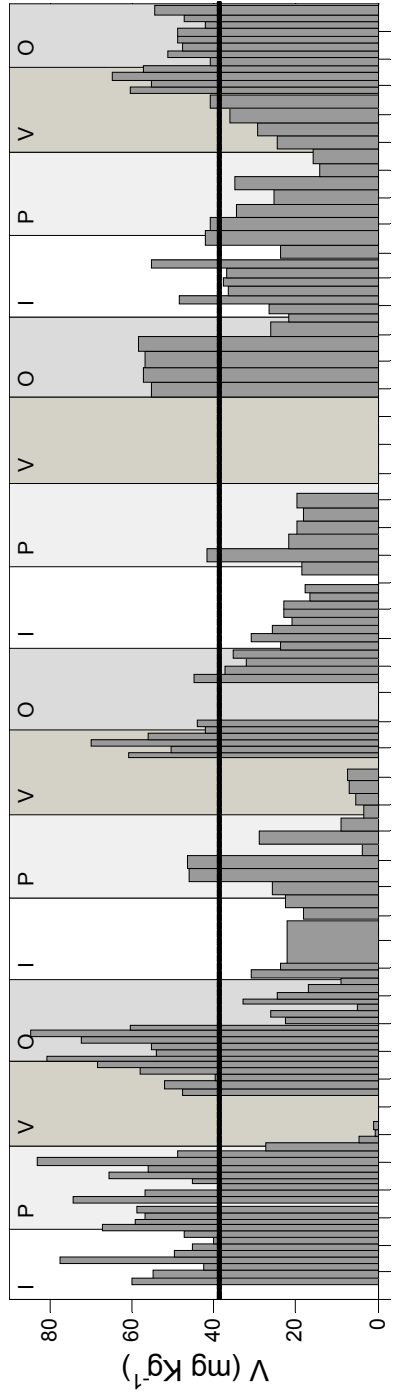
### 8.1.4. Variabilidad temporal de las concentraciones de los elementos potencialmente tóxicos (As, Pb y Sb)

#### Antimonio

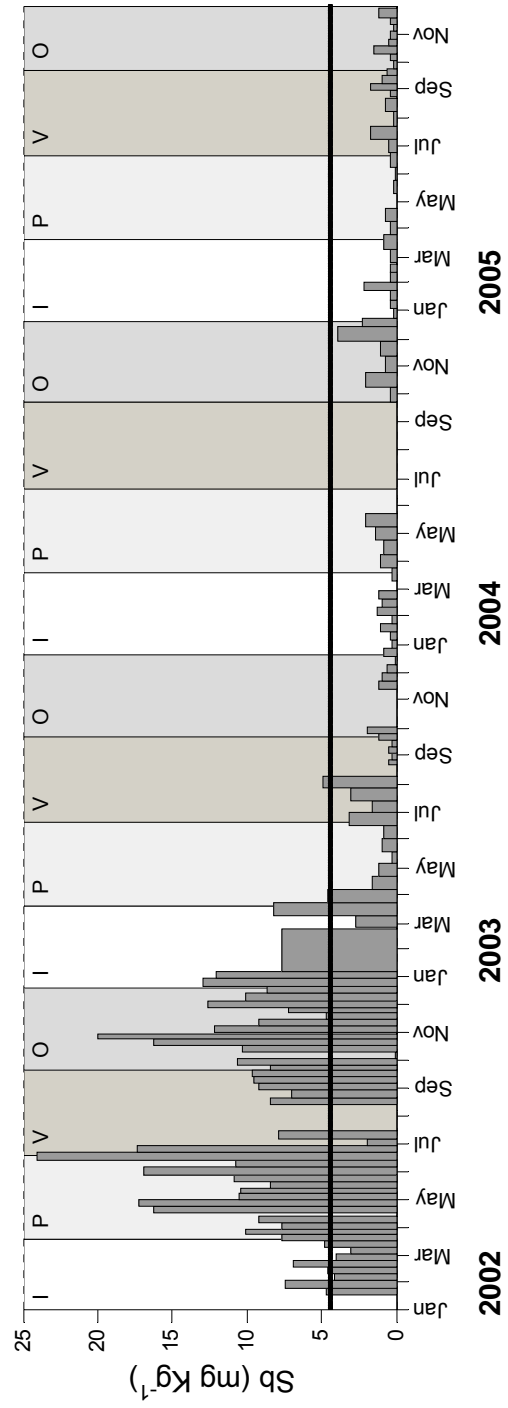
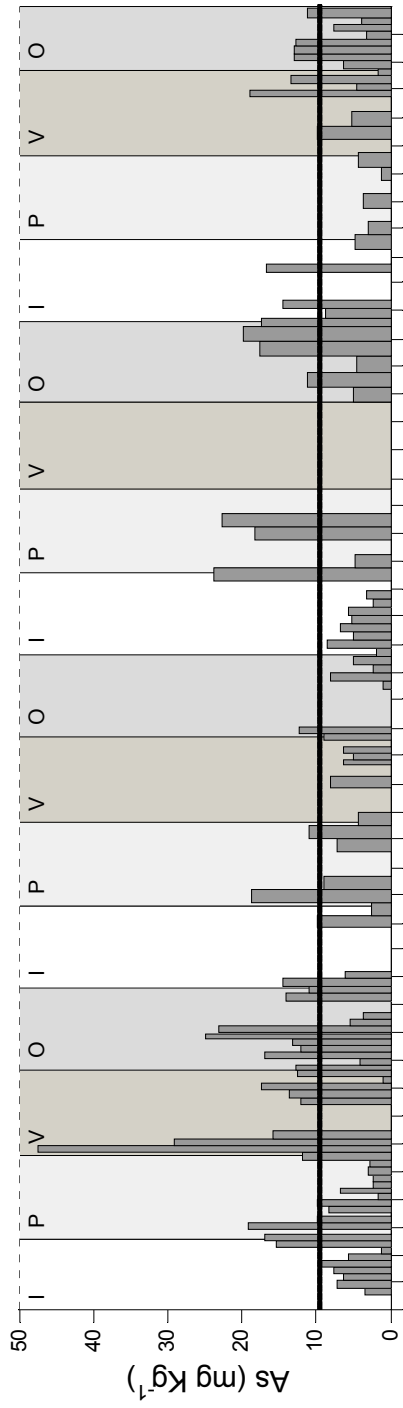
El antimonio presentó un marcado aumento en sus contenidos en la MPH durante el 2002 con picos en primavera y verano de hasta  $24 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que en el resto de los años se encontraron menores concentraciones (Figura 18).

#### Arsénico

El arsénico presentó concentraciones altas durante todos los periodos de muestreo exhibiendo un intervalo con un contenido mínimo de  $0.9 \text{ mg kg}^{-1}$  y máximo de  $48 \text{ mg kg}^{-1}$  durante el 2002 (Figura 18). Se tuvo variabilidad estacional en los cuatro años de muestreo con concentraciones promedio similares entre el 2002 y el 2004 de 12 y  $11 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente.



**Figura 17.** Concentración de V y Ni en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 18.** Concentración de As y Sb en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

## Plomo

Este elemento mostró un intervalo desde concentraciones menores de 5 mg kg<sup>-1</sup> en todos los años hasta una máxima de 144 mg kg<sup>-1</sup> en el verano de 2002 (Figura 19).

### 8.1.5. Variabilidad temporal de las concentraciones del elemento redox-sensible U

El uranio presentó los mayores contenidos en la materia particulada en hundimiento durante el año 2002 con una concentración máxima a principios del verano de 43 mg kg<sup>-1</sup> mientras que en los subsecuentes años se encontró un decremento en el contenido de este elemento, con los contenidos más bajos durante los años 2004 y 2005 (Figura 19).

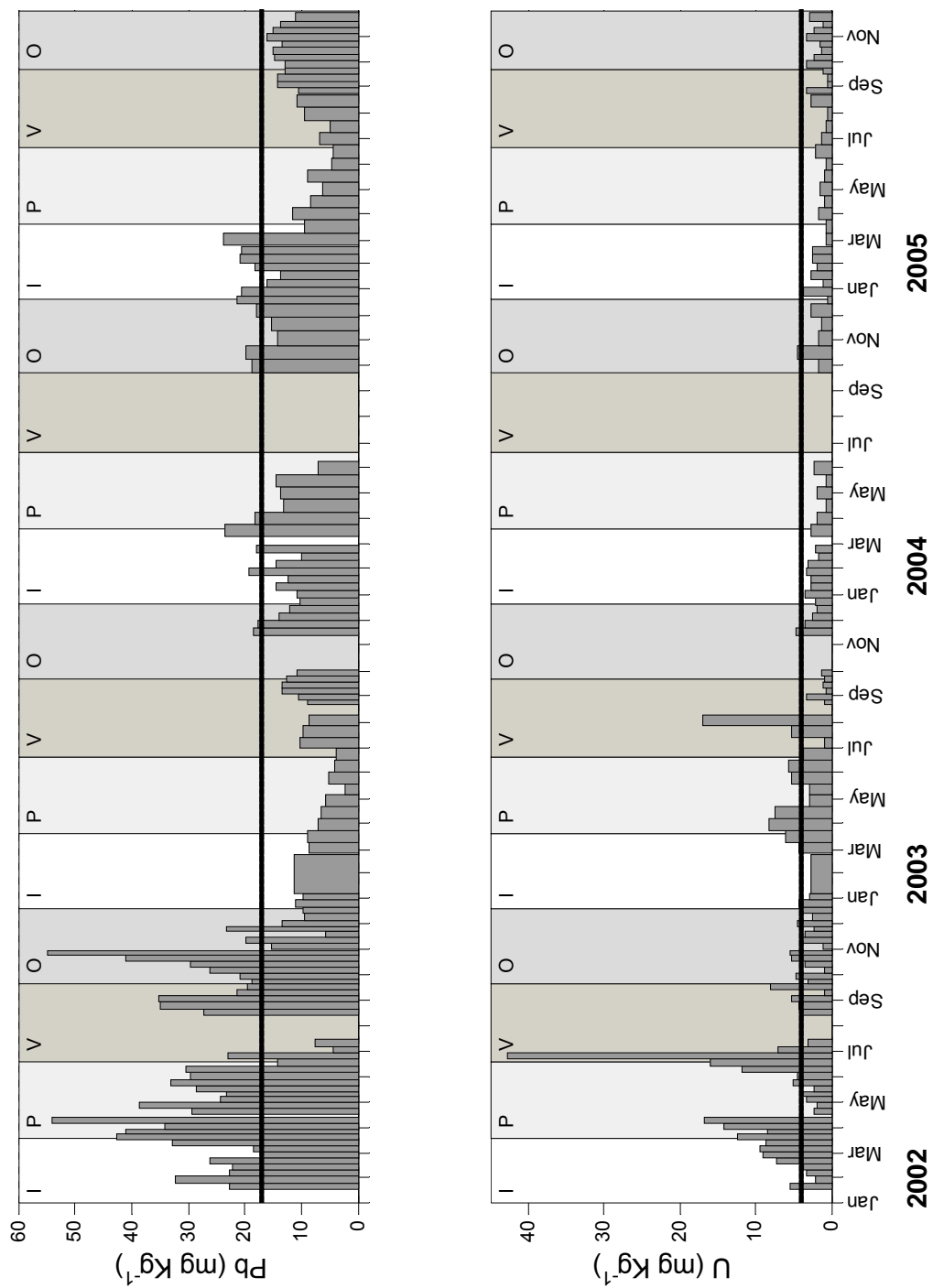
### 8.1.6. Variabilidad temporal de las concentraciones del fósforo inorgánico y orgánico en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

En la Tabla 7 se muestran los intervalos encontrados para los contenidos de fósforo particulado total, inorgánico y orgánico. Este elemento en ambas formas presentó los mayores contenidos promedio durante el 2004 y el 2005, con los valores más altos en la forma inorgánica. Los mayores contenidos de fósforo inorgánico ocurrieron a principios del otoño de 2004 y durante el invierno de 2005 con una concentración máxima para este periodo de 1700 mg kg<sup>-1</sup> y un contenido promedio de casi 1000 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 20). En la forma orgánica del fósforo se encontraron los valores más altos durante la primavera de 2004 y 2005, siendo para este último año en el que se registró el contenido máximo de esta fracción, con una concentración de 1700 mg kg<sup>-1</sup> y con un promedio de fósforo particulado orgánico de casi 800 mg kg<sup>-1</sup>.

## 8.2. Flujos de los elementos particulados en hundimiento en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, en los años 2002-2005.

Los resultados obtenidos se presentan en forma completa en los Anexos 5-8. Los valores de la concentración mínima, máxima y del promedio anual, así como

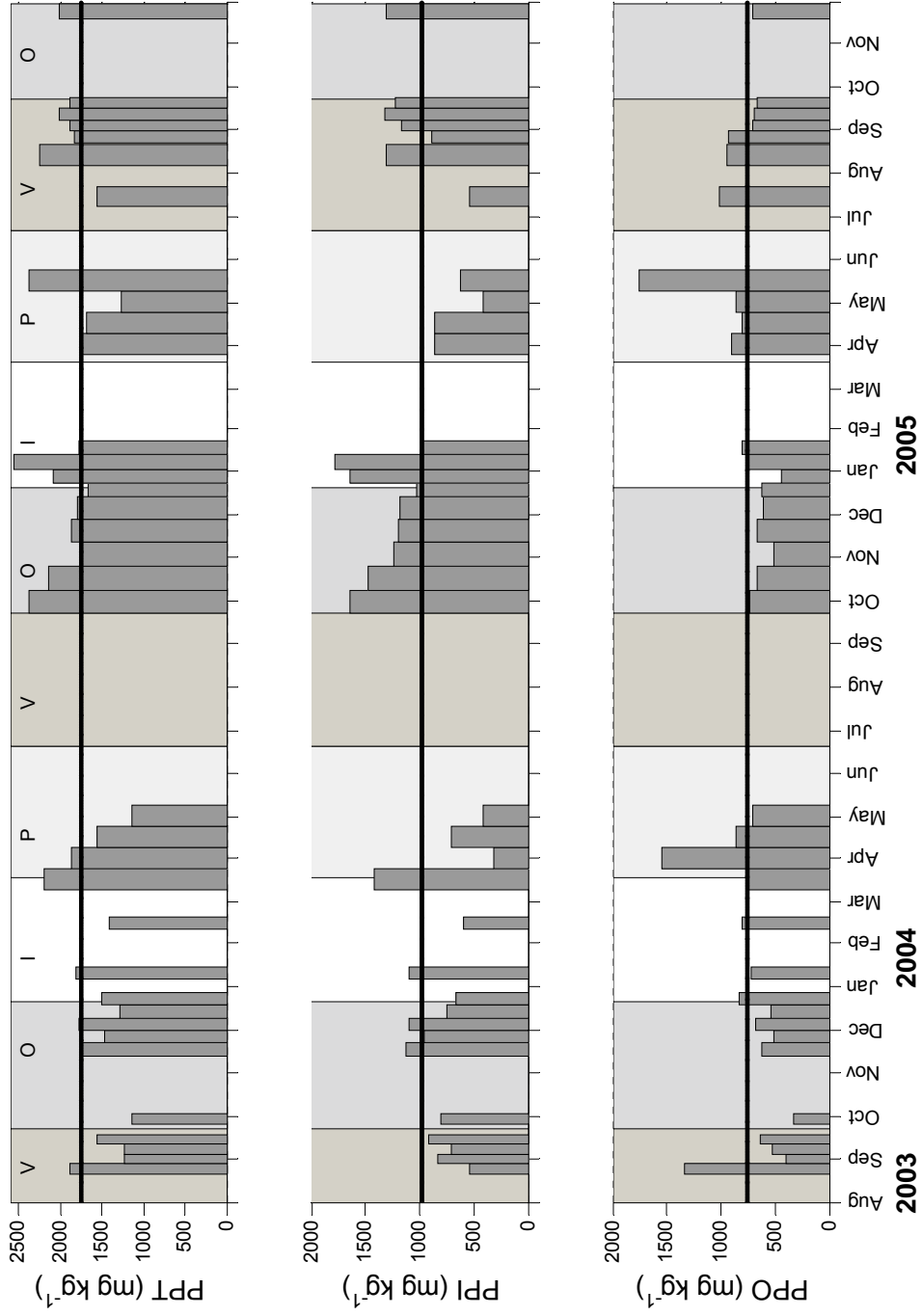




**Figura 19.** Concentración de Pb Y U en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

**Tabla 7.** Contenidos de fósforo particulado total (FPT), fósforo inorgánico particulado (FIP) y fósforo orgánico particulado (FOP), en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

	FIP		FOP		FPT
	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>
<b>2003</b>					
22 a 28 de agosto	543	29	1335	71	1878
29 de agosto a 04 de septiembre	827	68	398	32	1225
05 - 11 de septiembre	707	58	522	42	1229
12 - 18 de septiembre	913	59	641	41	1554
26 de septiembre – 03 de octubre	805	71	335	29	1140
14 - 22 de noviembre	1122	64	627	36	1749
23 de noviembre - 01 de diciembre	960	65	511	35	1471
02 -10 de diciembre	1099	62	680	38	1779
11 - 19 de diciembre	749	58	536	42	1285
20 - 28 de diciembre	664	44	831	56	1495
<b>2004</b>					
07 - 15 de enero	1092	60	715	40	1807
12 - 20 de febrero	601	43	808	57	1409
11 - 25 de marzo	1424	65	759	35	2183
26 de marzo – 09 de abril	308	17	1552	83	1860
10 - 24 de abril	703	45	859	55	1562
25 de abril – 09 de mayo	419	37	712	63	1131
24 de septiembre – 09 de octubre	1640	69	739	31	2379
10 - 26 de octubre	1474	69	668	31	2142
27 de octubre – 12 de noviembre	1237	71	517	29	1754
13 – 28 de noviembre	1197	64	669	36	1866
29 de noviembre - 14 de diciembre	1176	66	611	34	1787
15 - 24 de diciembre	1033	62	622	38	1655
25 de diciembre - 03 de enero	1640	79	444	21	2084
<b>2005</b>					
04 - 13 de enero	1783	70	766	30	2549
14 - 23 de enero	966	54	809	46	1775
26 de marzo – 09 de abril	862	49	898	51	1760
10 - 24 de abril	866	52	807	48	1673
25 de abril - 09 de mayo	408	32	861	68	1269
10 - 24 de mayo	628	26	1751	74	2379
09 - 23 de julio	532	34	1018	66	1550
08 - 22 de agosto	1308	58	941	42	2249
24 - 31 de agosto	884	49	935	51	1819
01- 08 de septiembre	1173	62	711	38	1884
09 - 16 de septiembre	1319	66	691	34	2010
17 - 24 de septiembre	1229	65	659	35	1888
20 - 29 de noviembre	1310	65	708	35	2018



**Figura 20.** Concentración de fósforo particulado orgánico, inorgánico y total en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

de la desviación estándar obtenidos durante los años de muestreo se presentan en las Tablas 8 y 9.

A causa de que los flujos de los elementos particulados se calcularon en base al flujo de masa total multiplicado por la concentración de cada elemento no es sorprendente que las variaciones de flujo total tienden a tener predominancia. Así que hay flujos máximos durante agosto y septiembre de 2003 asociados con la influencia de dos huracanes y hay otros picos además de los mencionados. La influencia de los huracanes sobre los flujos de los elementos es caracterizada de manera más completa en la discusión.

#### 8.2.1. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos terrígenos (Al, Cs, Fe, Rb y Sc) particulados

##### Aluminio

En los flujos de aluminio se observó también la influencia del periodo de huracanes, ya que es en el 2003 en el que se encontró el mayor flujo promedio ( $33 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) y el flujo más alto con  $130 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Figura 21).

##### Fierro

Para el Fe se encontró un flujo de masa promedio de entre  $9 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  en el 2002, a  $31 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  en el 2003, ya que los máximos se encontraron en este último año que estuvo influenciado por la presencia de dos huracanes, encontrando picos durante el verano y otoño de hasta  $138 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Figura 21).

##### Escandio

En el escandio se exhibió un comportamiento similar ya que el flujo promedio mayor se encontró durante el 2003 ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), asimismo se tiene que el flujo máximo fue en el verano de 2003 con casi  $53 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Figura 22).

**Tabla 8.** Valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de los flujos de los elementos mayores y traza en MPH de la Bahía de La Paz

Elemento	Año			
	2002	2003	2004	2005
Fe	<u>0.09 - 40</u>	<u>2.4 - 138</u>	<u>0.4 - 60</u>	<u>2 - 22</u>
	15 ± 9	31 ± 40	15 ± 14	9 ± 6
Al	<u>0.15 - 54</u>	<u>0.6 - 130</u>	<u>0.8 - 71</u>	<u>2 - 26</u>
	21 ± 13	33 ± 39	20 ± 17	9 ± 6
Ca	<u>1.4 - 111</u>	<u>17 - 120</u>	<u>0.3 - 87</u>	<u>4 - 94</u>
	29 ± 22	52 ± 35	30 ± 23	36 ± 28
	<hr/>			
	<b>µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup></b>			
Sc	<u>0.01 - 18</u>	<u>0.9 - 53</u>	<u>0.4 - 22</u>	<u>0.8 - 7.7</u>
	5.5 ± 3.7	12 ± 16	5.8 ± 5	3.1 ± 2.1
Co	<u>0.18 - 12</u>	<u>0.08 - 57</u>	<u>3.6 - 52</u>	<u>3.2 - 10</u>
	5.7 ± 3	14 ± 16	16 ± 13	6.8 ± 1.9
Zn	<u>3 - 357</u>	<u>4.7 - 309</u>	<u>8.2 - 142</u>	<u>4.3 - 272</u>
	79 ± 55	84 ± 89	50 ± 33	52 ± 56
Sr	<u>66 - 2076</u>	<u>119 - 1400</u>	<u>0.02 - 908</u>	<u>44 - 542</u>
	584 ± 367	660 ± 271	256 ± 256	208 ± 129
Ba	<u>45 - 887</u>	<u>44 - 1170</u>	<u>4 - 490</u>	<u>12 - 468</u>
	269 ± 172	287 ± 320	153 ± 139	192 ± 115
Cr	<u>0.6 - 60</u>	<u>4.4 - 185</u>	<u>0.45 - 73</u>	<u>1.2 - 33</u>
	26 ± 16	37 ± 41	22 ± 17	14 ± 11
Cs	<u>0.04 - 13</u>	<u>0.6 - 42</u>	<u>0.8 - 12</u>	<u>0.1 - 5.7</u>
	4.6 ± 3	7.4 ± 10	3.8 ± 3.7	2.3 ± 2
Rb	<u>3.3 - 107</u>	<u>3 - 313</u>	<u>2.7 - 70</u>	<u>0.7 - 55</u>
	39 ± 27	47 ± 75	24 ± 20	19 ± 16
As	<u>0.7 - 23</u>	<u>0.9 - 35</u>	<u>1 - 45</u>	<u>0.3 - 13.6</u>
	7.4 ± 5.7	9.5 ± 9.5	8.9 ± 10	4 ± 3
Sb	<u>0.07 - 15</u>	<u>0.07 - 10</u>	<u>0.09 - 9</u>	<u>0.2 - 11</u>
	6.6 ± 3.8	1.8 ± 2	1 ± 2	1.5 ± 2.1
Se	<u>0.1 - 4.4</u>	<u>0.05 - 4.5</u>	<u>0.05 - 32</u>	<u>0.4 - 1.5</u>
	1.4 ± 2.1	1.4 ± 1.3	7.3 ± 7.4	1 ± 0.5
U	<u>0.5 - 14</u>	<u>0.6 - 10.6</u>	<u>0.14 - 6</u>	<u>0.1 - 2.3</u>
	3.6 ± 2.5	3 ± 2.3	1.8 ± 1.7	0.7 ± 0.6
Mn	<u>103 - 840</u>	<u>13 - 2275</u>	<u>26 - 972</u>	<u>50 - 495</u>
	350 ± 154	720 ± 781	443 ± 266	202 ± 126
V	<u>0.07 - 85</u>	<u>0.9 - 235</u>	<u>2 - 58</u>	<u>3.4 - 48</u>
	35 ± 21	46 ± 60	24 ± 20	19 ± 13
Ni	<u>0.5 - 86</u>	<u>1.8 - 76</u>	<u>3.4 - 41</u>	<u>5 - 52</u>
	31 ± 17	28 ± 24	17 ± 8	21 ± 13
Cu	<u>0.5 - 88</u>	<u>1.4 - 72</u>	<u>4 - 28</u>	<u>3 - 181</u>
	24 ± 16	28 ± 20	13 ± 6.4	39 ± 36
Mo	<u>0.05 - 6</u>	<u>0.1 - 2.2</u>	<u>0.2 - 2.1</u>	<u>0.1 - 1</u>
	1.6 ± 1.4	0.8 ± 0.6	0.7 ± 0.5	0.5 ± 0.2
Cd	<u>0.04 - 4</u>	<u>0.05 - 2.5</u>	<u>0.4 - 2.8</u>	<u>0.2 - 1.3</u>
	1 ± 0.9	1.1 ± 0.9	1.4 ± 0.6	0.7 ± 0.3
Pb	<u>0.6 - 33</u>	<u>0.5 - 36</u>	<u>0.8 - 41</u>	<u>1.1 - 12</u>
	18 ± 8.3	12 ± 12	12 ± 9	5 ± 2.9

**Tabla 9.** Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de los flujos de los elementos del grupo de las tierras raras en la materia particulada en hundimiento de la Bahía de La Paz

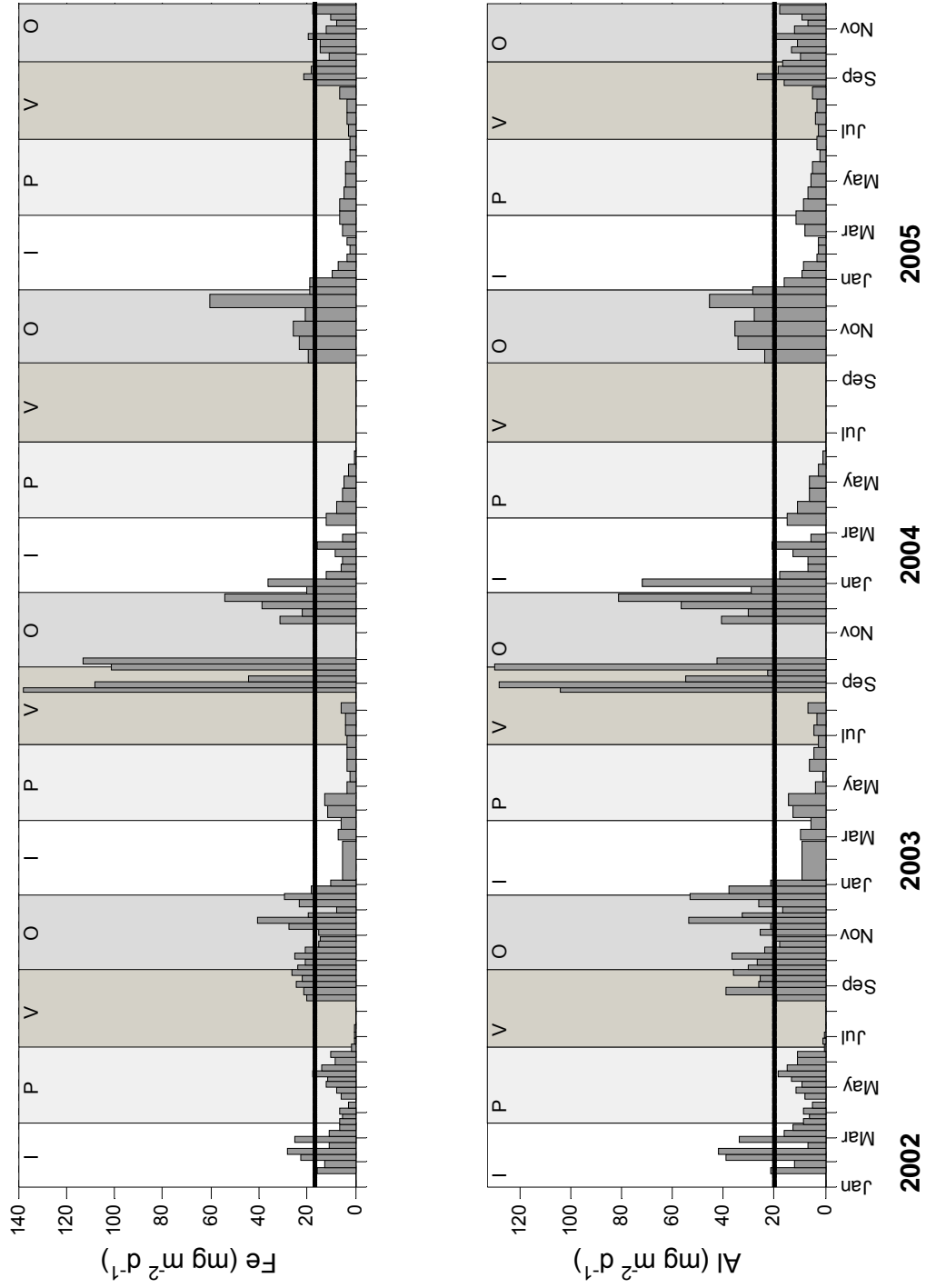
Elemento $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$	Año			
	2002	2003	2004	2005
La	$\frac{0.03 - 26}{8 \pm 5}$	$\frac{0.3 - 53}{14 \pm 18}$	$\frac{0.4 - 25}{8 \pm 7}$	$\frac{0.2 - 10}{4 \pm 3}$
Ce	$\frac{0.6 - 50}{15 \pm 10}$	$\frac{0.7 - 100}{26 \pm 33}$	$\frac{1 - 51}{15 \pm 13}$	$\frac{0.8 - 18}{8 \pm 5}$
Nd	$\frac{0.3 - 21}{7 \pm 4}$	$\frac{0.4 - 42}{11 \pm 13}$	$\frac{0.6 - 25}{7 \pm 6}$	$\frac{0.8 - 8}{3 \pm 2}$
Sm	$\frac{0.08 - 5}{2 \pm 1}$	$\frac{0.1 - 11}{3 \pm 3}$	$\frac{0.1 - 7}{2 \pm 2}$	$\frac{0.2 - 2}{0.8 \pm 0.5}$
Eu	$\frac{0.03 - 1.3}{0.2 \pm 0.2}$	$\frac{0.01 - 2}{0.3 \pm 0.4}$	$\frac{0.03 - 4}{0.4 \pm 0.8}$	$\frac{0.02 - 0.8}{0.2 \pm 0.2}$
Tb	$\frac{0.03 - 1}{0.3 \pm 0.2}$	$\frac{0.02 - 2}{0.5 \pm 0.6}$	$\frac{0.03 - 1}{0.3 \pm 0.3}$	$\frac{0.03 - 0.4}{0.1 \pm 0.09}$
Er	$\frac{0.2 - 3}{1 \pm 0.6}$	$\frac{0.09 - 7}{2 \pm 2}$	$\frac{0.09 - 3}{0.8 \pm 0.8}$	$\frac{0.1 - 2}{0.5 \pm 0.4}$
Yb	$\frac{0.2 - 3}{0.9 \pm 0.5}$	$\frac{0.07 - 5}{1 \pm 1}$	$\frac{0.07 - 2}{0.5 \pm 0.5}$	$\frac{0.07 - 1}{0.4 \pm 0.3}$
Lu	$\frac{0.03 - 0.6}{0.1 \pm 0.1}$	$\frac{0.01 - 0.9}{0.2 \pm 0.2}$	$\frac{0.01 - 0.3}{0.09 \pm 0.08}$	$\frac{0.01 - 0.2}{0.06 \pm 0.05}$

### Cesio

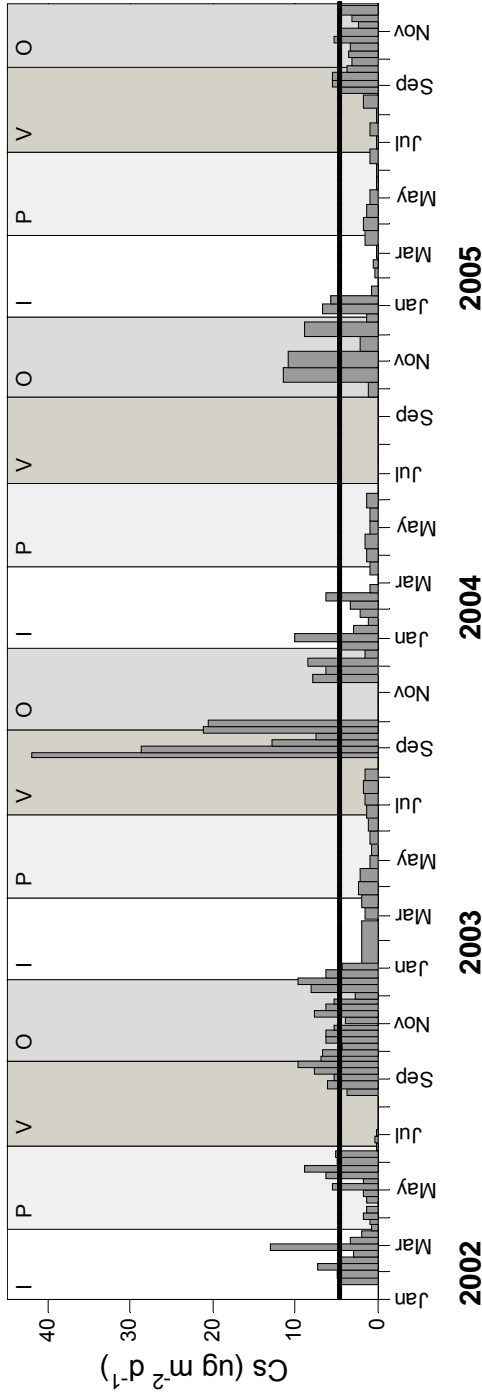
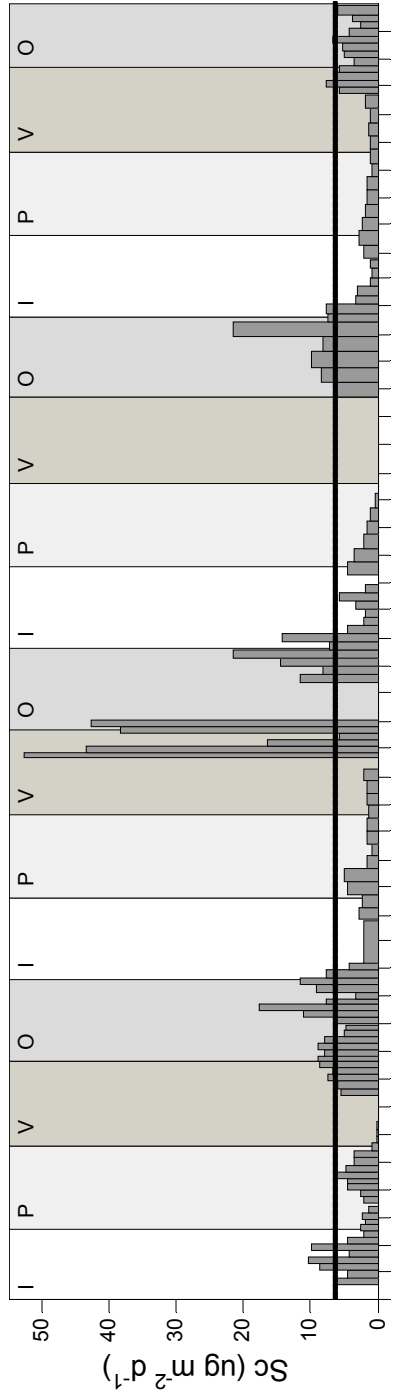
El cesio presentó los mayores flujos en el 2003 ( $42 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), asimismo se calculó el flujo promedio mas alto con  $7.4 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  en el mismo año (Figura 22).

### Rubidio

En cuanto al rubidio, se advirtió que los flujos con los picos mas importantes, de hasta  $313 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  y un promedio de  $47 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  se encontraron en el 2003, mientras que los menores flujos se vieron reflejados durante el 2005 con un valor promedio de  $19 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (Figura 23).



**Figura 21.** Flujos de Fe y Al particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 22.** Flujos de Sc y Cs particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



#### 8.2.1.1. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos del grupo de tierras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu) particulados

En todos los elementos de los lantánidos se encontró un comportamiento similar (Figuras 23 y 24), con los flujos máximos durante el 2003, año influenciado por los huracanes. En la Tabla 9 se observan que los flujos más altos se manifestaron en el Ce ( $100 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), La ( $53 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) y Nd ( $42 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). A estos elementos le sigue el Sm ( $11 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) con flujo menor. Finalmente los lantánidos con los flujos menores de  $10 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  durante el periodo de huracanes fueron el Eu, Tb, Yb y Lu. El comportamiento de los flujos de los ETR particulados en hundimiento en el resto de los años fue también similar, ya que durante el 2002 y 2004 se calcularon flujos promedio comparables, mientras que en el 2005 se determinaron los flujos mas bajos de este estudio. Lo anterior influenciado por la característica de que el 2005 presentó flujos de masa total menores a los otros años con hincapié en la diferencia que se reportó para febrero con los flujos mínimos (Tabla 9).

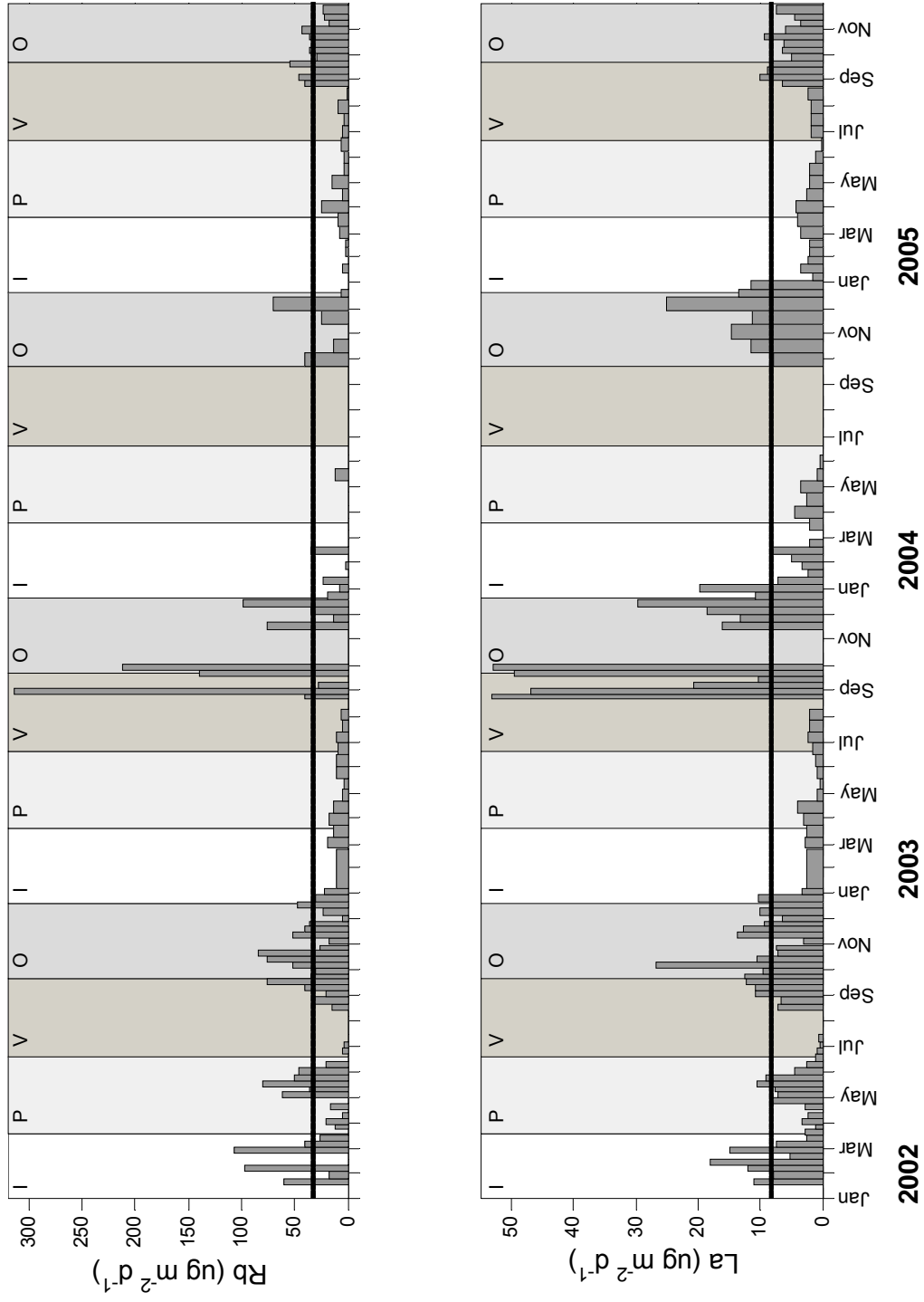
#### 8.2.2. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos típicamente asociados a los componentes biogénicos (Ba, Ca y Sr)

##### Bario

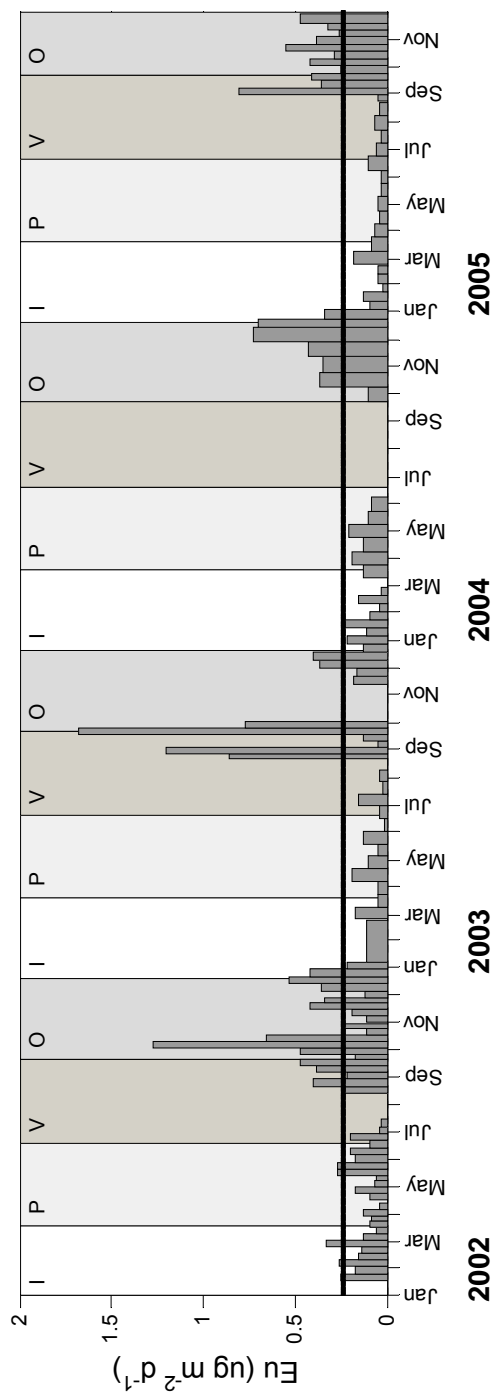
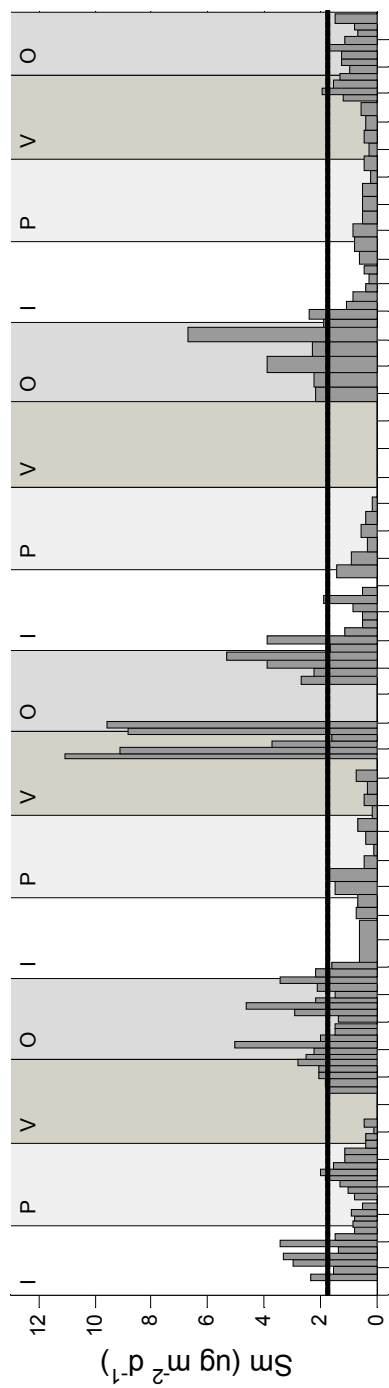
El bario fue un elemento que reflejó la influencia de los aportes fluviales ya que durante el 2003 se registraron los picos mas sobresalientes con flujos de hasta  $1170 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , sin embargo en promedio este elemento presentó valores similares tanto en el 2002 como en el 2003 de alrededor de  $250 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , mientras que los flujos mas bajos se presentaron en el 2004 y en el 2005.

##### Calcio

En relación a los elementos de origen biogénico se advirtió para el calcio un ligero incremento en los flujos del año 2003, sin embargo durante todos los años se notaron flujos máximos comparables, de entre  $94$  y  $120 \text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . Se observaron.



**Figura 23** Flujos de Rb y La particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 24.** Flujos de Sm y Eu particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

flujos promedio de alrededor de  $30 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , a excepción del año 2003 en el que se incrementó a  $50 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Figura 25).

#### Estroncio

Para el estroncio, los mayores flujos calculados se encontraron durante el 2002 y 2003 con un valor máximo de  $2076 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , mientras que en el 2005 se presentaron los flujos más bajos con promedios de alrededor de  $200 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Figura 25).

#### 8.2.3. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos–micronutrientes (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Se, V y Zn) particulados

##### Cadmio y molibdeno

Un comportamiento diferente lo encontramos en los micronutrientes Cd y Mo ya que en ambos casos fue en el año 2002 se encontraron los flujos mas importantes con  $4$  y  $6 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  respectivamente (Figura 26).

##### Cobalto, cromo, manganeso y vanadio

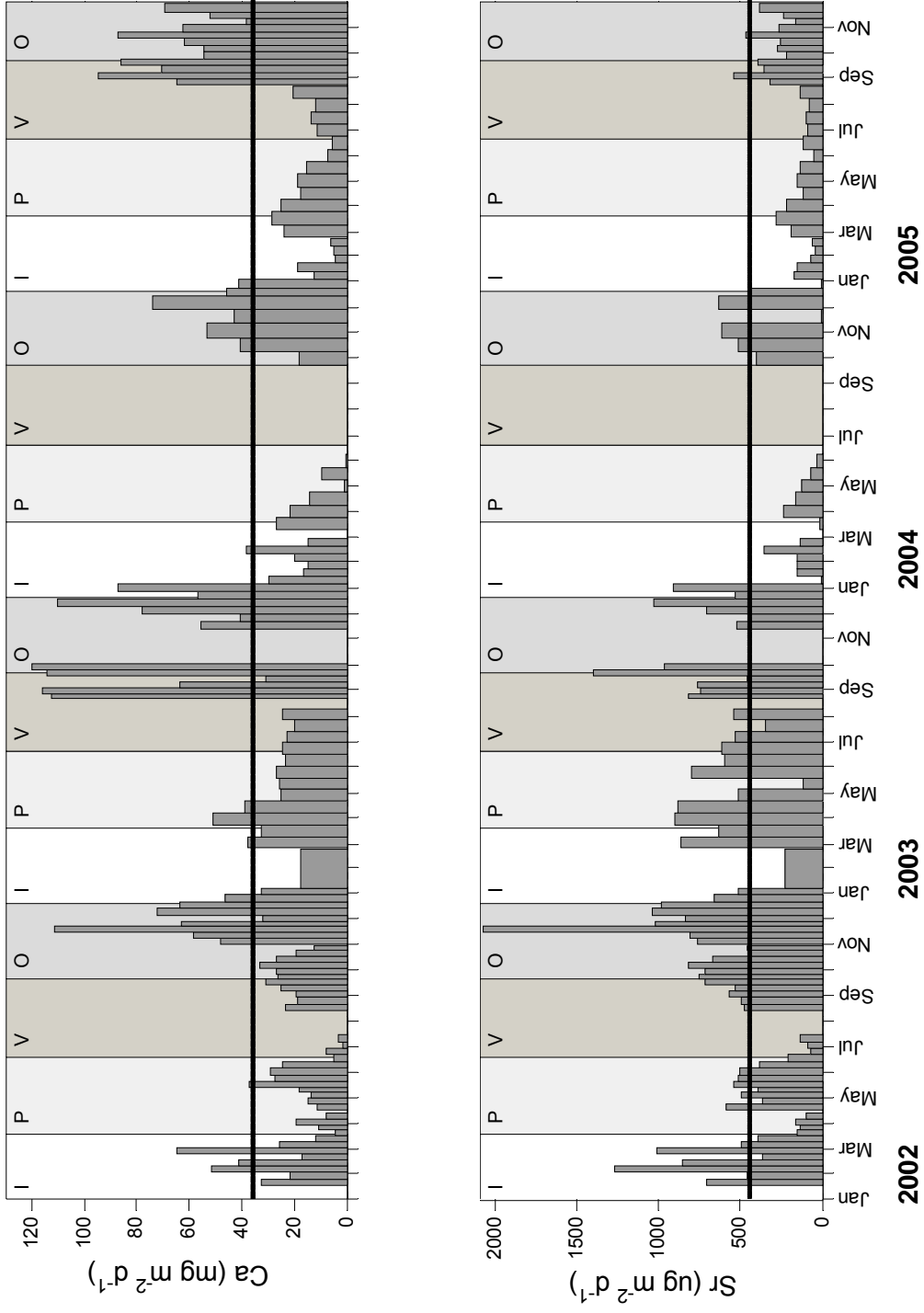
Dentro de los elementos micronutrientes se encontró que algunos elementos como el Co, Cr, Mn y V particulados en hundimiento incrementaron de forma importante sus flujos durante el 2003, llegando a alcanzar valores de  $57$ ,  $185$ ,  $2275$  y  $235 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  respectivamente (Figura 27).

##### Cobre

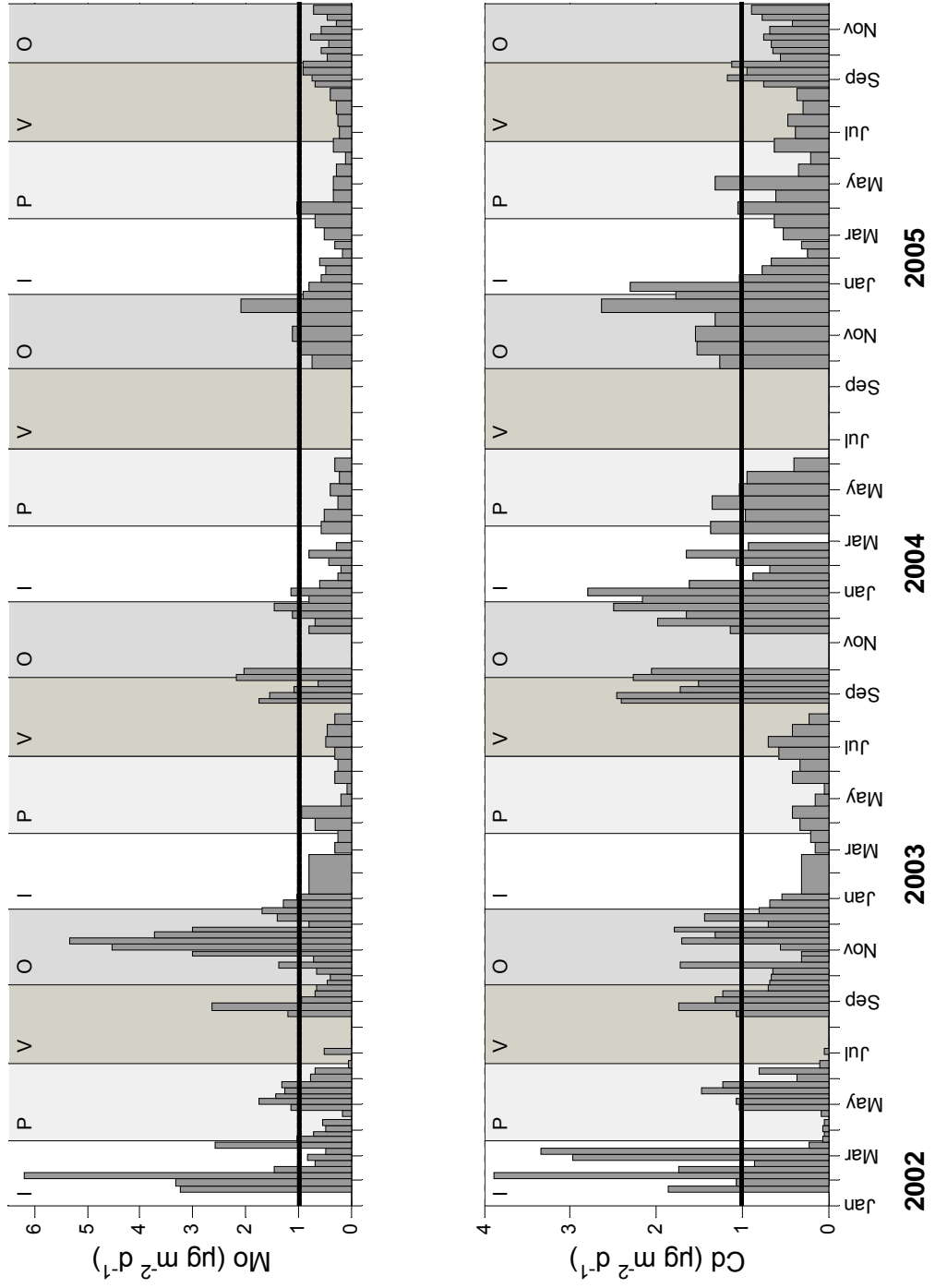
El cobre fue el único micronutriente que presentó los flujos extremos durante el 2005, con un pico de  $181 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Figura 28)

##### Níquel y zinc

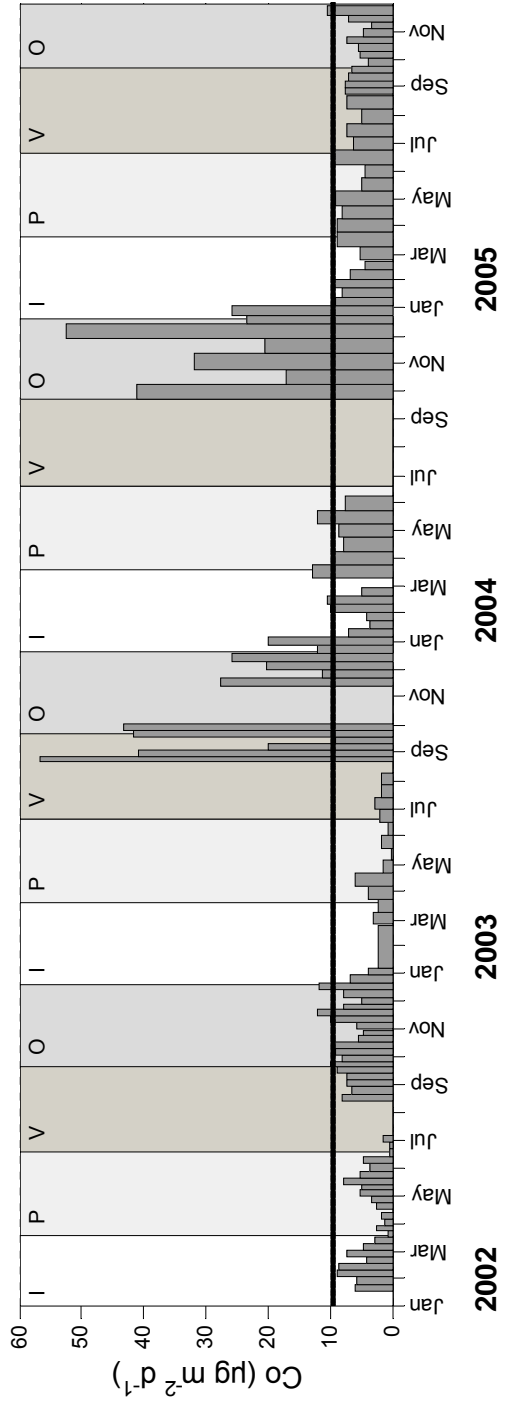
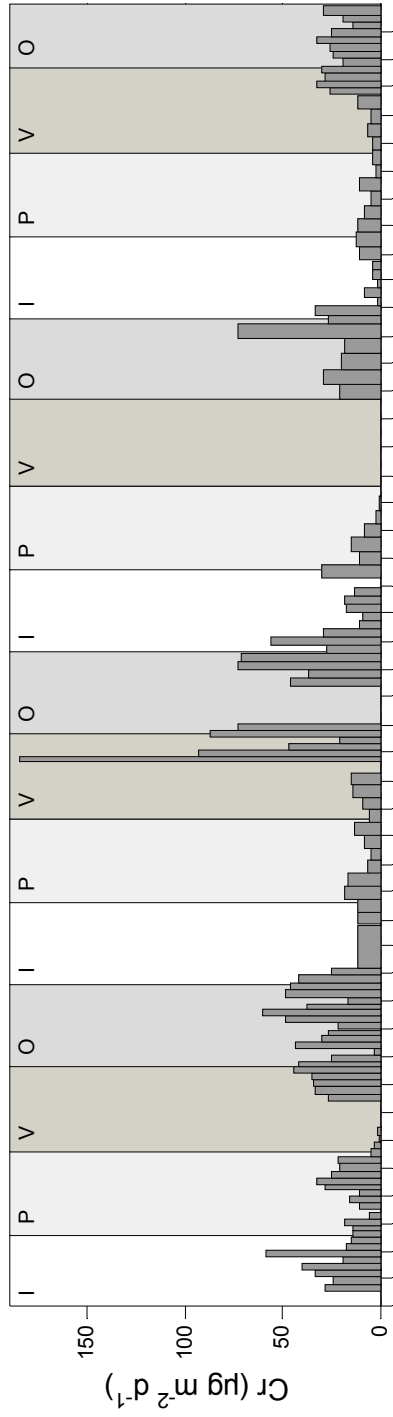
Otros elementos como el Ni y Zn además de presentar flujos altos en el 2003, registraron también flujos extremos en el año 2002, con valores en ambos periodos de alrededor de  $80$ ,  $3$  Y  $300 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  respectivamente (Figura 29).



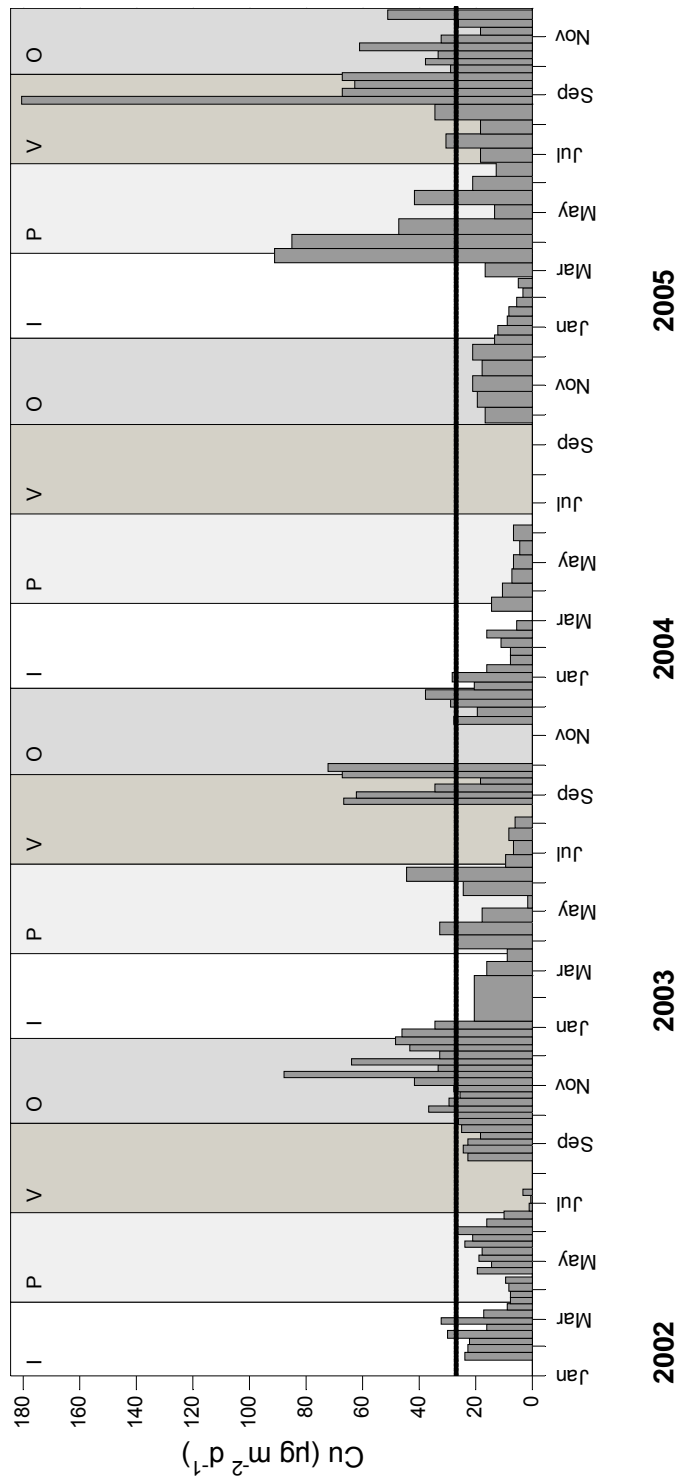
**Figura 25.** Flujos de Ca y Sr particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 26.** Flujos de Mo y Cd particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 27.** Flujo de Cr y Co particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 28.** Flujo de Cu particulado en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



## Selenio

La variabilidad de los flujos de Se se muestra en la Figura 29, en donde se observan los mayores valores entre noviembre de 2004 y febrero de 2005.

### 8.2.4. Variabilidad temporal de los flujos de los elementos potencialmente tóxicos (As, Pb y Sb) particulados

## Antimonio

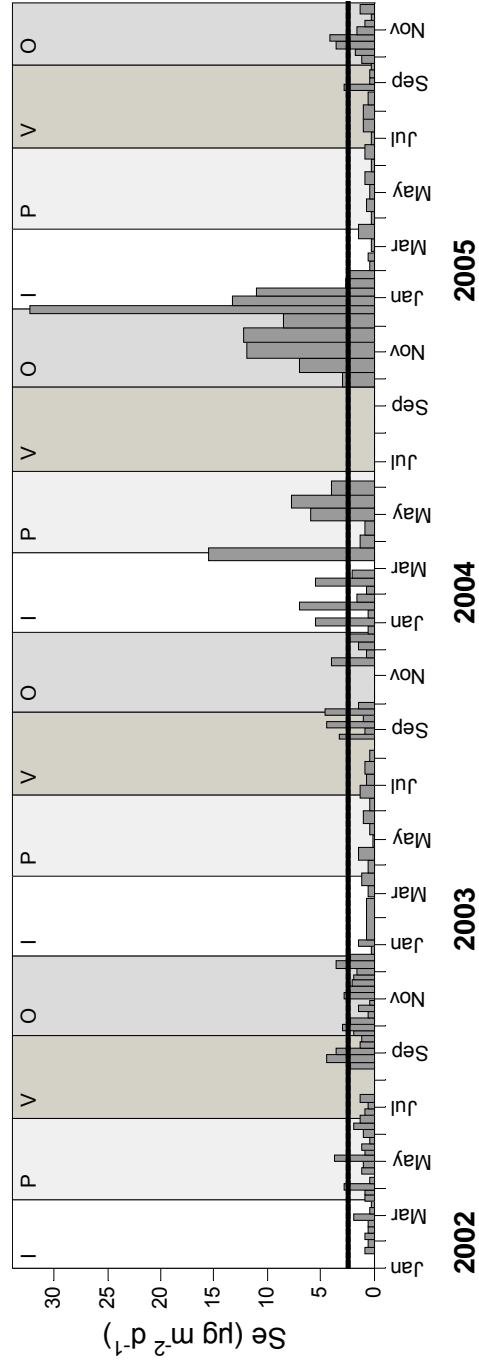
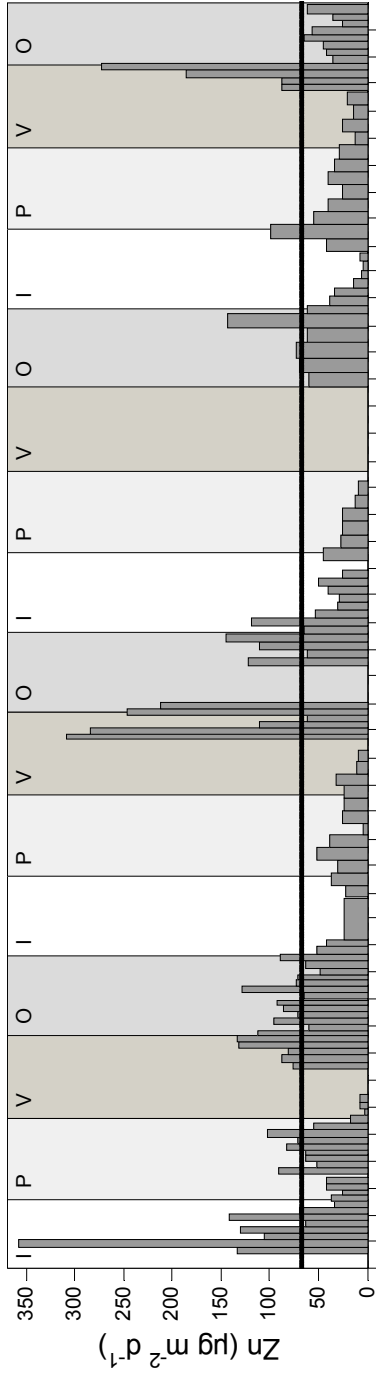
El antimonio también exhibió los flujos mas bajos en el 2005 con un flujo promedio de  $0.28 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  y teniendo como contraste el flujo promedio de  $6.6 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  encontrado en el 2002, año en el que también se encontraron los flujos prominentes con valores de hasta  $14 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (Figura 30).

## Arsénico

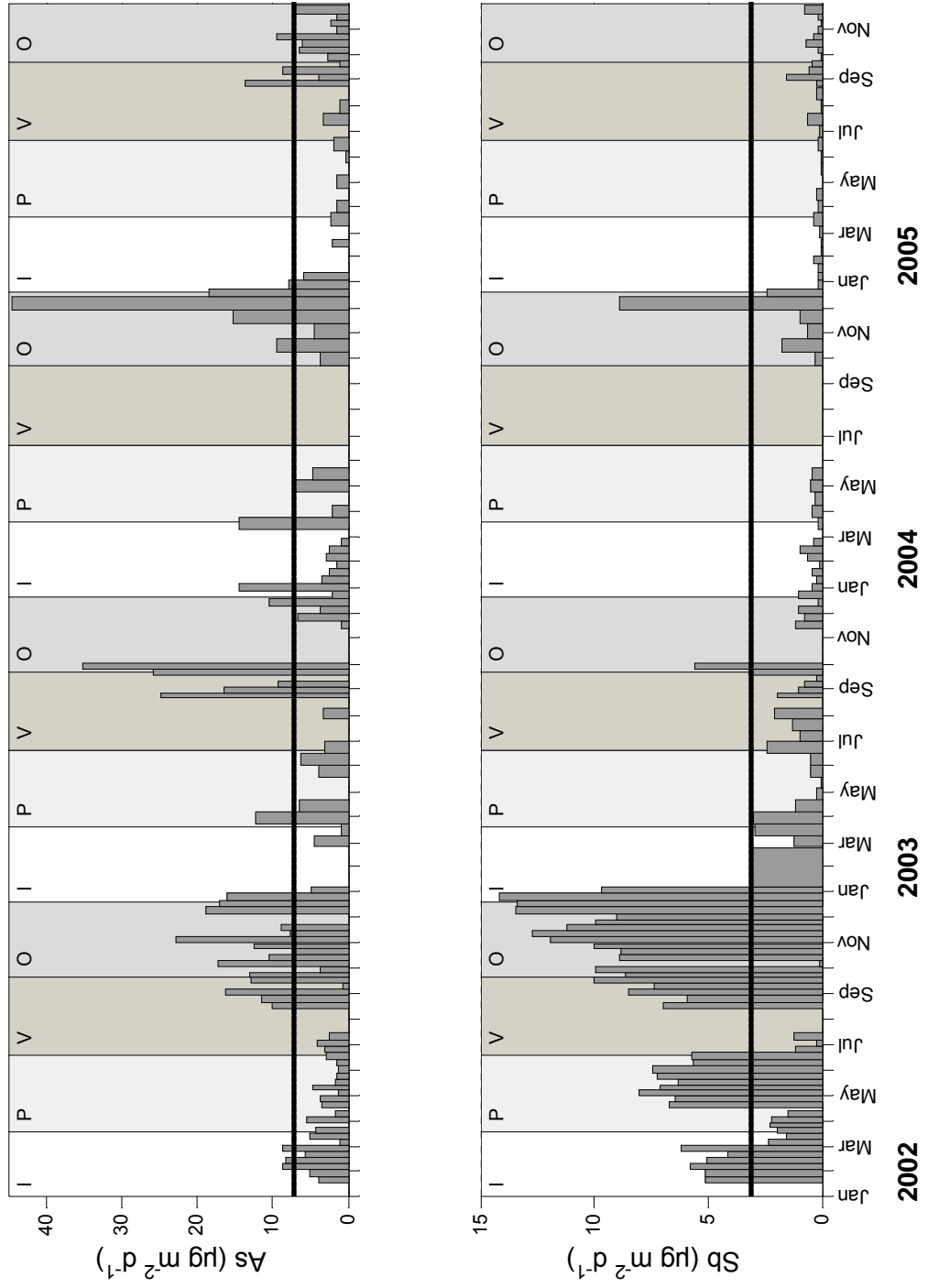
El arsénico es un elemento que presentó valores altos tanto en el año 2003 como en el 2004, siendo en este último en el que se calcularon flujos de hasta  $45 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  y concentraciones promedio de aproximadamente  $9 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  tanto para el 2003 como para el 2004, en el caso opuesto se apreció el año 2005 en el que se estimaron los flujos mínimos así como el menor flujo promedio, con un valor de  $4 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (Figura 30).

## Plomo

El plomo reflejó valores altos en los flujos encontrados tanto en el año 2003 como en el 2004, siendo en este último en el que se encontraron los flujos mas altos promedio con hasta  $41 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , sin embargo, fue en el 2002 en el que se observó el flujo mayor con  $18 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , y en contraste fue en el 2005 en el que se obtuvo el flujo promedio mínimo con  $5 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (Figura 31).



**Figura 29.** Flujo de Zn y Se particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



**Figura 30.** Flujos de As y Sb particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

#### 8.2.5. Variabilidad temporal de los flujos del elemento redox-sensible U particulado en hundimiento en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

El uranio ostentó los flujos mas altos durante el año 2005 con picos de hasta  $23 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  y un flujo promedio de  $4 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , mientras que en el resto de los años los flujos fueron disminuyendo hasta los valores mínimos encontrados en el 2005 ( $2.3 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) (Figura 30).

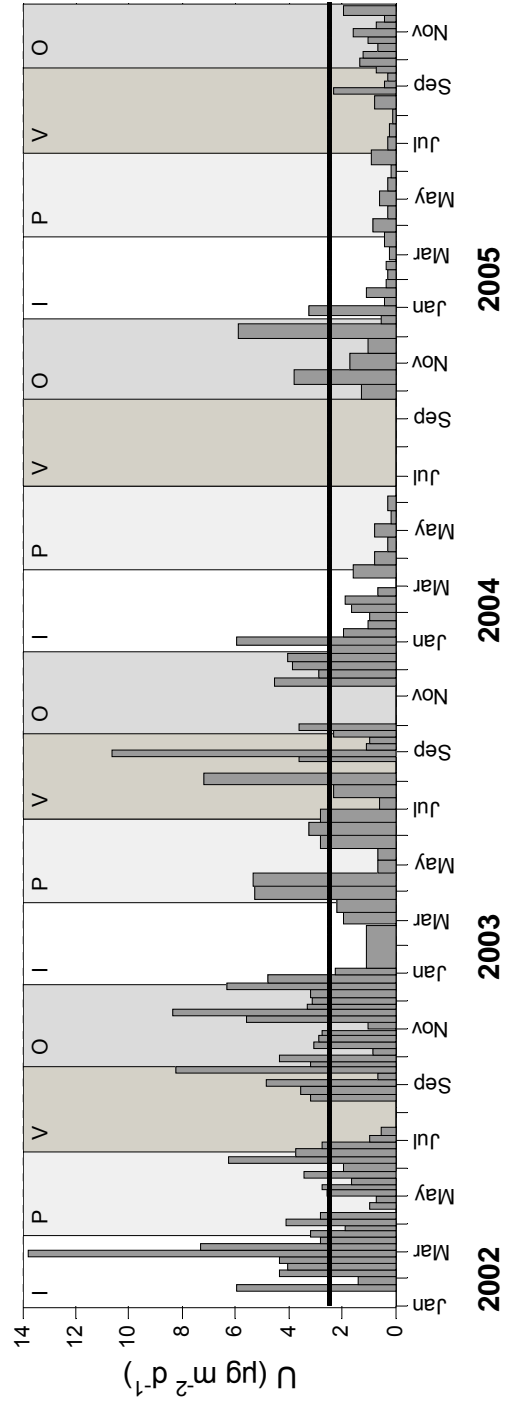
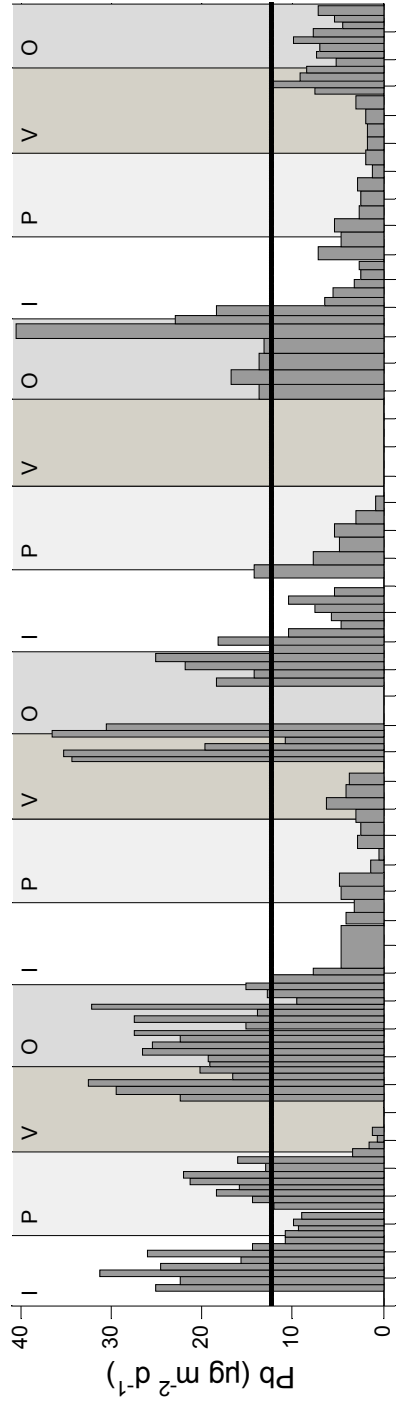
#### 8.2.6. Variabilidad temporal de los flujos de fósforo particulado en hundimiento y sus dos principales fases (inorgánica y orgánica)

El flujo de fósforo particulado total encontrado en la Cuenca Alfonso (Tabla 10) mostró los valores mas altos en el año 2003 con  $7 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  y un promedio de  $2.8 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . Estos flujos disminuyeron en los dos años siguientes con los flujos mas bajos durante el 2005 (Tabla 10). El comportamiento de los flujos de las formas tanto inorgánica como orgánica del fósforo, presentaron una conducta similar, ya que en el 2003 ocurrieron los flujos mas altos, con un promedio de  $1.5$  y  $1.3 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  para el FPI y FPO respectivamente, disminuyendo en los dos años subsecuentes. En la representación gráfica de los flujos de fósforo particulado como se observa en las Figuras 47 y 48, se advierte que mientras que el fósforo particulado inorgánico en hundimiento presentó altos flujos tanto en el verano como en el otoño de 2003 y en el otoño de 2004, el fósforo particulado orgánico presentó un pico en sus flujos en el verano de 2003 con un valor de  $5 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

#### 8.2.7. Comparación general de los flujos promedio de los elementos particulados en la Cuenca Alfonso durante los años 2002, 2004 y 2005

De acuerdo con los flujos promedio en la cuenca Alfonso de la Bahía de La Paz en los años sin impacto de huracanes (2002, 2004 y 2005), los elementos particulados en general pueden ordenarse en la siguiente secuencia: **Ca** ( $29\text{-}36 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Al** ( $9\text{-}21 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Fe** ( $9\text{-}15 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Sr** ( $208\text{-}584 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Mn** ( $202\text{-}443 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Ba** ( $153\text{-}269 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Zn** ( $50\text{-}79 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Rb** ( $19\text{-}39 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Cu** ( $13\text{-}39 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **V** ( $19\text{-}35 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Ni** ( $17\text{-}31 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Cr** ( $14\text{-}37 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Pb** ( $5\text{-}18 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Co** ( $5.7\text{-}16 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) > **Ce** ( $8 - 15 \mu\text{g m}^{-2}$

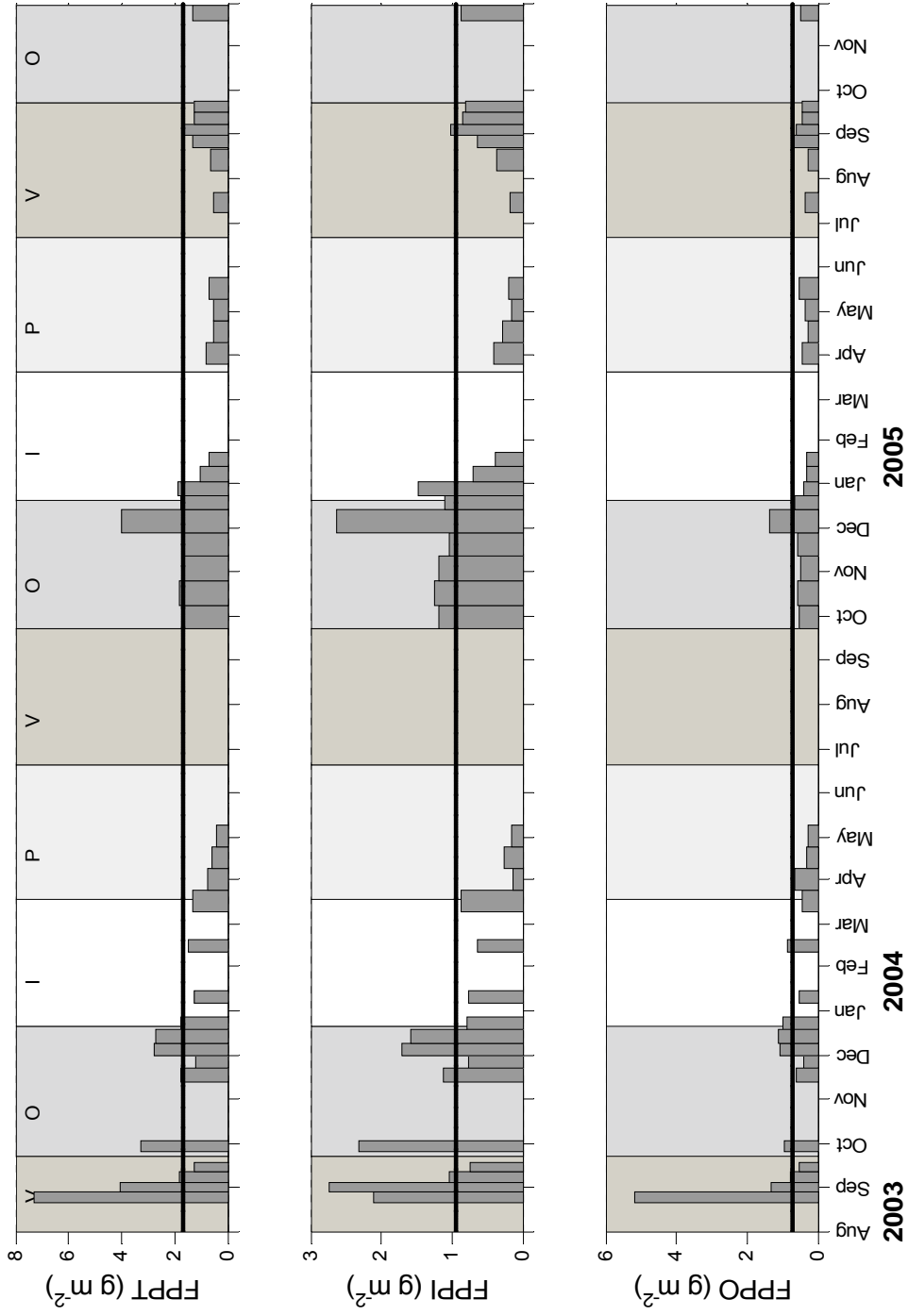
$d^{-1}$ ) > **As** (4.0-8.9  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **La** (4-8  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Nd** (3-7  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Sb** (0.28-6.6  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Sc** (3.1-5.8  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Cs** (2.3-4.6  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **U** (0.7-4.1  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Se** (1.0-2.7  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Sm** (0.8-2  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Mo** (0.5- 1.6  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Cd** (0.7-1.4  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Er** (0.5-1  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Yb** (0.4-0.9  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Eu** (0.2-0.4  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Tb** (0.1-0.3  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ) > **Lu** (0.06-  $\mu\text{g m}^{-2} d^{-1}$ ).



**Figura 31.** Flujos de Pb y U particulada en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

**Tabla 10.** Flujos de fósforo particulado total (FPT), fósforo inorgánico particulado (FIP) y fósforo orgánico particulado (FPO) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

	FPO	FPI	FPT
	$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$	$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$	$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$
<b>2003</b>			
22 a 28 de agosto	2.11	5.19	7.29
29 de agosto a 04 de septiembre	2.75	1.32	4.07
05 - 11 de septiembre	1.03	0.76	1.79
12 - 18 de septiembre	0.74	0.52	1.26
26 de septiembre – 03 de octubre	2.31	0.96	3.27
14 - 22 de noviembre	1.12	0.63	1.75
23 de noviembre - 01 de diciembre	0.78	0.41	1.19
02 -10 de diciembre	1.72	1.06	2.78
11 - 19 de diciembre	1.57	1.13	2.70
20 - 28 de diciembre	0.79	0.98	1.77
<b>2004</b>			
07 - 15 de enero	0.78	0.51	1.28
12 - 20 de febrero	0.64	0.85	1.49
11 - 25 de marzo	0.86	0.46	1.32
26 de marzo – 09 de abril	0.13	0.65	0.78
10 - 24 de abril	0.26	0.32	0.58
25 de abril – 09 de mayo	0.16	0.28	0.44
24 de septiembre – 09 de octubre	1.19	0.54	1.73
10 - 26 de octubre	1.26	0.57	1.82
27 de octubre – 12 de noviembre	1.19	0.50	1.69
13 – 28 de noviembre	1.04	0.58	1.63
29 de noviembre - 14 de diciembre	2.64	1.37	4.01
15 - 24 de diciembre	1.10	0.66	1.77
25 de diciembre - 03 de enero	1.48	0.40	1.88
<b>2005</b>			
04 - 13 de enero	0.71	0.31	1.02
14 - 23 de enero	0.39	0.32	0.71
26 de marzo – 09 de abril	0.40	0.42	0.82
10 - 24 de abril	0.28	0.26	0.53
25 de abril - 09 de mayo	0.16	0.35	0.51
10 - 24 de mayo	0.19	0.53	0.72
09 - 23 de julio	0.18	0.35	0.53
08 - 22 de agosto	0.38	0.27	0.65
24 - 31 de agosto	0.64	0.67	1.31
01- 08 de septiembre	1.02	0.62	1.63
09 - 16 de septiembre	0.84	0.44	1.28
17 - 24 de septiembre	0.80	0.43	1.24
20 - 29 de noviembre	0.86	0.47	1.33



**Figura 32.** Flujo de fósforo particulado total, inorgánico y orgánico en la materia particulada en hundimiento de La Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio



## 9. DISCUSIÓN

### 9.1. Aspectos generales de la composición de la MPH en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

Los datos de base para este trabajo, en relación a la variabilidad temporal del flujo de masa total (FMT), abundancia y flujos de sílice biogénico, carbonato de calcio, materia orgánica y material litogénico, fueron proporcionados a nosotros por Silverberg y colaboradores (2006). La secuencia completa de estos macroparámetros en la materia particulada en hundimiento (MPH) de enero de 2002 a noviembre de 2005 se describió por Aguirre Bahena (2007). Estos autores revelaron un grado considerable de variación en la composición y flujo de las partículas sedimentarias en la Cuenca Alfonso. El FMT cambia por un orden de magnitud entre el inicio de la primavera y el final del otoño, también hay cambios a menor escala lo que influye directamente en los flujos de los elementos motivo de esta tesis.

Asimismo se encontró para esta cuenca una alta proporción de carbonatos asociada con bajos flujos totales que han sido relacionados a los periodos oligotróficos en varias cuencas del margen del Océano Pacífico (Silverberg *et al.* 2004; Ziveri y Thunell, 2000), durante los cuales el nanopláncton de cocolitofóridos prolifera a expensas de las diatomeas silíceas (Silverberg *et al.*, 2006). El promedio de los flujos de  $\text{CaCO}_3$  en la Cuenca Alfonso ( $0.128 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) es mucho más grande que el  $0.05 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  determinado en la Cuenca de Guaymas (Ziveri y Thunell, 2000).

#### 9.1.1. Flujo litogénico

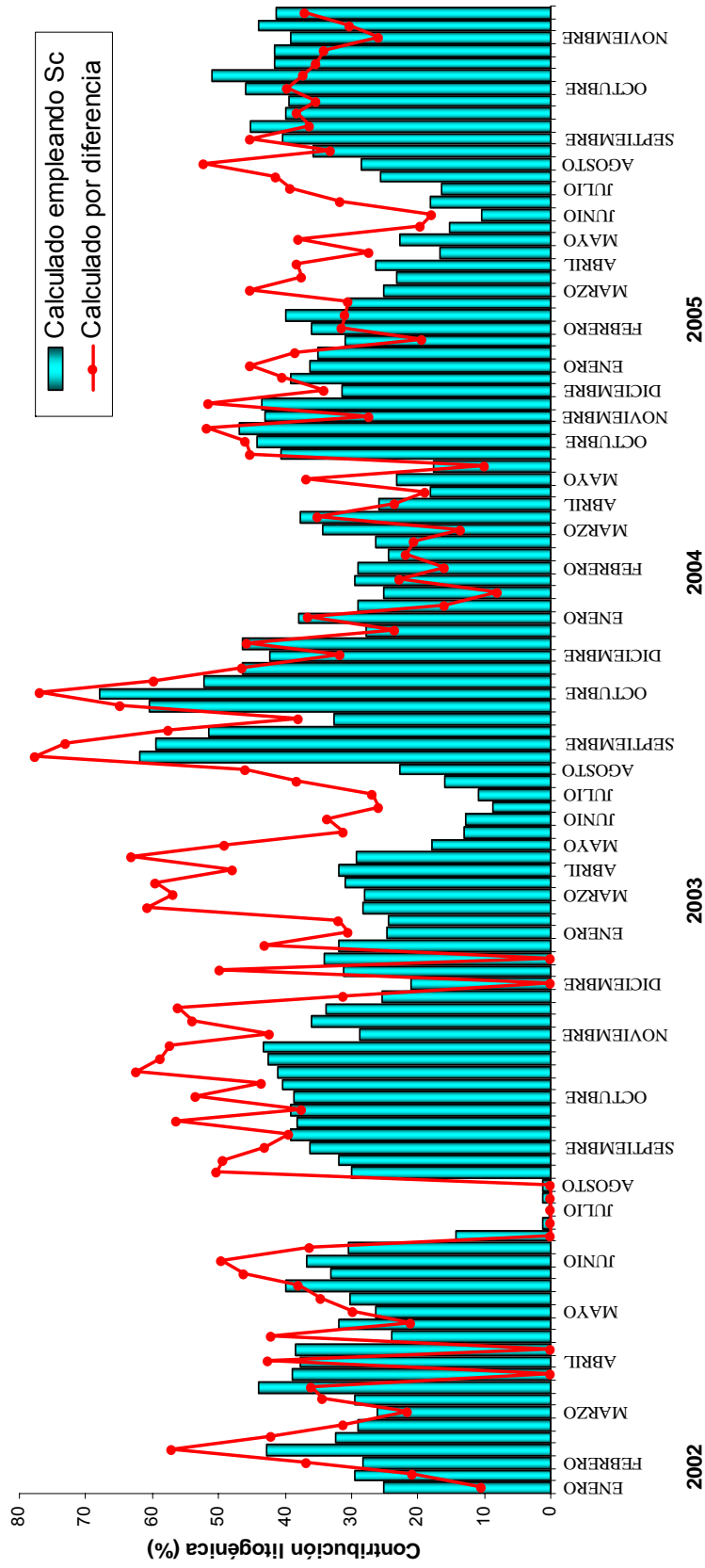
La magnitud de la fracción litogénica en la MPH puede ser estimada usando dos enfoques. El primero involucra la estimación de un componente no-marino o litogénico por la substracción del 100 % de los porcentajes de sílice biogénico,  $\text{CaCO}_3$  y el contenido total de materia orgánica (Aguirre Bahena, 2007). En el segundo procedimiento se aplica la razón de la concentración de Sc en las muestras, a la abundancia promedio de Sc en la corteza terrestre, multiplicada por 100 % (Chester, 2003; Loring, 1991; Silverberg *et al.*, 2007; Taylor, 1964).

Como se nota en la Figura 33, las contribuciones litogénicas calculadas por ambos procedimientos son muy cercanas y en algunos periodos tienen escasa diferencia. Un comportamiento muy diferente, disertó Balakrishnan Nair (2006) para la MPH del Mar Árabe, quien encontró que bajo ciertas condiciones atmosféricas el viento favorece el aporte del polvo de los desiertos del sur de Asia Central, el cual en algunas ocasiones está constituido hasta por un 60 % de dolomita. La dolomita no se disuelve fácilmente en el agua de mar, no es un componente biogénico marino, ni está asociada con los aluminosilicatos continentales.

En el caso de La Cuenca Alfonso la escasa diferencia puede ser relacionada con los cambios en la mineralogía de las partículas en hundimiento (González-Yajimovich, 2004). Durante los periodos normales, la erosión mecánica es lenta y hay una selección de los granos de cuarzo más resistentes, abundantes en las fuentes de rocas riolíticas en las cuencas de drenaje, así como en las playas locales, lo que promueve una dilución adicional de los minerales de aluminosilicatos relacionados con el Sc.

#### 9.1.2. Fósforo

El fósforo es un nutriente vital para los organismos y en bajas concentraciones en el ambiente acuoso el fosfato puede ser limitante para el desarrollo de los mismos. El principal mecanismo de remoción del fósforo en el ambiente marino es por la transformación del fósforo disuelto a fósforo particulado y su incorporación en la MPH, pero poco se conoce sobre los procesos que controlan estas transformaciones (Benítez-Nelson *et al.*, 2007). Se compararon los flujos de P particulado en hundimiento en la Cuenca Alfonso con los encontrados para otras áreas de estudio (Tabla 11), y se advierte que los valores encontrados en la Cuenca Alfonso son similares a lo reportado para la Cuenca Cariaco, mientras que son superiores a lo registrado para el Pacífico Ecuatorial (Faul *et al.*, 2005), posiblemente a causa de que estas últimas fueron recolectadas a profundidades mayores, permitiéndose que el fósforo orgánico particulado fuera más remineralizado.



**Figura 33.** Contribución litogénica calculada por la diferencia de material total y biogénico y la estimada usando Sc.

Otra posible causa es que el fósforo es un elemento nutriente y podría estar en mayor grado depositado en la zona costera por una mayor productividad biológica.

**Tabla 11.** Flujos de fósforo total, inorgánico y orgánico ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) en diferentes zonas de estudio

Sitio	Profundidad m		Fósforo Particulado total	Fósforo Particulado inorgánico	Fósforo Particulado orgánico
Cuenca Alfonso, Bahía de la Paz	350	2003	6.3	3.3	2.9
		2004	3.5	2.2	1.3
		2005	2.1	1.2	0.9
Cuenca Cariaco, frente de las costas de Venezuela (Benitez-Nelson et al., 2007)	407	Surgencia	2.8	1.3	1.5
		Sin surgencia	2.9	1.8	1.04
Pacífico Ecuatorial (Faul et al., 2005)	1926		0.004	0.002	0.002
	3650		0.008	0.003	0.004
	1083		0.012	0.008	0.004
	2908		0.008	0.004	0.004
	4220		0.008	0.004	0.004
	4390		0.01	0.006	0.004

En la composición química del fitoplancton una característica importante es la razón de Redfield la cual para el caso de las diatomeas es para C : Si : P = 106 : 15 : 1 (Millero, 1996). Se puede suponer que la cercanía de las razones de las concentraciones molares de esos elementos en el material de la trampa corresponde a una mayor contribución de material biogénico marino de origen fitoplanctónico. En particular se podría esperar una razón C : Si = 7.07 y C : P = 106. En la Tabla 12 se presentan los cálculos de esas razones, para concentraciones totales de C : Si : P, así como para las formas orgánicas de carbono y fósforo particulados.

Los datos de las razones entre los macronutrientes reflejan que la variabilidad de esas proporciones para las muestras en las que el fósforo fue analizado es muy alta. El valor promedio de la razón  $C_{\text{tot}} : P_{\text{tot}}$  y  $C_{\text{org}} : P_{\text{org}}$  es superior al valor teórico

(106). Al contrario se encontraron las razones promedio de  $C_{tot} : Si$  y  $C_{org} : Si$  que son menos que la mitad del valor teórico (7.07). Las diferencias entre los valores promedio observados en el material de la trampa y valores teóricos fueron mas evidentes para las razones  $Si : P_{tot}$  y  $Si : P_{org}$ , contra lo esperado (15). Probablemente los silicatos fueron más abundantes en la columna del agua que los fosfatos, lo que refleja una discrepancia en las razones de estos elementos.

**Tabla 12.** Razones entre macronutrientes (C; P y Si) en la MPH de Cuenca Alfonso

Valor	$C_{tot} : P_{total}$	$C_{org} : P_{org}$	$C_{tot} : Si$	$C_{org} : Si$	$Si : P_{tot}$	$Si : P_{org}$
Mínimo	44.42	43.76	0.58	0.39	23.76	33.43
Máximo	217.78	285.88	5.79	3.67	202.14	378.82
Media $\pm$ d.est.	122 $\pm$ 36	193 $\pm$ 55	2.4 $\pm$ 1.5	1.5 $\pm$ 0.9	73 $\pm$ 47	165 $\pm$ 91

9.2. Comparación de las concentraciones de los elementos mayores y traza en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso y otros sitios de la región

9.2.1. Elementos terrígenos (Al, Cs, Fe, Rb y Sc)

#### Aluminio

Los contenidos promedio mas altos de este elemento mayoritario en la MPH se advirtieron en las partículas colectadas sobre la Cuenca Guaymas y en trampas instaladas frente al área de Mazatlán por Nameroff (2002, comunicación personal). En segundo lugar se señalaron los valores de los contenidos promedio de Al en la MPH colectada sobre la Cuenca San Lázaro (Soledad) durante condiciones normales en el otoño de 1996 y en el invierno y primavera de 1998 durante condiciones fuertes del fenómeno “El Niño”. Los datos referentes al contenido de Al en la MPH de la Cuenca Alfonso se encontraron en el tercer lugar en este conjunto de resultados.

## Escandio

Los mayores contenidos promedio de Sc en la MPH ( $13.3 \pm 6.1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) se observaron en la Cuenca San Lázaro en enero y abril de 1998 (segunda fase de “El Niño”), después en esta misma cuenca en condiciones normales en otoño de 1996 ( $9.4 \pm 2.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), seguidos por la Cuenca Guaymas en agosto de 1991 a agosto de 1992, también durante “El Niño” ( $8.0 \pm 2.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ), mientras que en la Cuenca Alfonso se observó la disminución de los y promedio de escandio en la siguiente secuencia: año 2003 con el impacto de los huracanes ( $7.5 \pm 4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), año 2005 ( $7.1 \pm 2.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), año 2004 ( $7 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y año 2002 ( $6.8 \pm 2.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabla 13).

## Fierro

La comparación de los datos disponibles para los contenidos promedio de fierro en la MPH de la región mostró que los mayores contenidos promedio de este elemento fueron indicados en la Cuenca San Lázaro en el periodo que corresponde al evento de “El Niño” de 1998 (Tabla 13), así como los valores máximos de este elemento en las muestras de esta serie.

El material litogénico es una fracción significativa de la MPH ya que se ha visto que el flujo absoluto de Al y Fe es 100 a 1000 veces mayor en la zonas conteras que en mar abierto, en regiones en las que se cuenta con datos disponibles (Landing y Bruland, 1987; Moore y Dymond, 1991; Nameroff, 1996).

## Plomo

Yamada y Zheng (2007) determinaron en el Pacífico Noroeste los flujos de masa total y la actividad del  $^{210}\text{Pb}$ , los cuales mostraron una marcada estacionalidad y sus flujos promedio se incrementaron con la profundidad, con un evidente incremento cerca del fondo. Las razones observadas entre el flujo de  $^{210}\text{Pb}$  y el flujo de deficiencia de  $^{210}\text{Pb}$  en las trampas superiores de dos sitios de muestreo fueron de solo 0.02 y 0.12, y se atribuyó a una exportación advectiva de  $^{210}\text{Pb}$  de aguas

superficiales. Las razones en trampas cercanas al fondo mostraron intervalos entre 1.22 y 2.63, por lo que se sugiere un efectivo proceso de “scavenging”, importación lateral de  $^{210}\text{Pb}$  y por resuspensión de partículas que no han sido incorporadas a los sedimentos. Las concentraciones mas altas de Pb se informan para la Cuenca Guaymas, seguidas de las encontradas en Cuenca Alfonso, sin embargo las concentraciones promedio de este elemento presentan poca diferencia en comparación con las de Cuenca San Lázaro.

**Tabla 13.** Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la concentración de los elementos mayores y traza en la MPH de la Cuenca Alfonso (Bahía de La Paz) y de otras áreas cercanas

Elemento ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz				Cuenca Guaymas Dean, datos personales	ZOM frente a Mazatlán Nameroff, datos personales	Cuenca San Lázaro Shumilin Silverberg, datos personales	Cuenca San Lázaro Shumilin Silverberg, datos personales
	2002	2003	2004	2005	agosto 1991- agosto 1992		1996	1998
Fe (%)	<u>0.05 – 3</u> 1.9 ± 0.67	<u>0.4 – 4</u> 1.9 ± 1.02	<u>0.36 – 2.7</u> 1.8 ± 0.6	<u>0.5 – 3</u> 1.99 ± 0.7	<u>0.84-3.3</u> 2.16±0.68	<u>1-53-3.21</u> 2.38±0.63	<u>1.08-3.54</u> 2.68 ±0.71	<u>1.24-7.45</u> 4.23 ±2.19
Al (%)	<u>0.11 – 4.6</u> 2.5 ± 0.3	<u>0.27 – 4.5</u> 2.3 ± 1.3	<u>0.7 – 4.2</u> 2.4 ± 0.9	<u>0.7 – 3</u> 2.1 ± 0.6	<u>1.7-6.3</u> 4.4±1.4	<u>2.45-6.11</u> 4.48±1.35	<u>2.05-4.88</u> 3.64±0.78	<u>2.59-3.78</u> 3.11±0.61
Ca (%)	<u>1 – 11.5</u> 3.7 ± 1.7	<u>2.9 – 11.3</u> 5.4 ± 2.3	<u>0.3 – 5.5</u> 3.9 ± 1.4	<u>1.2 – 13.4</u> 7.6 ± 3.9	<u>4.3-12.0</u> 7.3±2.3		<u>5.49-14.86</u> 10.2 ±6.6	<u>11.9-30.1</u> 17.8 ±6.6
Sc	<u>0.1 - 9.7</u> 6.8 ± 2.3	<u>1.9 – 15</u> 7.5 ± 4	<u>4 – 10</u> 7 ± 2	<u>2.31 – 11.2</u> 7.1 ± 2.4	<u>5-10</u> 8±2		<u>4.7-12.7</u> 9.4 ±2.5	<u>5.3-23.1</u> 13.3 ±6.1
Co	<u>1.2 – 11</u> 7.5 ± 2.2	<u>0.34 – 28</u> 9 ± 6	<u>9.5 – 69</u> 26 ± 17	<u>8.65 – 59</u> 20 ± 12	<u>4-16</u> 10±3			
Zn	<u>30.5 – 534</u> 124 ± 101	<u>20.7 – 165</u> 66 ± 32	<u>42 – 96</u> 70 ± 13	<u>36 – 415</u> 109 ± 78	<u>53-170</u> 106±27		<u>180-1140</u> 443±276	<u>260-7735</u> 2550±3025
Sr	<u>560 – 1430</u> 768 ± 195	<u>210 – 2266</u> 856 ± 549	<u>0.02 – 640</u> 352 ± 206	<u>217 – 640</u> 473 ± 116	<u>310-1000</u> 504±140		<u>300-1348</u> 631 ±376	<u>150-2205</u> 809 ±722
Ba	<u>87 -2147</u> 402 ± 357	<u>30 – 790</u> 253 ± 147	<u>5 – 560</u> 216 ± 144	<u>75 – 1460</u> 491 ± 313	<u>290-810</u> 548±126	<u>287-599</u> 450±115	<u>163-1065</u> 448±226	<u>405-2160</u> 1083±682
Cr	<u>3.2 – 61</u> 34 ± 14	<u>6.8 – 48</u> 28.8 ± 10	<u>4.2 – 49</u> 28 ± 11	<u>3 – 55</u> 31 ± 15				

**Tabla 13. Continuación**

Elemento (mg kg <sup>-1</sup> )	Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz				Cuenca Guaymas Dean, datos personales	ZOM frente a Mazatlán Nameroff, datos personales	Cuenca San Lázaro Shumilin Silverberg, datos personales	Cuenca San Lázaro Shumilin Silverberg, datos personales
	2002	2003	2004	2005	agosto 1991- agosto 1992		1996	1998
Cs	<u>0.3 – 13</u> 5.9 ± 2.9	<u>0.7 – 11</u> 5 ± 2.8	<u>1.2 – 14</u> 5 ± 3.5	<u>0.3 – 14</u> 5 ± 3.4				
Rb	<u>6.1 – 153</u> 51 ± 31	<u>10 – 94</u> 30 ± 23	<u>4.9 – 56</u> 25 ± 20	<u>2.3 – 91</u> 39 ± 26				
As	<u>0.9 – 48</u> 11 ± 9	<u>1 – 19</u> 7 ± 4.2	<u>2.4 – 24</u> 11 ± 7.2	<u>1.2 – 19</u> 8 ± 5.3				
Sb	<u>0.07 – 24</u> 10 ± 5	<u>0.08 – 12</u> 2.4 ± 3	<u>0.2 – 4</u> 1.1 ± 0.9	<u>0.08 – 2.2</u> 0.6 ± 0.5				
Se	<u>0.2 – 12</u> 2.6 ± 2.4	<u>0.2 – 4</u> 1.4 ± 0.9	<u>0.8 – 38</u> 12 ± 12	<u>0.3 – 28</u> 4 ± 5			<u>1.77-17.4</u> 5.0 ± 4.2	<u>5.26-32.95</u> 14.8 ± 10.6
U	<u>0.8 – 43</u> 6 ± 7	<u>0.7 – 17</u> 3.9 ± 3.4	<u>0.5 – 4.5</u> 2.3 ± 1	<u>0.4 – 3.3</u> 1.6 ± 0.9		<u>1.02-1.63</u> 1.26±0.21		
Mn	<u>219 – 650</u> 443 ± 102	<u>57 – 1406</u> 500 ± 351	<u>236 – 1009</u> 626 ± 205	<u>175 – 695</u> 473 ± 158	<u>430-1700</u> 947±347	<u>1100-1660</u> 1376±222		
V	<u>0.5 – 85</u> 47 ± 23	<u>3 – 70</u> 31 ± 19	<u>17 – 58</u> 30 ± 15	<u>14 – 65</u> 41 ± 13	<u>18-62</u> 44±13	<u>26.2-58.6</u> 41.7±12.0		
Ni	<u>3.1 – 108</u> 42 ± 23	<u>7 – 47</u> 25 ± 10	<u>11 – 58</u> 29 ± 13	<u>23 – 80</u> 47 ± 12				
Cu	<u>3.6 – 63</u> 32 ± 12	<u>6 – 77</u> 29 ± 18	<u>9 – 59</u> 21 ± 10	<u>20 – 251</u> 85 ± 54	<u>16-880</u> 104±181	<u>32.0-87.5</u> 54.8±19.6	<u>33.5-131</u> 67±29	<u>22.1-40.8</u> 30.5±9.5
Mo	<u>0.2 – 8</u> 2.1 ± 1.7	<u>0.3 – 2</u> 0.8 ± 0.3	<u>0.7 – 2.8</u> 1 ± 0.5	<u>0.5 – 3.5</u> 1.3 ± 0.6		<u>3.03-8-57</u> 5.11±1.91		
Cd	<u>0.2 – 4</u> 1.2 ± 0.8	<u>0.2 – 2.5</u> 0.9 ± 0.5	<u>1.2 – 4.7</u> 2.3 ± 0.9	<u>0.8 – 3.8</u> 1.7 ± 0.7		<u>1.36-7.47</u> 2.59±2.15	<u>1.21-7.33</u> 3.22±1.35	<u>1.35-2.14</u> 1.77±0.40
Pb	<u>4.4 – 55</u> 25 ± 12	<u>2.3 – 18</u> 9.7 ± 4	<u>7 – 24</u> 16 ± 4	<u>4.4 – 24</u> 12.5 ± 4.8	<u>15-150</u> 39±34		<u>12.9-39.3</u> 20.2±6.8	<u>14.8-27.8</u> 19.9±7.4

### Efecto de los huracanes

El efecto de eventos catastróficos, en la zona de estudio, sobre la sedimentación marina ya fue reportado para los registros sedimentarios en las cuencas marginales del borde sur-oriental de la península de Baja California



(Gorsline *et al.*, 2000; Gonzalez-Yajimovich *et al.*, 2007). Sin embargo, este tipo de registros no permite caracterizar los fenómenos de corta duración, como los huracanes, con suficiente resolución.

Un impacto evidente fue el paso de los huracanes en el área de estudio, con un incremento importante en el flujo de partículas en la cuenca. La mayor tasa de sedimentación (flujo de masa total) fue medida en las muestras recolectadas durante la semana de actividad de cada huracán, así como en la semana subsiguiente con contenidos que fueron entre 2 y 4 veces mayores al resto de los muestreos (Aguirre Bahena, 2007).

Al comparar con observaciones de otras regiones se encontró que el flujo de masa total, bajo condiciones normales, en la Cuenca Alfonso es mucho mayor que en la Cuenca Gotland, del Mar Báltico (Pohl *et al.*, 2004), la Cuenca Guaymas en el Golfo de California (Thunell, 1998a) y que en la Cuenca Cariaco en el Mar Caribe (Goñi *et al.*, 2003), siendo las dos últimas áreas conocidas por su elevada productividad biológica. Los flujos de masa en la Cuenca Alfonso durante los huracanes fueron similares o mayores a los flujos de la materia en hundimiento indicados en la Cuenca de Santa Bárbara ( $1956 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) (Thunell, 1998b), en el Mar de Kara, frente a la boca de los grandes ríos de Siberia, Yenisey y Ob ( $1229\text{-}2203 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) (Gaye-Haake *et al.*, 2003). Exclusivamente los flujos de materia particulada en el Cañón Lacaze-Duthier, Golfo de León ( $92\text{-}8276 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) (Grousset *et al.*, 1995) exceden a los flujos que están influenciados por los huracanes en la Bahía de La Paz (Silverberg *et al.*, 2007).

Las concentraciones de elementos típicos de origen terrígeno de la zona costera (Fe, Sc, Co y Cs) en el material sedimentario de la trampa fueron altas durante las dos semanas influenciadas por el paso de los huracanes. La concentración de Fe y Sc en la MPH se aproxima a lo medido en los sedimentos superficiales de los principales arroyos que desembocan a la Bahía de La Paz, entre 2 y 5 % para Fe y 6 y 16  $\text{mg kg}^{-1}$  para Sc (Rodríguez-Castañeda, 2002). El incremento en los componentes terrígenos está en relación con la dilución de los componentes marinos como el sílice biogénico, carbón orgánico y el  $\text{CaCO}_3$  percibidos en el mismo periodo.

Estos efectos tienen cierta semejanza, pero en otras escalas del tiempo, con los efectos reportados en desbordamientos de ríos en otros puntos de la plataforma continental (Pohl *et al.*, 2004; Palanques *et al.*, 2005). En particular, Palanques *et al.* (2005) al trabajar con varias trampas sedimentarias en el cañón submarino Guadiaro y en partes adyacentes al Mar de Alboran, encontraron aumento de los flujos de masa total y de los componentes litogénicos de forma simultánea con la disminución en  $^{210}\text{Pb}$ , carbono orgánico y ópalo biogénico en todas las trampas durante el desbordamiento de los ríos, mostrando la respuesta directa de este sistema depositacional a estos eventos y un rápido transporte de la materia suspendida fuera de la zona costera y en toda la columna de agua en el área del estudio.

#### 9.2.1.1. Elementos del grupo de las tierras raras

Los lantánidos son generalmente considerados como indicadores de fuentes terrígenas. Durante el período de huracanes, la concentración de las tierras raras ligeras La, Ce y Sm aumentaron al nivel de los mayores contenidos. Tendencias similares existen para Ce y Tb, sin embargo en una forma menos evidente que para las concentraciones de los elementos de las tierras raras pesadas Yb y Lu (Silverberg *et al.*, 2007).

Se presenta también un incremento en los elementos de las tierras raras pesadas, en relación con las ligeras, lo que es característico del patrón del agua de mar, ya que la presencia de los lantánidos en la materia particulada en hundimiento se asocia directamente al agua marina y varía conforme a su fuente de aporte.

Tachikawa y colaboradores (1997) colectaron partículas en hundimiento con trampas sedimentarias a 2500 m en dos sitios del noreste tropical del Atlántico y en un área oligotrófica, para analizar las concentraciones de los elementos del grupo de las tierras raras en partículas grandes en hundimiento y elucidar los procesos de “scavenging”. Los patrones normalizados de los ETR se caracterizan por un enriquecimiento en ETR ligeras y pesadas y una anomalía positiva de Ce. Las razones isotópicas de Nd en la MPH mostraron valores intermedios entre el polvo del Sahara y el agua local, con lo que se alude una adsorción preferencial de los ETR ligeros en la materia particulada. Esto reafirma la idea de que el patrón de los ETR

en la MPH de la Cuenca Alfonso representa la suma de dos patrones, el del material terrígeno y el del biogénico marino.

La composición de los ETR en la MPH fue analizada en cuatro estaciones por Lerche y Nozaki (1998). Estudiaron las asociaciones de los ETR con las partículas mediante digestiones secuenciales. Lo que indicó modelos característicos para los patrones normalizados, por lo que se sugiere que los ETR adsorbidos en las partículas suspendidas son alterados dentro de alguna fase refractaria antes o durante su transporte por hundimiento. Se expresa también la posibilidad de que la barita biogénica formada en el microambiente alrededor de los agregados puede coprecipitar efectivamente a los ETR de la superficie.

Otosaka y Noriki (2000) emplearon trampas de sedimentos en el Pacífico Noroccidental, al Norte de Japón, a una profundidad de 1, 4 y 7 km, para cuantificar las concentraciones de Al, Ca, Mn, Si y ETR en las partículas en hundimiento. En esta región el flujo de masa fue controlado por el ópalo, que incrementó a una profundidad de 4 km, así como por las partículas finas. Se aplicó la razón La/Yb en la MPH para determinar el origen de los aluminosilicatos y se distinguió una marcada variación estacional de esta razón a una profundidad de 1 km, lo que insinúa que el origen de los aluminosilicatos varía estacionalmente.

#### Variación temporal del valor normalizado de los contenidos de los ETR

La variación de los valores promedio normalizados para cada año de observaciones (2002-2005) de este grupo de elementos se presenta en la Figura 10. Como se observa en esta figura, durante los cuatro años de las observaciones, los contenidos promedio de los ETR normalizados con la lutita variaron en un intervalo de 0.1 a 0.6, sin alcanzar valores próximos a 1, lo que podría esperarse para materiales terrígenos, sin embargo a causa de la dilución del material terrígeno con materiales de otra procedencia, principalmente materiales biogénicos marinos, tales como carbonatos de calcio, sílice biogénico y materia orgánica. Los valores normalizados más altos los mostraron los ETR pesados en el año 2002. Los enriquecimientos adicionales de la MPH en los ETR pesados pueden ser explicados

por una influencia de los ETR disueltos en el agua de mar durante la formación de las partículas en hundimiento en este año de observaciones, directamente o a través de la acumulación en las partículas biogénicas. Lo anterior se mostró para los foraminíferos planctónicos del Océano Pacífico (Elderfield *et al.*, 1981a, citado en Fleet, 1983), los que reproducen el patrón típico de los contenidos de los ETR normalizados con la lutita norteamericana, característico para los ETR disueltos en el agua de mar. Un comportamiento similar se encontró entre los datos normalizados de ETR en macroalgas de las zonas cercanas a la isla Espiritu Santo y los patrones de agua del mar (Rodríguez Castañeda, 2002).

Al tener en cuenta el comportamiento de los valores promedio normalizados de los lantánidos se identificó, con pequeñas diferencias, el mismo patrón de variación en la MPH de la Cuenca Alfonso durante los años de muestreo. Este modelo de los contenidos de los ETR normalizados con la lutita norteamericana pertenece al tipo general de los ETR pesados enriquecidos comparando con los ETR ligeros y medios y con una anomalía negativa de Eu, con respecto a sus elementos vecinos. Tal tipo de patrón con una anomalía negativa de Eu refleja una escasa concentración o agotamiento de Eu en la MPH y puede deberse a la movilización de este elemento por condiciones reductoras.

La Tabla 14 muestra los resultados promedio obtenidos de la anomalía de Eu y se puede observar que el valor promedio fue menor que 1 en los cuatro años de muestreo. Sin embargo en la serie de tiempo completa de la anomalía de Eu, como se observa en la Figura 34, existieron algunos periodos de observaciones con valores de anomalía de Eu superior a 1. Estos periodos fueron mas profusos durante el año 2004, cuando se observaron valores de la anomalía de Eu de hasta 2.1. Esto probablemente se relaciona con una influencia por la advección de material particulado de las zonas de actividad hidrotermal (21° N o Cuenca Guaymas) o por aporte de las cenizas volcánicas por vía atmosférica, o ambos.

**Tabla 14.** Valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la anomalía de Eu en la MPH de la Cuenca Alfonso

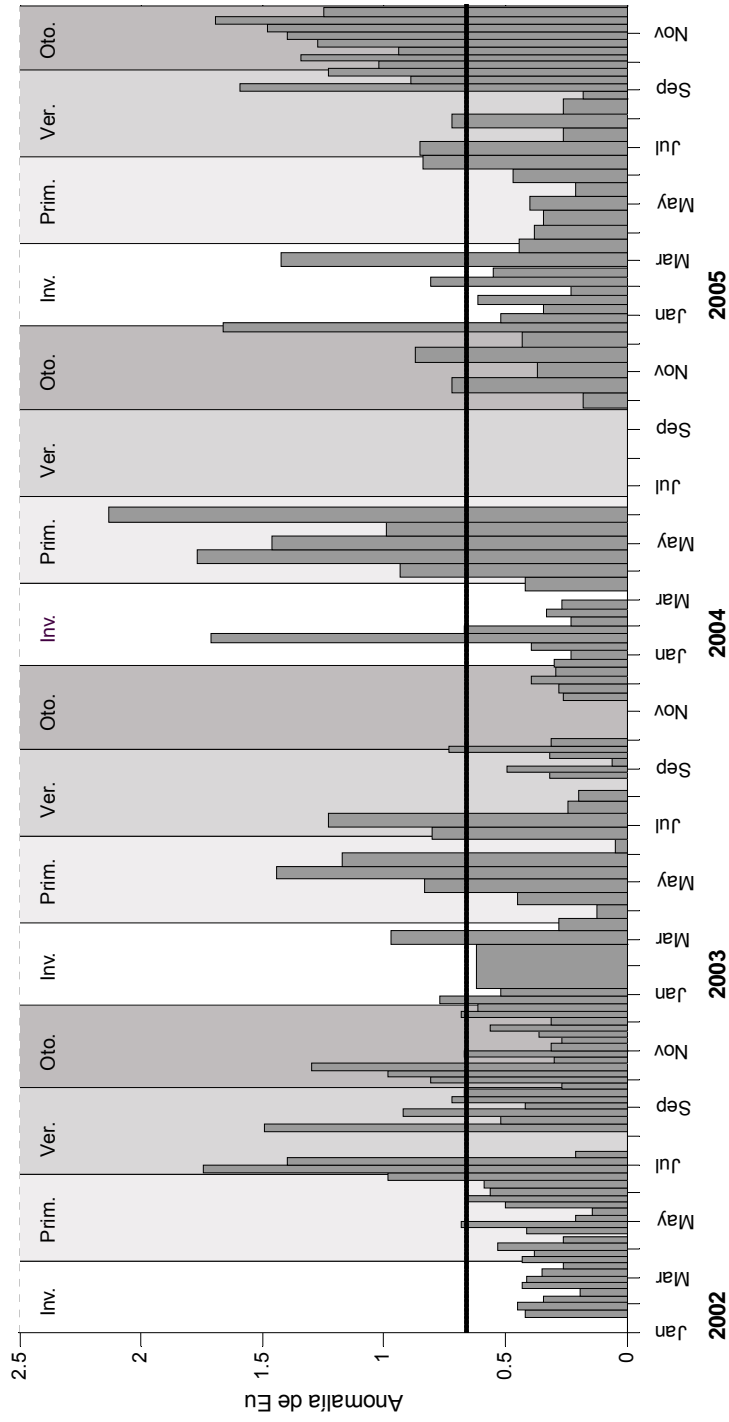
Año			
2002	2003	2004	2005
$\frac{0.1 - 1.7}{0.6 \pm 0.4}$	$\frac{0.1 - 1.4}{0.5 \pm 0.4}$	$\frac{0.2 - 2.1}{0.8 \pm 0.6}$	$\frac{0.2 - 1.7}{0.8 \pm 0.5}$

### 9.2.2. Elementos biogénicos (Ba, Ca, Sr)

La productividad primaria (PP) es un factor importante para la composición de los niveles de los elementos traza en las partículas marinas y en especial en la materia particulada en hundimiento. Los valores de PP son variables tanto en espacio como en el tiempo, lo que hace pensar que las concentraciones de los elementos involucrados en la formación de material particulado también son variables y vale hacer comparaciones entre los pocos datos que existen para la MPH y los sedimentos en la zona de estudio.

#### Bario

El bario mostró los mayores contenidos en la MPH en la Cuenca San Lázaro en los primeros meses de 1998 durante el final de “El Niño” ( $1083 \pm 682 \text{ mg kg}^{-1}$ ), seguidos en orden decreciente por la Cuenca Guaymas durante el inicio de “El Niño” de 1992-1993 ( $548 \pm 126 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Dean, datos personales), por la Cuenca Alfonso en 2005 ( $491 \pm 313 \text{ mg kg}^{-1}$ ), por el talud de Mazatlán ( $450 \pm 115 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Nameroff, datos personales) y la Cuenca San Lázaro en el otoño de 1996 ( $448 \pm 226 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Shumilin, datos personales) y la Cuenca Alfonso en los años 2002 ( $402 \pm 195 \text{ mg kg}^{-1}$ ), 2003 ( $253 \pm 147 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y 2004 ( $216 \pm 144 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabla 13).



**Figura 34.** Anomalía de Eu en la materia particulada de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. La línea horizontal representa el valor promedio

## Calcio

De acuerdo con los datos disponibles sobre los contenidos de calcio en la MPH en la región de interés (Tabla 13), los más altos contenidos de Ca fueron observados en la Cuenca San Lázaro, al Noroeste de complejo Lagunar Magdalena Almejas, en el periodo de “El Niño” de 1998, un poco menores en la misma cuenca en condiciones normales del otoño de 1996 (Shumilin, datos personales). Contenidos promedio mas bajos de este elemento se observaron en la Cuenca Guaymas, durante el periodo afectado por “El Niño” de 1992 - 1993 (Dean, datos personales). Durante los cuatro años de observaciones los mayores contenidos promedio de calcio fueron registrados en el año 2005, seguidos por el año 2003, y los contenidos promedio de este elemento fueron similares en los años 2002 y 2004.

## Estroncio

Los mayores contenidos promedio de estroncio en la MPH de la región de estudio se registraron en la Cuenca Alfonso en el año 2003 ( $856 \pm 549 \text{ mg kg}^{-1}$ ), en el año 2002 ( $768 \pm 195 \text{ mg kg}^{-1}$ ), en la Cuenca San Lázaro en los primeros meses del año 1998 ( $809 \pm 722 \text{ mg kg}^{-1}$ ) durante la fase final de “El Niño”, disminuyendo para La Cuenca San Lázaro en condiciones de otoño de 1996 ( $631 \pm 376 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Shumilin, datos personales), para La Cuenca Guaymas ( $504 \pm 140 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Dean, datos personales) y después nuevamente para la Cuenca Alfonso en los años 2005 ( $473 \pm 116 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y 2004 ( $352 \pm 206 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabla 13).

### 9.2.3. Elementos micronutrientes

Resultados de muchos estudios muestran una asociación, en el material sedimentario, mas cercana entre los micronutrientes con la materia orgánica que con el Al y los aluminosilicatos. Al respecto, Windom y colaboradores (1989) para cientos de muestras de sedimentos estuarinos y costeros del sureste de E. U. A. no encontraron una covarianza entre el contenido de Cd y Hg con el del Al, lo que atribuyen a la influencia de la contribución de las fases orgánicas naturales en los sedimentos estudiados.

Hay muchos reportes que caracterizan la relación entre la composición de la MPH y los flujos verticales de los componentes biogénicos y los florecimientos planctónicos. Entre los más recientes, Palanques *et al.* (2005) mostraron con trampas instaladas en varios sitios del sistema del cañon submarino Guadiaro en el Mar de Alboran, que durante la primavera y el verano en el área de estudio los porcentajes del ópalo biogénico y carbono orgánico se incrementaron en todas sus trampas tanto en magnitud como en su variabilidad, con picos probablemente asociados a florecimientos biológicos. Algo semejante podría esperarse para los contenidos y flujos de micronutrientes en la MHP. Es lógico, tomando en cuenta los perfiles verticales tipo nutriente de los elementos disueltos, claramente mostrados para Cd y fosfatos en numerosos estudios, mediante los cuales Nozaki (1997) realizó una relación de los elementos traza bajo la suposición de ser micronutrientes y esenciales para las actividades metabólicas del fitoplancton. La ausencia de estos metales disueltos en la capa superficial de las aguas del océano permite esperar su transferencia a las partículas biogénicas con la consecuente sedimentación en la columna de agua hacia las zonas profundas, con diferente grado de remineralización. Estos mismos patrones y la relación con el fosfato disuelto sobre los perfiles verticales del cadmio disuelto reportaron Delgadillo-Hinojosa *et al.* (2001) en estaciones ubicadas a lo largo del eje del Golfo de California.

## Cadmio

El cadmio es uno de los elementos más estudiados y más específicos, es un indicador de las surgencias costeras (Van Geen y Husby, 1996; Segovia-Zavala *et al.*, 1998) y de la mezcla vertical intensa (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001).

Como se ve en la Tabla 13, los contenidos promedio del cadmio en la MPH mas altos se observaron en la Cuenca San Lázaro en otoño de 1996 en condiciones normales ( $3.2 \pm 1.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Shumilin, datos personales), seguidos en orden de depreciación por el talud frente a Mazatlán ( $2.6 \pm 2.1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Nameroff, datos pers.), en Cuenca Alfonso en el año 2004 ( $2.3 \pm 0.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ), en Cuenca San Lázaro durante primeros meses de “El Niño” de 1998 ( $1.8 \pm 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Shumilin, datos



pers.), en la Cuenca Alfonso en el año 2005 ( $1.7 \pm 0.7 \text{ mg kg}^{-1}$ ), año 2002 ( $1.2 \pm 0.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y en el año 2003 ( $0.9 \pm 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

## Cobre

De acuerdo al patrón de distribución vertical del cobre disuelto en la columna de agua, este elemento reveló un comportamiento perteneciente a los dos tipos de distribución, tipo nutriente y tipo “scavenging”, los cuales favorecen la incorporación de cierta parte de cobre a las partículas en la capa superficial del océano (Nozaki, 1997). También se conoce su alta afinidad a la materia orgánica disuelta y particulada.

Los mayores contenidos promedio del cobre, así como los valores máximos se detectaron en la MPH de la Cuenca Guaymas ( $104 \pm 181 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en el periodo inicial de “El Niño” de 1992 – 1993 (Dean, datos personales), seguidos en orden de disminución por el valor promedio en la MPH de la Cuenca Alfonso en el año 2005 ( $85 \pm 54 \text{ mg kg}^{-1}$ ), después por la MPH de la Cuenca San Lázaro en condiciones normales del otoño de 2006 ( $67 \pm 29 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Shumilin, datos personales), después por la MPH de la plataforma y talud frenta a Mazatlán ( $54 \pm 19.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Nameroff, datos personales), y nuevamente por la MPH de la Cuenca Alfonso en el año 2002 ( $32 \pm 12 \text{ mg kg}^{-1}$ ), por la MPH de la Cuenca San Lázaro en los primeros meses de 1998 (“El Niño”) (Shumilin, datos pers.) y por la MPH de Cuenca Alfonso en 2003 ( $29 \pm 18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y 2004 ( $21 \pm 10 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

### 9.2.4. Micronutrientes y elementos redox-sensibles en la zona de mínimo oxígeno

La ZOM se caracteriza por la disminución de la concentración de oxígeno disuelto desde aguas oxigenadas. A veces el oxígeno desaparece completamente cerca del fondo marino y aparecen condiciones anóxicas (Valdés y Ortlieb, 2000; Valdés *et al.*, 2005)

En caso del manganeso en la columna de agua del Golfo de California, también en un estudio en 6 estaciones ubicadas a lo largo del eje de este mar marginal (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2006), sus principales fuentes (deposición atmosférica y aporte sedimentario) mostraron ser responsables por el

enriquecimiento de Mn en la capa superficial de la columna de agua. Una influencia de la ZOM sobre la distribución del Mn disuelto y particulado tuvo lugar en los horizontes intermedios. Las profundidades de los muestreos en agua no sobrepasaron 1000 m de profundidad, y por esa razón la influencia del Mn desde fuentes hidrotermales de la Cuenca de Guaymas (Campbell *et al.*, 1988) no fue observada (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2006) y debe ser estudiada en trabajos futuros, así como la posibilidad de la existencia de plumas locales de Mn disuelto y particulado cerca de las fuentes hidrotermales de baja temperatura y/o filtraciones de gases, recientemente descubiertos en la Cuenca Wagner en el Norte del Golfo de California (Canet *et al.*, 2007), y de las amplias fuentes hidrotermales de la zona de los 21° N y de otras fuentes de elevación del Pacífico Oriental.

Al estar presente la ZOM en la columna de agua de las zonas de alta productividad es difícil distinguir los efectos de bioacumulación de los micronutrientes por el fitoplancton y la remineralización frenada en la ZOM en los procesos de reducción, que favorecen la disminución de los elementos redox sensibles en la columna de agua o en los sedimentos y en caso de las condiciones anóxicas, con la presencia del sulfuro de hidrógeno, la formación de las partículas de los sulfuros insolubles de Cd, Zn, Cu y de piritita  $\text{FeS}_2$  (Otero *et al.*, 2003; Pohl *et al.*, 2004; Chester, 2003). En particular, Otero *et al.* (2003) encontraron que en la zona de la Cuenca Guaymas, afectada por la actividad hidrotermal con presencia de  $\text{H}_2\text{S}$ , más del 80 % de Co, Cr, Cu, Ni y Zn fueron altamente piritizados en el núcleo de los sedimentos.

A causa de estos procesos, el Cd y U autigénicos se reportan para los sedimentos subantárticos (Rosenthal *et al.*, 1995) concentraciones elevadas de Cd (media =  $35 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Mo (media =  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en las columnas sedimentarias de la Bahía de Mejillones (Antofagasta, Chile), Valdés y Ortlieb (2001) lo explican por el efecto integral de la alta productividad biológica y las condiciones anóxicas/hipóxicas en el agua cerca del fondo lo que provoca la formación de compuestos insolubles de estos metales y su incorporación hacia los sedimentos.

Nameroff y colaboradores (2002) encontraron valores altos de Mn, Cu, Cd y Mo no litogénico en las partículas de la columna de agua, de la plataforma y del talud

continental en el sureste del Golfo de California frente al puerto de Mazatlán. El contenido de V fue menor al de la corteza debido a que el promedio de esta última no es totalmente representativo del material detrítico local. Morford y Emerson (1999) encontraron un comportamiento similar en las distribuciones verticales del V y Mo en los sedimentos.

En muestras de la trampa colocada en la cuenca de Santa Bárbara se encontró un notable incremento en el contenido de Mn y Mo autigénicos, comparado con sus fracciones litogénicas (McManus *et al.*, 2006). Estos autores sugieren que los óxidos de Mn presentes en las partículas en hundimiento coprecipitan y arrastran al Mo.

### 9.3. Comparación de los flujos de los elementos particulados en la materia particulada en hundimiento

Como una derivación del incremento en los flujos de masa total de la Cuenca Alfonso en el año 2003 por la influencia del paso de los huracanes, se encontraron durante ese año, los mayores flujos promedio de Fe, Al y Ca particulados con 31, 33 y 52 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Otros elementos que también presentaron los flujos promedio más altos en la materia particulada en hundimiento durante el 2003 fueron el Mn (720 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Sr (660 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Ba (287 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Zn (84 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), V (46 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Rb (47 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Cr (37 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Co (14 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Sc (12 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), As (9.5 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) y Cs (7.4 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>).

Los flujos promedio de Al particulado durante los años de muestreo fueron mayores a los reportados por Ho (2007) para el Mar del Sur de China, que durante las observaciones entre agosto de 2004 y febrero de 2005 variaron en un intervalo de 0.1 a 2 mg m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> para los horizontes de 120 m, 620 m y 3450 m de profundidad, a excepción de un incremento hasta 8.6 mg día<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> después del tsunami del sur de Asia que se observó en diciembre de 2004 en el horizonte de 620 m y un poco más tarde en el horizonte a 3450 m de profundidad.

Los flujos promedio más altos de Ni (31 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Pb (18 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), Sb (6.6 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), U (3.6 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) y Mo (1.6 µg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) se encontraron en el año 2002, lo que es causado por valores altos de la concentración de estos elementos en la

materia particulada en hundimiento en este año de muestreo. Otros elementos como el Se y el Cd presentaron flujos promedio altos en el año 2004, mientras que para el cobre fue durante el 2005 que se encontró el flujo particulado promedio más sobresaliente con  $39 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

#### 9.4. Factores de enriquecimiento (FEs)

El factor de enriquecimiento se obtiene para conocer la variación que presentaron los contenidos de los elementos en la MPH, en relación al contenido en la corteza, que fue empleado como material de referencia, con el fin de eliminar los efectos de la dilución por materiales inertes como el cuarzo, sílice biogénico, carbonatos o dolomita para detectar y cuantificar contribuciones naturales o antropogénicas en el área (Loring, 1991). Este efecto de dilución de los componentes del material suspendido particulado sobre los contenidos de los elementos mayoritarios y traza fue mostrado en muchas ocasiones, y en particular por Collier y Edmond (1984), en los experimentos con lixiviación-descomposición del material biogénico particulado. Estos autores mostraron que la mayoría de los elementos traza están directamente asociadas con fases orgánicas muy lábiles o bastante refractarias. El aluminio y el fierro se encuentran en razones correspondientes a la matriz terrígena, pero los carbonatos de calcio y sílice biogénico (ópalo) esqueléticos del material biogénico particulado no fueron “portadores” de los elementos traza, siendo simples diluyentes (Collier y Edmond, 1984),

Con los resultados de los factores de enriquecimiento (Tabla 15) se observa que la MPH en la zona de estudio presentó amplios intervalos de variabilidad en el enriquecimiento de los elementos analizados. Esta fluctuación fue muy evidente durante el año 2002 ya que fue en este año para varios elementos se encontraron los valores de los factores de enriquecimiento más altos de los cuatro años de muestreo de este estudio.

Como se observa en la Figura 35, en la que se representan en forma logarítmica los datos obtenidos del cálculo de los factores de enriquecimiento promedios encontrados en la MPH en la bahía, casi todos los elementos presentaron enriquecimiento a excepción de Cr y V en el 2002. Se destaca la presencia de Se,

Sb, As y Cd, como los elementos con altos FEs, que al no tener fuentes antropogénicas cercanas de estos elementos, estas concentraciones elevadas puede atribuirse a aportes provenientes del material volcanosedimentario de los alrededores de la bahía, o a las bioacumulaciones excepcionales por el fito y zoopláncton.

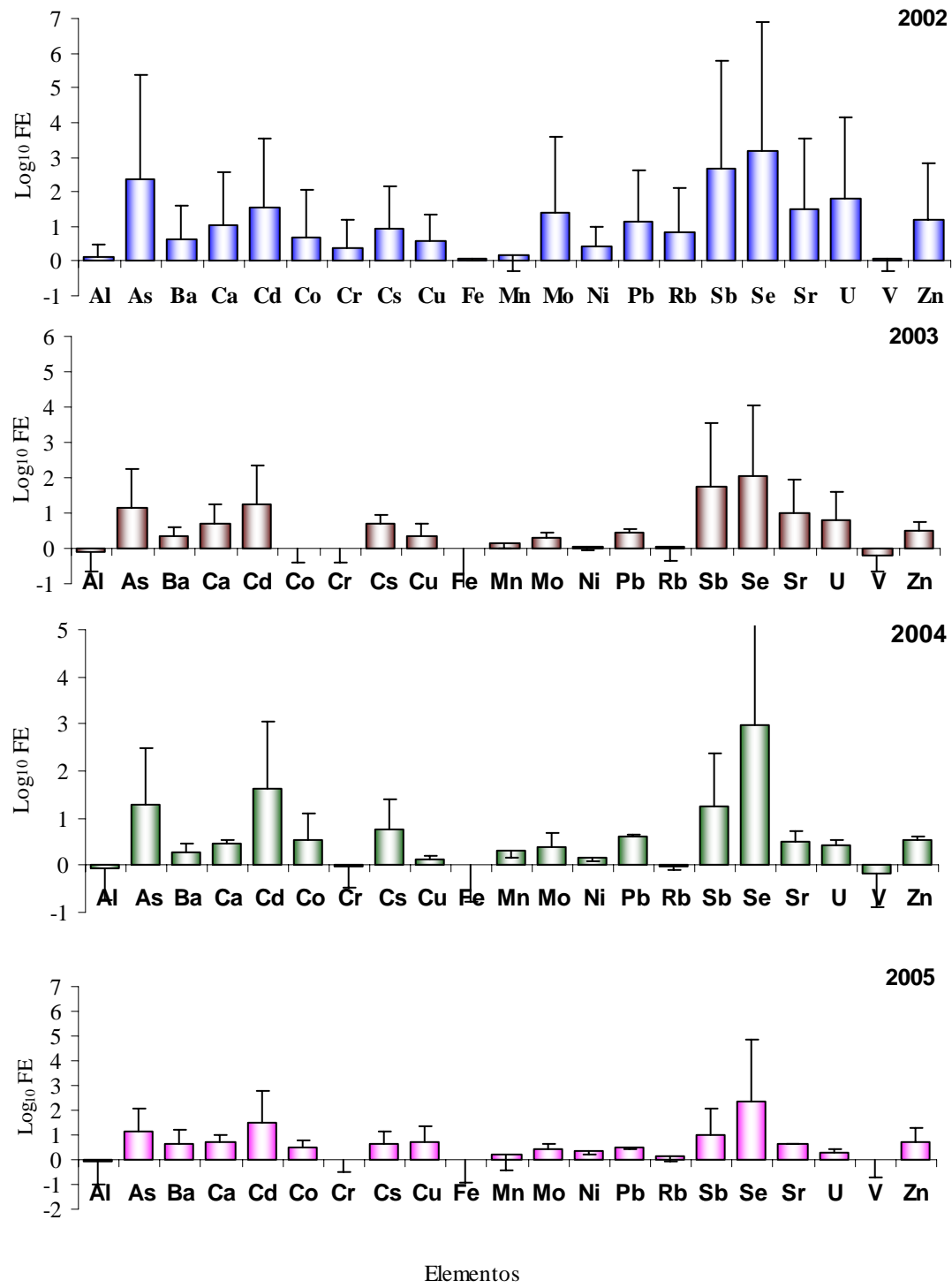
Siguiendo el orden de los factores de enriquecimiento los elementos siguientes fueron el U, Mo, Pb, Sr, Zn, Ba, Ni, Ca, Cu, Mn, V, Co, Al, Cs, Rb y Cr y finalmente el enriquecimiento mas bajo se encontró para el Fe.

La presencia de las masas fosfáticas principalmente en la región de San Juan de la Costa es de mucha importancia, ya que se ha caracterizado por un alto contenido de carbono orgánico con lo que se favorece la acumulación de diversos elementos entre los que se destacan el Sr, Pb y As (Álvarez-Arellano, 1995; Mason, 1960; Piper, 1991; 1994; Windom *et al.*, 1989).

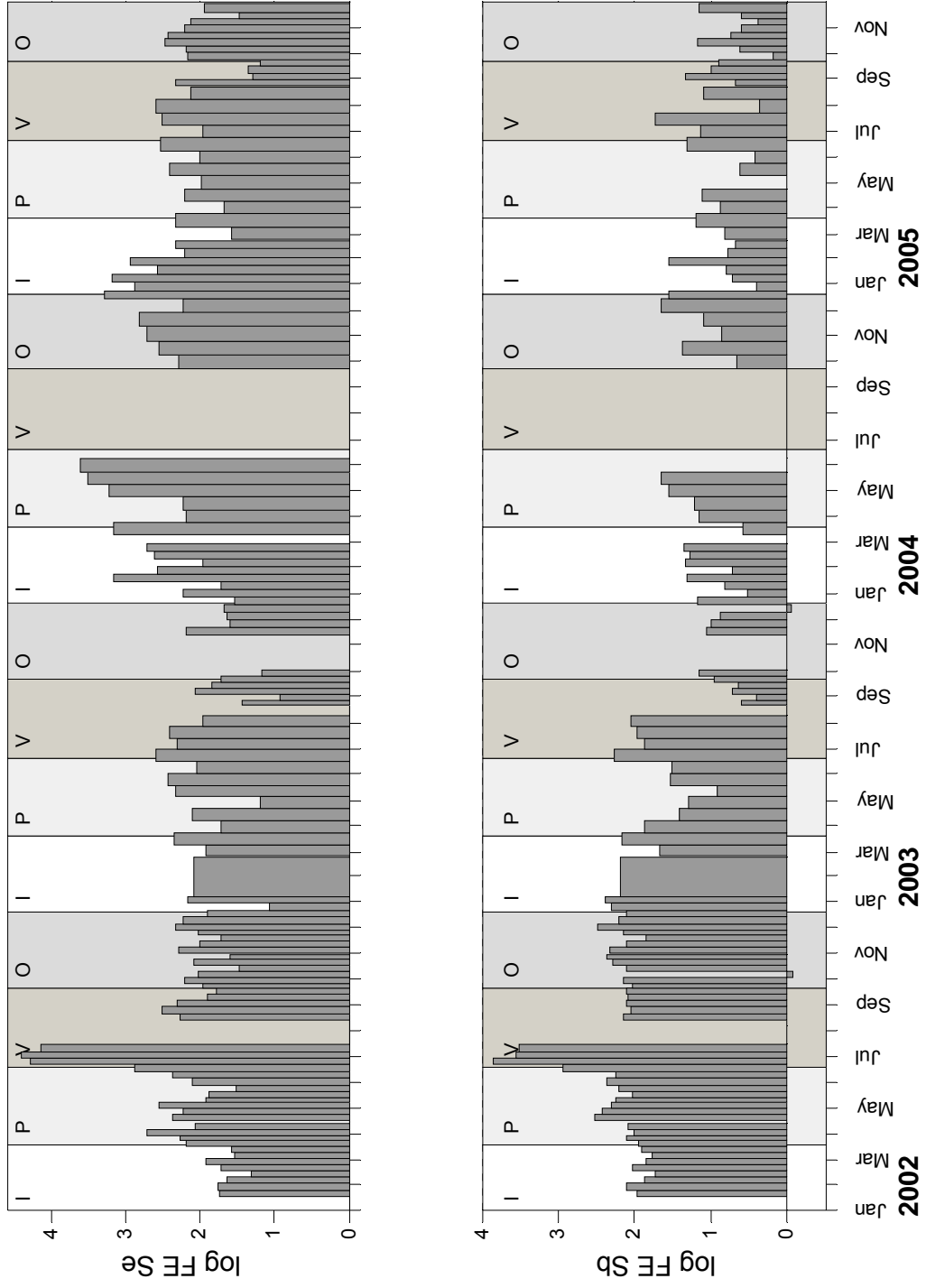
Los elementos se ordenaron en grupos de acuerdo a los intervalos de sus máximos factores de enriquecimiento que para todos los elementos se manifestaron en los periodos de muestreo comprendidos de finales de junio a principios de agosto de 2002. Según el sistema de clasificación utilizado por Salomons y Förstner (1984), Posada-Ramos y colaboradores (1994) y Martínez-Magaña (1995), se tiene que en la MPH de este cuerpo de agua durante el periodo de tiempo mencionado presentó un enriquecimiento alto de la mayoría de los elementos, sin embargo en promedio el Co, Rb, Ba y Cs mostraron un enriquecimiento alto (> 4), mientras que elementos como el Se, Sb, Cd, As, Pb y U presentaron un enriquecimiento intenso (> 10), con enriquecimiento importante en el verano de 2002, como se observa en las Figuras 36, 37 y 38.

**Tabla 15.** Valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de los FEs encontrados en los elementos analizados en la MPH de la Cuenca Alfonso (Bahía de La Paz)

Elemento	Año			
	2002	2003	2004	2005
Fe	<u>0.8 – 6.4</u>	<u>0.8 – 1.1</u>	<u>0.4 – 1.2</u>	<u>0.8 – 1.4</u>
	1.2 ± 0.9	1 ± 0.7	1 ± 0.16	1 ± 0.1
Al	<u>0.1 – 14</u>	<u>0.2 – 1.3</u>	<u>0.5 – 1.3</u>	<u>0.5 – 1.1</u>
	1.4 ± 2.2	0.8 ± 0.2	0.9 ± 0.2	0.8 ± 0.1
Ca	<u>0.9 – 223</u>	<u>1.1 – 15</u>	<u>0.4 – 4.8</u>	<u>2 – 8</u>
	11 ± 36	5 ± 3	3 ± 1	5 ± 2
Co	<u>0.2 – 148</u>	<u>0.1 – 2</u>	<u>1.2 – 16</u>	<u>0.9 – 8</u>
	4.8 ± 22	1 ± 0.4	3.6 ± 3.5	3 ± 2
Zn	<u>1.3 – 308</u>	<u>1.3 – 8</u>	<u>1.6 – 6</u>	<u>1.5 – 15</u>
	15 ± 47	3 ± 1.7	3.3 ± 1.1	5 ± 3
Sr	<u>3.7 – 658</u>	<u>0.9 – 31</u>	<u>0.9 – 4.7</u>	<u>2.8 – 6.6</u>
	31 ± 107	10 ± 9	3 ± 1.7	4 ± 1
Ba	<u>0.6 – 57</u>	<u>0.1 – 6.3</u>	<u>0.03 – 7.3</u>	<u>0.5 – 16</u>
	4 ± 9	2.3 ± 1.6	1.8 ± 1.9	4.3 ± 4
Cr	<u>0.1 – 40</u>	<u>0.4 – 2</u>	<u>0.2 – 1.6</u>	<u>0.1 – 1.6</u>
	2.4 ± 6.4	1 ± 0.4	0.9 ± 0.4	1 ± 0.3
Cs	<u>0.7 – 101</u>	<u>0.5 – 9.5</u>	<u>1.1 – 21</u>	<u>0.3 – 13</u>
	9 ± 16	5 ± 2	5.6 ± 4.4	5 ± 3
Rb	<u>0.6 – 99</u>	<u>0.6 – 1.8</u>	<u>0.1 – 2.7</u>	<u>0.1 – 2.5</u>
	6.5 ± 20	1.2 ± 0.4	1 ± 0.8	1.3 ± 0.7
As	<u>1.3 – 6,060</u>	<u>1.1 – 47</u>	<u>5.4 – 56</u>	<u>2.4 – 33</u>
	239 ± 1007	14 ± 12	19 ± 16	14 ± 8
Sb	<u>0.8 – 7,000</u>	<u>0.9 – 244</u>	<u>0.2 – 45</u>	<u>0.1 – 53</u>
	470 ± 1243	53 ± 66	17 ± 14	10 ± 11
Se	<u>11 – 25,000</u>	<u>8.4 – 401</u>	<u>52 – 4,100</u>	<u>15 – 1,500</u>
	1488 ± 5100	117 ± 97	927 ± 1100	239 ± 300
U	<u>0.8 – 1,282</u>	<u>0.5 – 28</u>	<u>0.6 – 5</u>	<u>0.3 – 7</u>
	61 ± 242	6 ± 6	2.7 ± 1.3	2 ± 1.3
Mn	<u>0.7 – 3</u>	<u>0.3 – 3</u>	<u>0.9 – 3</u>	<u>1 – 2.1</u>
	1.4 ± 0.4	1.4 ± 0.7	2.1 ± 0.7	1.5 ± 0.2
V	<u>0.1 – 3</u>	<u>0.2 – 1.6</u>	<u>0.4 – 1</u>	<u>0.6 – 1.3</u>
	1 ± 0.5	0.6 ± 0.3	0.7 ± 0.2	1 ± 0.2
Ni	<u>0.6 – 21</u>	<u>0.4 – 4</u>	<u>0.3 – 3</u>	<u>1.2 – 4.1</u>
	3 ± 4	1 ± 0.7	1.4 ± 0.9	2 ± 0.7
Cu	<u>0.8 – 29</u>	<u>0.5 – 11</u>	<u>0.4 – 6</u>	<u>1 – 14</u>
	4 ± 6	2 ± 2	1.3 ± 1.1	5.4 ± 4
Mo	<u>0.7 – 898</u>	<u>0.5 – 5</u>	<u>1.2 – 11</u>	<u>1.2 – 7.5</u>
	26 ± 140	2 ± 1.3	2.3 ± 2	2.8 ± 1.4
Cd	<u>2 – 667</u>	<u>5 – 52</u>	<u>13 – 102</u>	<u>12 – 98</u>
	35 ± 102	17 ± 13	41 ± 26	30 ± 19
Pb	<u>1.4 – 149</u>	<u>1 – 7.5</u>	<u>2.2 – 6</u>	<u>2.1 – 6</u>
	14 ± 29	36 ± 154	4 ± 1	3 ± 0.9

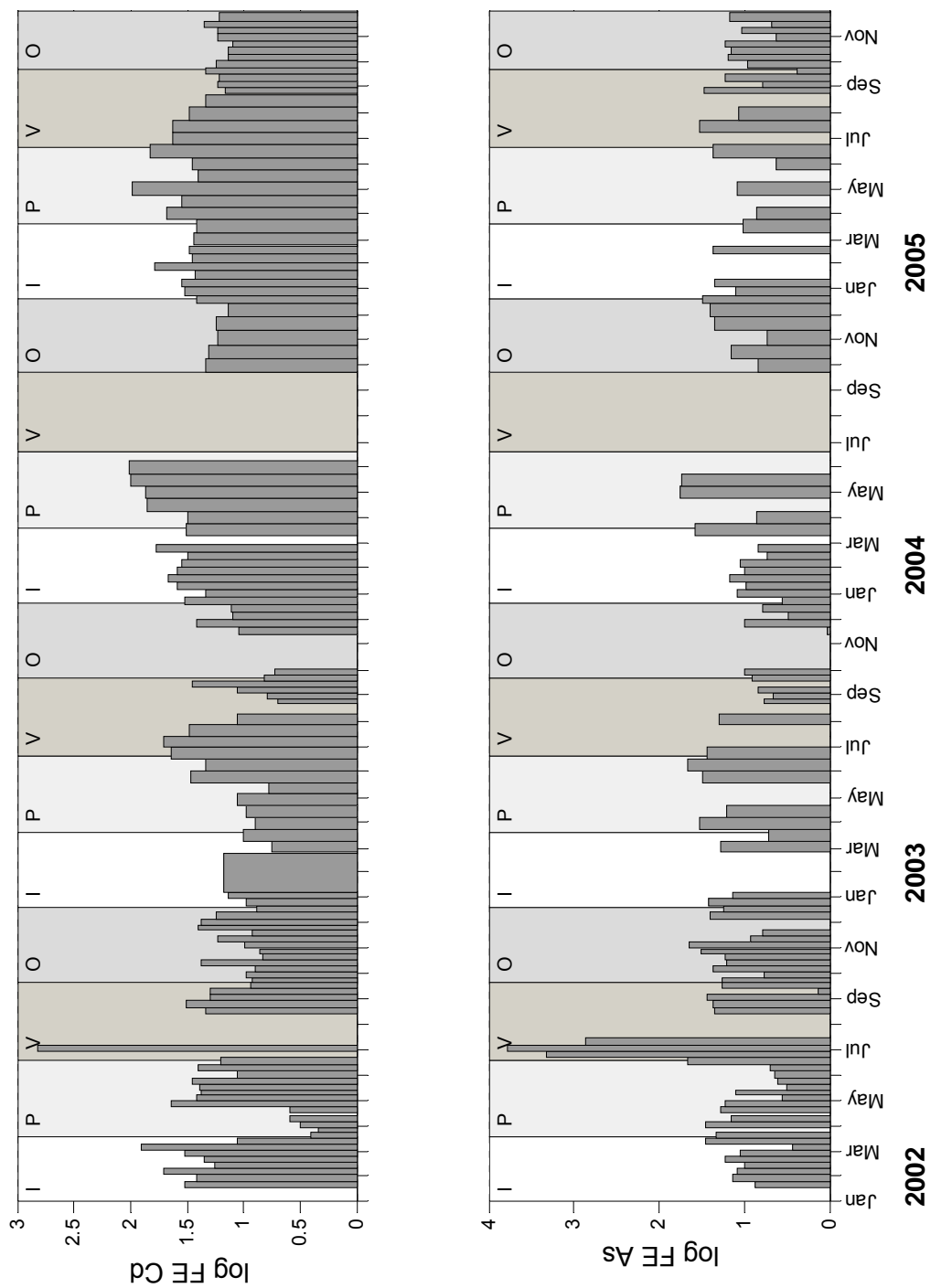


**Figura 35.** Logaritmos de los valores promedio de los factores de enriquecimiento de las concentraciones de los elementos en el MPH la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz para los años de estudio: a) 2002; b) 2003; c) 2004 y d) 2005

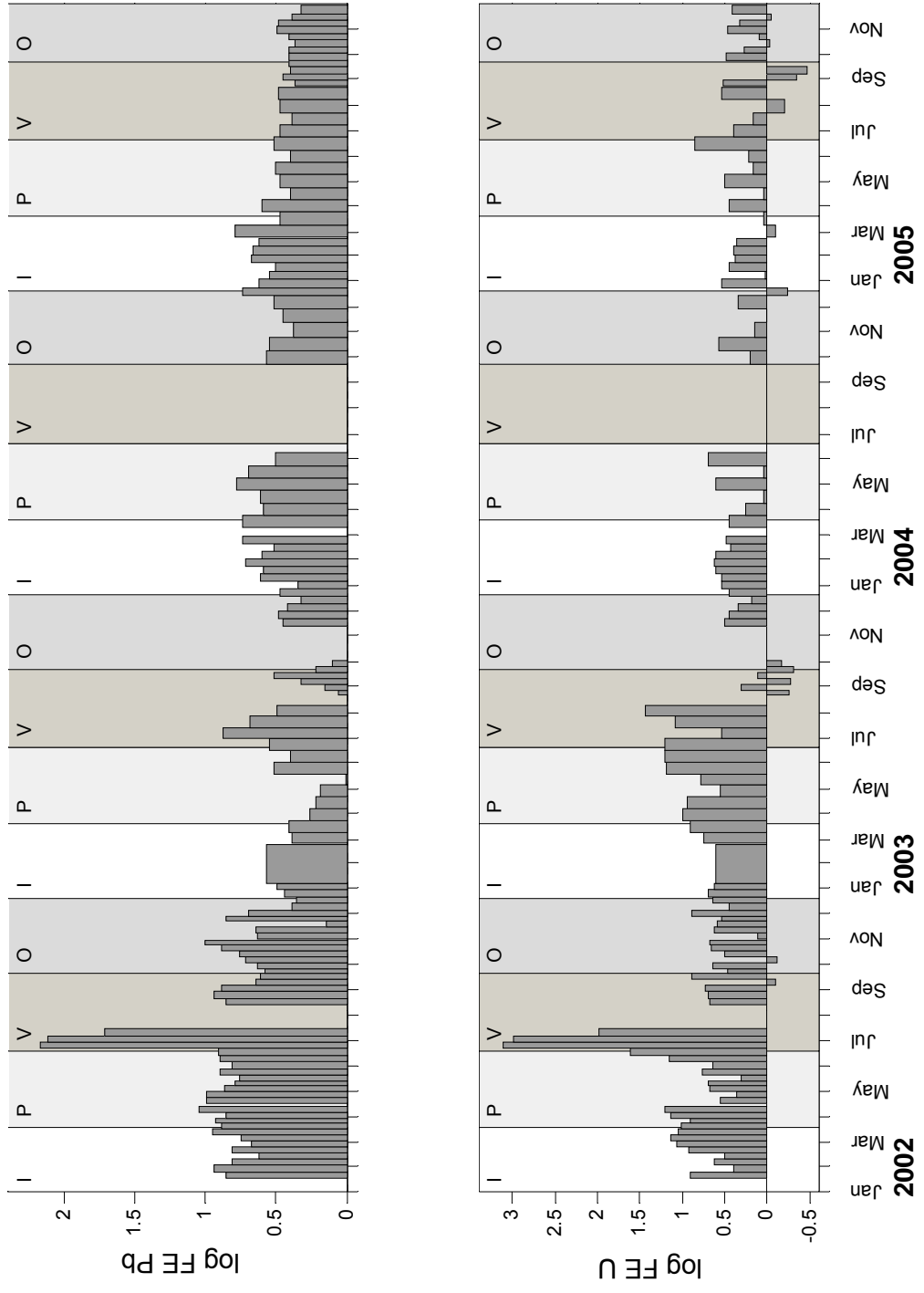


**Figura 36.** Logaritmos de los factores de enriquecimiento de los contenidos de Sb y Se en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.





**Figura 37.** Logaritmos de los factores de enriquecimiento de los contenidos de Cd y As en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.



**Figura 38.** Logaritmos de los factores de enriquecimiento de los contenidos de Pb y U en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.

## 9.5. Análisis de las asociaciones de los elementos en la materia particulada en hundimiento con el método de componentes principales

### 9.5.1. Resultados del análisis de componentes principales para todo el conjunto de datos de la composición de la materia particulada en hundimiento

Los resultados del análisis de componentes principales y de factores permiten establecer ciertas asociaciones de los elementos, con el fin de poder elucidar que componentes afectan en mayor grado el contenido de los elementos en la MPH y las características que reflejan mejor la varianza de las variables. Las variables que integraron cada componente y que representan alguna particularidad en el material particulado, se obtuvieron con el análisis de factores. Este comprende a una serie de modelos relacionados estrechamente para establecer la estructura de correlación entre las variables observadas al azar (Basilevsky, 1994).

A partir de los parámetros incluidos en la matriz de datos (concentración de clorofila a, temperatura superficial, mes de muestreo, concentración de componentes mayoritarios como  $\text{CaCO}_3$ , sílice biogénico, carbón orgánico, fracción litogénica, Al, Ca, Fe y elementos traza) se encontró que un 59 % de la varianza fue explicada por cuatro componentes, el primero de ellos explicó un 30 %, el segundo 13.4 %, el tercero un 8.6 % y el cuarto un 7.4 % (Tabla 16). Y los resultados de aplicación de PCA se muestran en la Tabla 17 y en la Figura 39.

**Tabla 16.** Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los contenidos de los elementos en la MPH de la Cuenca Alfonso de la Bahía de la Paz

<b>Factor</b>	<b>Eigenvalor</b>	<b>% total</b>	<b>Eigenvalor acumulativo</b>	<b>% acumulativo</b>
<b>1</b>	10.22	30.07	10.22	30.07
<b>2</b>	4.55	13.39	14.77	43.45
<b>3</b>	2.91	8.56	17.68	52.01
<b>4</b>	2.52	7.41	20.20	59.42

De estos datos fue posible señalar algunas asociaciones entre los elementos (Tabla 17) que gráficamente se presentan en la Figura 39. Estas fueron las siguientes:

1) La primera asociación de los parámetros se representa por el % del material litogénico, Al, Cs, Fe, Mn, Sc, V y algunos elementos de las tierras raras (La, Ce, Nd, Sm y Tb) con cargas positivas mayores de 0.5 y también sobresale el ópalo (sílice biogénico) con carga negativa alta.

2) La segunda asociación incluye el U, Pb, Sb y dos lantánidos pesados (Lu e Yb).

3) La tercera asociación de elementos la constituyen el C<sub>inorg</sub>, C<sub>org</sub>, Ca, Cu y Ni.

4) A la cuarta asociación pertenecen el Sr con carga positiva y el Cd, Co y Se con cargas negativas.

Estos datos muestran la complejidad de las muestras multielementales de MHP en la Cuenca Alfonso, de punto de vista de sus constituyentes principales: fracción litogénica, carbonato de calcio biogénico, carbono orgánico y sílice biogénico.

Primera asociación de los elementos parece ser formada por los elementos de origen terrígeno, como sugiere la presencia de aluminio que es un elemento indicador del aporte continental, al menos en las zonas oceánicas, cercanas al macizo continental.

En esta asociación de manera evidente se encuentra el Sc, análogo químico muy cercano del Al. Además en esta asociación se observan el Cs, Fe, Mn, V, La, Ce, Nd, Sm y Tb los cuales probablemente están incorporados a los aluminosilicatos de origen terrígeno, transportados a la columna de agua desde el macizo continental por vía eólica y por advección de las aguas desde las zonas de descargas fluviales, o a causa de la erosión de la costa. Esta hipótesis se confirma por las mayores concentraciones y los flujos de estos elementos particulados durante el paso de los huracanes "Ignacio" y "Marti" en agosto-septiembre de 2003. El ópalo supuestamente por su carga negativa alta funciona como un diluyente, lo que fue mencionado por Collier y Edmond (1984) en sus experimentos con descomposición (lixiviación) selectiva de material biogénico marino particulado.

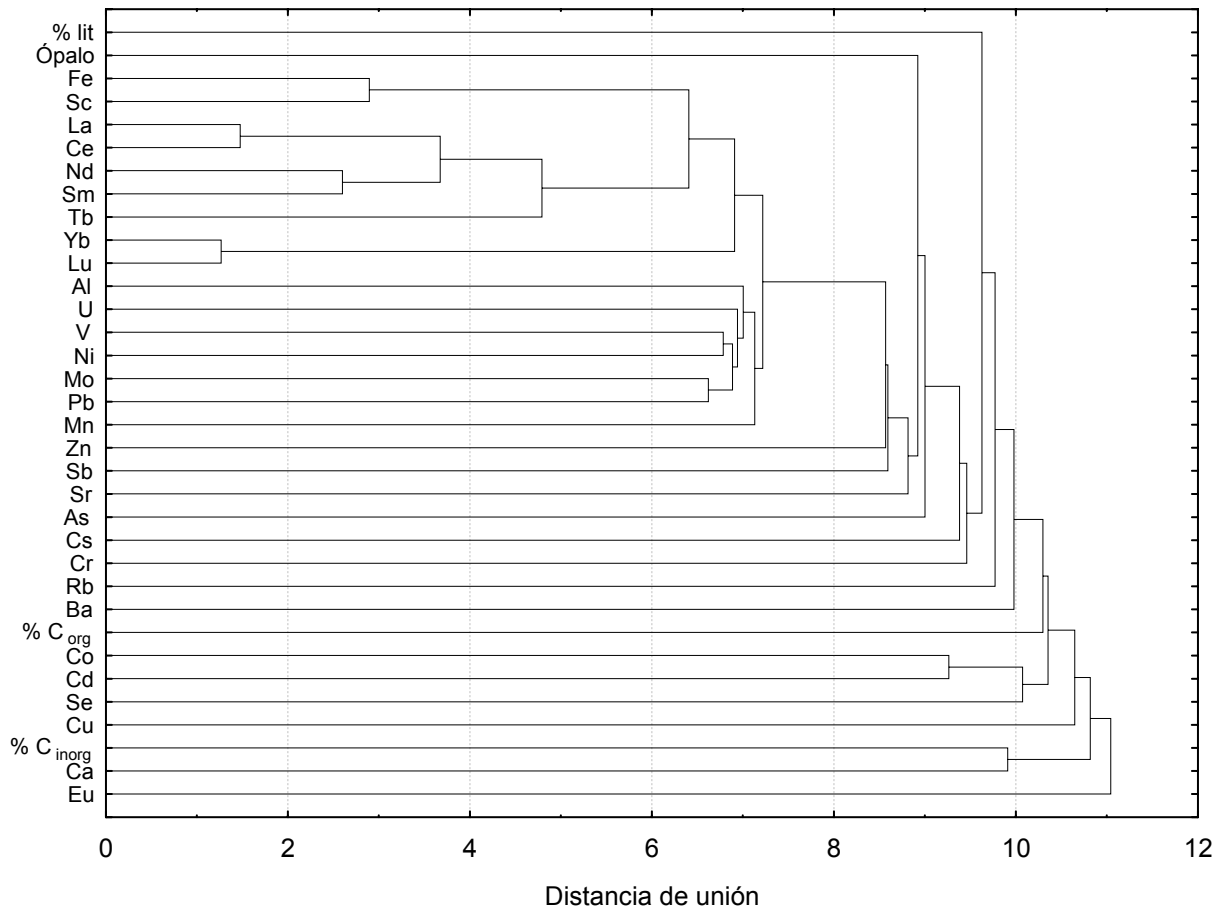
La segunda agrupación por incluir Pb y Sb, hace especular que esta relación corresponde a algunos aportes por vía atmosférica, puesto que estos dos elementos son frecuentes en aerosoles atmosféricos. Además el Pb se conoce por su afinidad a las partículas de aerosoles muy finos (Chester, 2003). Mientras el origen para el U y la alta carga para el Yb y Lu todavía no están claros. En el caso de U este elemento en condiciones subóxicas y anóxicas en la columna del agua puede reducirse de U (+6) a U (+4) con alta afinidad para adherirse fácilmente a las partículas y a causa de este “scavenging” se depositan rápidamente en el fondo marino (McManus *et al.*, 2006).

En la tercera asociación están los componentes biogénicos marinos generados por la productividad primaria, entre los cuales se observan carbono inorgánico y orgánico, calcio, cobre y níquel que son probablemente generados por florecimientos planctónicos con esqueletos carbonatados y tejidos orgánicos. Lo más probable es que el cobre y el níquel estén incorporados en los tejidos orgánicos ya que Collier y Edmond (1984) no encontraron elementos traza acumulados dentro de esqueletos carbonatados en la materia biogénica marina particulada. Por lo que se infiere que los restos de materia orgánica representan material bastante resistente puesto que los tejidos orgánicos lábiles, fácilmente se remineralizan en el ambiente marino y no deberían conservarse en el material de la trampa, a una profundidad de 350 m (Collier y Edmond, 1984; Chester, 2003).

La cuarta asociación probablemente refleja el resultado de la remineralización de la fracción lábil de la materia biogénica marina durante su hundimiento. Mientras el cadmio, cobalto y selenio se conocen por su alta acumulación por el fitoplácton en la capa superficial del mar, también se sabe que son fácilmente liberados a la forma disuelta, al salir de las partículas (Chester, 2003).

**Tabla 17.** Resultados de PCA (n = 117) para los elementos en la MPH de Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
% litogénico	<b>0.56</b>	-0.27	0.12	0.40
% C <sub>inorg</sub>	0.29	-0.31	<b>0.63</b>	-0.29
% C <sub>org</sub>	-0.04	-0.17	<b>0.61</b>	-0.44
Ópalo	<b>-0.62</b>	0.35	-0.45	-0.22
Fe	<b>0.94</b>	-0.06	0.13	0.07
Al	<b>0.81</b>	0.07	-0.03	0.05
Ca	0.12	-0.08	<b>0.66</b>	0.25
Mn	<b>0.72</b>	-0.13	0.04	-0.26
Sc	<b>0.95</b>	-0.11	0.08	0.06
Co	0.11	-0.17	0.05	<b>-0.77</b>
Cr	0.49	0.32	0.27	0.24
Cs	<b>0.57</b>	0.20	0.10	0.04
Rb	0.34	0.42	0.35	0.26
Ba	-0.08	0.26	0.45	0.07
As	0.04	0.40	-0.26	0.01
Sb	-0.08	<b>0.65</b>	-0.21	0.33
U	-0.19	<b>0.60</b>	-0.30	0.27
Zn	0.19	0.40	0.40	0.07
V	<b>0.68</b>	0.33	0.29	0.07
Ni	0.25	0.48	<b>0.62</b>	-0.12
Cu	-0.09	-0.03	<b>0.70</b>	0.07
Se	-0.10	0.09	-0.14	<b>-0.70</b>
Sr	-0.19	0.23	0.07	<b>0.61</b>
Mo	0.06	0.40	-0.03	-0.11
Cd	0.01	-0.12	0.12	<b>-0.80</b>
Pb	0.39	<b>0.70</b>	-0.10	-0.07
La	<b>0.86</b>	0.08	0.09	-0.14
Ce	<b>0.90</b>	0.11	0.06	-0.13
Nd	<b>0.93</b>	0.19	-0.02	-0.08
Sm	<b>0.89</b>	0.24	-0.06	-0.04
Eu	0.34	0.24	0.35	-0.19
Tb	<b>0.78</b>	0.46	-0.00	0.08
Yb	0.33	<b>0.67</b>	0.10	0.15
Lu	0.25	<b>0.68</b>	0.11	0.15
Var. Expl.	9.36	4.23	3.39	3.22



**Figura 39.** Diagrama de PCA entre los contenidos de los componentes, elementos mayores y traza en la materia particulada suspendida

Los periodos de huracanes afectaron parcialmente la asociación de los elementos encontradas para todo el conjunto de datos. Para los datos sin huracanes (n = 113) también cuatro factores representan la varianza de los parámetros analizados: factor 1 (30.4 %), factor 2 (13.7 %), factor 3 (8.7 %) y factor 4 (6.8 %). Pero no son los mismos factores porque las asociaciones de elementos definidos por cada factor en casos sin influencia de huracanes no coinciden de manera completa con la situación encontrada para los calculos con todo el juego de datos (tabla 18).

**Tabla 18.** Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los contenidos de los elementos en la MPH de la Cuenca Alfonso de la Bahía de la Paz, sin incluir los periodos con influencia de huracanes

Factor	Eigenvalor	% total	Eigenvalor acumulativo	% acumulativo
1	10.34	30.40	10.34	30.40
2	4.68	13.77	15.02	44.17
3	2.96	8.70	17.98	52.87
4	2.34	6.88	20.32	59.75

De los datos exceptuando las muestras de los periodos de huracanes, se observan asociaciones un tanto disímiles (Tabla19). Estas fueron las siguientes:

1) La primera asociación de los parámetros se representa por el Al, Cs, Cr, Fe, Mn, Pb, Sc, V y elementos de las tierras raras (La, Ce, Nd, Sm y Tb) con cargas positivas mayores de 0.5.

2) La segunda asociación incluye el Ni, Rb, U y los lantánidos (Tb, Yb y Lu) con carga positiva alta.

3) A la tercera asociación pertenecen el C<sub>inorg</sub>, C<sub>org</sub>, Ca y Cu con carga positiva y ópalo con carga negativa.

4) La cuarta asociación de elementos la constituyen el Sr con carga positiva y el Cd, Co y Se con cargas negativas.

La comparación de las asociaciones permite considerar que los huracanes afectaron escasamente las asociaciones que agrupan a los elementos de posible origen o influencia biogénica marina porque no se cambia la composición del grupo con carbono orgánico e inorgánico, calcio y cobre, aquí solo se agrega el ópalo, con carga negativa, lo que nuevamente nos hace pensar que el ópalo no es portador importante de los elementos traza en la matriz de las partículas en hundimiento. Tampoco se cambió la asociación del grupo que tuvo Cd, Co y Se con cargas negativas.



**Tabla 19.** Resultados de PCA (n = 113) para los elementos en la MPH de Cuenca Alfonso, Bahía de la Paz, sin los periodos de huracanes.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
%lit	0.46	-0.19	0.30	0.38
% C <sub>inorg</sub>	0.31	-0.11	<b>0.69</b>	-0.31
% C <sub>org</sub>	0.06	-0.08	<b>0.62</b>	-0.39
Ópalo	<b>-0.55</b>	0.18	<b>-0.61</b>	-0.19
Fe	<b>0.92</b>	0.01	0.21	0.05
Al	<b>0.85</b>	-0.00	-0.05	0.09
Ca	0.08	0.21	<b>0.70</b>	0.16
Mn	<b>0.72</b>	-0.14	0.09	-0.25
Sc	<b>0.94</b>	-0.05	0.19	0.02
Co	0.10	-0.11	0.10	<b>-0.77</b>
Cr	<b>0.53</b>	0.32	0.17	0.29
Cs	<b>0.54</b>	0.24	0.08	0.04
Rb	0.29	<b>0.54</b>	0.27	0.25
Ba	-0.04	0.27	0.31	0.16
As	0.02	0.39	-0.33	-0.04
Sb	0.03	0.43	-0.44	0.47
U	-0.17	<b>0.54</b>	-0.44	0.25
Zn	0.26	0.34	0.21	0.20
V	<b>0.73</b>	0.29	0.17	0.18
Ni	0.35	<b>0.51</b>	0.41	0.00
Cu	-0.08	0.14	<b>0.67</b>	0.09
Se	-0.09	0.12	-0.14	<b>-0.73</b>
Sr	-0.13	0.18	-0.01	<b>0.67</b>
Mo	0.21	0.16	-0.23	0.08
Cd	0.08	-0.14	0.10	<b>-0.75</b>
Pb	<b>0.55</b>	0.44	-0.37	0.11
La	<b>0.85</b>	0.10	0.09	-0.15
Ce	<b>0.89</b>	0.13	0.06	-0.13
Nd	<b>0.92</b>	0.20	-0.03	-0.09
Sm	<b>0.88</b>	0.24	-0.08	-0.05
Eu	0.29	0.44	0.32	-0.27
Tb	<b>0.73</b>	<b>0.54</b>	-0.07	0.03
Yb	0.24	<b>0.83</b>	-0.01	0.06
Lu	0.16	<b>0.84</b>	-0.02	0.06
Var. Expl.	9.24	4.09	3.64	3.34

Los mas importantes constituyentes de la asociación interpretada como de aluminosilicatos de procedencia continental sin las muestras de los periodos con influencia de los huracanes, incluyó tanto al Cr y como al Pb, este último esaportado por vía atmosférica, posiblemente relacionado con los vientos.

Los resultados de la aplicación de la misma técnica del ACP para el juego de datos de la composición elemental de la MPH de la trampa instalada en la Cuenca Guaymas por Thunnell (1998a), en el periodo de agosto de 1991 a agosto de 1992,

amablemente proporcionados por Dean (comunicación personal) se muestran en la Tabla 20.

Las cuatro principales asociaciones se controlan por los siguientes factores (Tabla 17): factor 1 (50.3 %), factor 2 (17.1 %), factor 3 (8.1 %) y factor 4 (4.4 %)

Los datos de Dean, aunque utilizó menos muestras y un juego diferente de elementos, también muestra un gran predominio de las fuentes terrígenas, las cuales se distinguen por cargas altas para el Al, Fe, La, Ce y algunos otros elementos que aparecen controlados por el factor 1 (Tabla 21). También se distingue la fuente biogénica marina con cargas altas de carbono orgánico y calcio, probablemente relacionados con florecimientos planctónicos de organismos con esqueletos carbonatados. A diferencia de los resultados para Cuanca Alfonso, en esta misma asociación aparecen Ba, Mn, Sr y Zn, pero no se observa el cobre. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la distinta composición del fitoplancton en la parte central abierta del Golfo de California y la Cuenca Alfonso, una bahía semicerrada. Otras dos asociaciones que se revelan en la matriz de datos de Dean son diferentes a los encontrados en la Bahía de La Paz y además el número de los elementos es bastante reducido lo que dificulta la interpretación de su procedencia.

**Tabla 20.** Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los contenidos de los elementos en MPH de la Cuanca Guaymas (Dean, com. per.)

Factor	Eigenvalor	% Total	Eigenvalor acumulativo	% acumulativo
1	15.10	50.34	15.10	50.34
2	5.13	17.10	20.23	67.44
3	2.44	8.14	22.67	75.57
4	1.33	4.44	24.00	80.01

Es interesante comparar las asociaciones de los elementos encontradas en la MPH de Cuenca Alfonso y Cuenca Guaymas (Dean, com. pers.) con los resultados de los estudios multielementales de la composición de las partículas en hundimiento colectadas en otras regiones. Ho (2007) reporta la existencia de dos principales asociaciones de los elementos en la MPH colectada por la trampa instalada en el

**Tabla 21.** Resultados de PCA (n = 26) para los elementos en la MPH de Cuenca Guaymas (Dean, comunicación personal).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
%lito	<b>0.82</b>	-0.10	0.10	-0.10
%Corg	0.05	<b>0.80</b>	0.44	0.04
%Opalo	<b>-0.80</b>	-0.42	-0.07	0.02
Fe	<b>0.98</b>	0.10	0.02	-0.02
Al	<b>0.98</b>	0.09	0.06	-0.01
Ca	-0.03	<b>0.91</b>	-0.01	0.07
Mn	0.25	<b>0.80</b>	0.02	0.04
Sc	<b>-0.63</b>	-0.22	<b>-0.65</b>	0.02
K	<b>0.98</b>	0.05	0.09	-0.02
Mg	<b>0.89</b>	0.30	0.16	0.00
Na	<b>0.59</b>	<b>-0.54</b>	0.02	-0.13
P	-0.15	<b>0.52</b>	0.41	-0.46
Ti	<b>0.98</b>	0.00	0.04	-0.01
Ba	0.42	<b>0.75</b>	0.07	-0.14
Ce	<b>0.88</b>	0.20	0.17	0.09
Co	<b>0.71</b>	<b>0.59</b>	-0.17	0.10
Cr	<b>0.82</b>	0.23	0.05	-0.07
Zn	<b>0.49</b>	<b>0.81</b>	-0.12	0.02
V	<b>0.98</b>	0.13	0.07	0.00
Ni	0.40	<b>0.74</b>	-0.25	0.10
Cu	0.28	0.16	-0.02	<b>-0.72</b>
Sr	-0.04	<b>0.80</b>	0.15	-0.35
Pb	0.08	0.43	<b>-0.72</b>	0.11
Ga	<b>-0.66</b>	-0.25	<b>-0.58</b>	0.03
Li	<b>0.96</b>	0.12	0.02	0.00
Nb	<b>-0.82</b>	0.10	-0.21	-0.10
Th	-0.27	-0.19	0.11	<b>-0.68</b>
Y	-0.21	-0.29	-0.34	-0.20
La	<b>0.90</b>	0.20	0.13	0.14
Nd	-0.46	-0.11	<b>-0.74</b>	0.02
Var. Expl.	13.55	6.35	2.62	1.49

Mar del Sur de China a una profundidad de 160 m: 1) agrupación principalmente terrígena con Al, Fe, Mn y Ti, además del Ca, que puede provenir de las fuentes terrígenas como silicato de calcio o de las fuentes biogénicas marinas como carbonato de calcio y 2) agrupación de elementos de origen biogénico o autógeno que incluye el Al, Cu, Mg, Mo, P, S, U, V, Zn, mientras que W, Cr, Ba, Sr, Ni y Co se quedan fuera de estas asociaciones. Se percibe que la primera asociación de Ho aparte de los elementos de origen terrígeno (Al, Fe y Mn) que coinciden con los datos de Cuenca Alfonso también tiene Ca, el cual lo más probable es que sea biogénico, mientras que en Cuenca Alfonso está en otra asociación junto con Cu.

Además en la segunda asociación de Ho (2007), junto con micronutrientes otra vez se observó al Al, que es típicamente terrígeno. Una posible interpretación de esta situación, es que en su área ocurren dos tipos de agregaciones, cada uno de los cuales incluye material terrígeno mezclado con material biogénico. No obstante que en la trampa de Cuenca Alfonso y de Cuenca Guaymas las posibilidades de tal agregación “combinada” son mucho menores o no se presentan. Un comportamiento tan distinto de los elementos en partículas en hundimiento interceptados en el Golfo de California y en el Mar del Sur de China, puede atribuirse a los grandes aportes fluviales de los elementos en forma disuelta y particulada al ambiente marino desde el Sureste de Asia.

#### 9.5.2. Asociaciones entre las fases inorgánica y orgánica del fósforo y otros componentes mayoritarios y traza

Ya que no se obtuvieron datos para toda la serie de tiempo, se realizó el tratamiento estadístico solo para las 36 muestras en las cuales el análisis del fósforo se efectuó, para poder discutir sobre las posibles asociaciones del fósforo inorgánico y orgánico particulado con otros componentes mayoritarios y traza presentes en la MPH de la Cuenca Alfonso.

Los resultados del análisis de este conjunto de datos mediante el método de los componentes principales con la rotación Varimax se muestran en la Tabla 22.

Como puede observarse, la importancia relativa de cuatro factores, los cuales controlan la varianza de los contenidos de los constituyentes de la MPH de las muestras.

El primer factor controla la varianza del % litogénico, Fe, Al Cs, V Sc y ETR (excepto el Eu) con cargas positivas altas y el C orgánico, ópalo y cadmio con cargas negativas, posiblemente representando la fuente terrígena y procesos de dilución de materiales continentales con componentes biogénicos marinos como el ópalo, materia orgánica y el micronutriente Cd, que puede estar asociado con la matriz biogénica orgánica marina y su remineralización en la columna de agua.

El segundo factor en orden de importancia para este conjunto de datos donde su contribución está afectando en mayor grado la variabilidad temporal de los

siguientes componentes: Ca, C inorgánico, Co, Mo, Ni y Zn. Lo mas probable es que esta asociación es un producto de florecimientos planctónicos de los organismos con esqueletos carbonatados (por ejemplo foraminíferos o cocolitofóridos) y posible bioacumulación de los micronutrientes mencionados en este grupo.

El tercer factor en orden de importancia afecta el contenido del fósforo inorgánico, así como al As, Co, Pb y Se. Este factor corresponde a la formación de partículas de fosfato de calcio u otros fosfatos insolubles en el agua del mar por algún proceso biológico o biogeoquímico. El As como análogo cercano del P también se involucra en estas partículas. El fosfato de plomo también es poco soluble en el agua, mientras que la fuente inicial del Pb así como del selenio pueden ser los aportes atmosféricos (Chester, 2003). La presencia del cobalto en esta asociación todavía no está clara ya que se requieren estudios adicionales.

El cuarto factor con una menor contribución en la variabilidad de la matriz de los datos controla la varianza de los contenidos de Al, Cr, Mn y Pb con cargas positivas, así como de Ba con carga negativa. Quizas esta agrupación esta causada también por aportes atmosféricos. El bario puede tener un origen biogénico marino y por eso tiene carga negativa.

Como se nota de la Tabla 22, el fósforo inorgánico se asocia en cierto grado con los cuatro factores, con mayor importancia para el factor 3, lo que muestra que puede estar ligado con las fuentes terrígenas o inorgánicas, como con las biogénicas marinas u orgánicas. El fósforo orgánico mientras no tiene carga muy alta tiende a seguir al C orgánico en estas pocas muestras estudiadas. Son argumentos a favor de la alta variedad de las formas del fósforo en la MPH de la Cuenca Alfonso, lo que también fue mostrado por diversos autores para el fósforo en la MPH de otras cuencas estudiadas.

## 9.6. Factores que influyen en la variación en la composición de la MPH y los flujos de los elementos particulados

### 9.6.1. Influencia del transporte eólico

Como se discutió en forma general, la fracción litogénica tiene una considerable contribución en la composición de la MPH y los flujos de material litogénico son una parte considerable de los flujos de masa total en la mayoría del periodo de estudio realizado con la trampa sedimentaria en Cuenca Alfonso entre enero del 2002 y noviembre de 2005. Esto está confirmado por las evaluaciones de

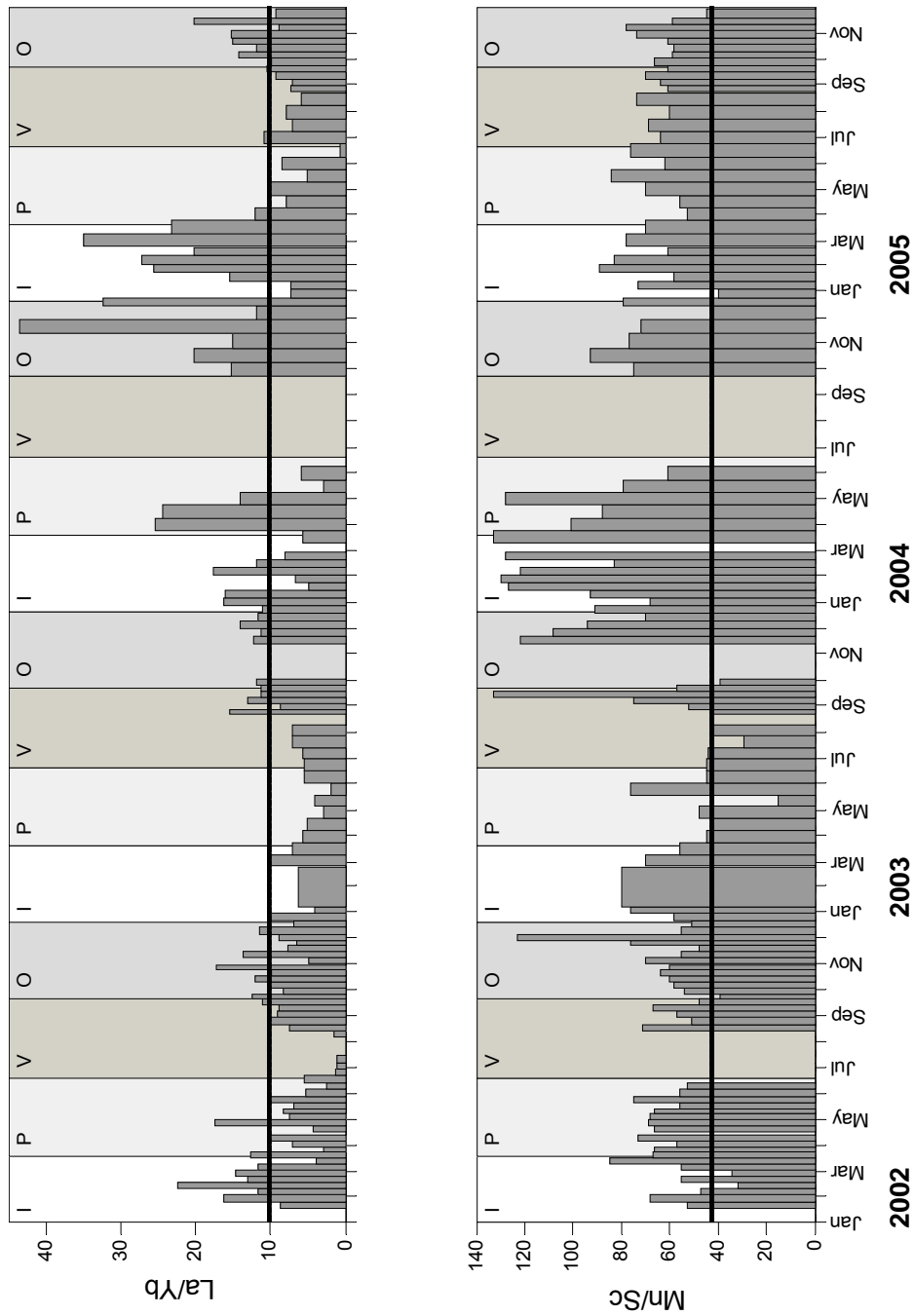
**Tabla 22.** Resultados de PCA (n = 36) de fósforo inorgánico y orgánico, así como elementos mayores y traza en la MPH de Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
<b>Pinorg</b>	0.31	0.23	<b>0.62</b>	0.20
<b>Porg</b>	-0.42	0.12	-0.19	-0.37
<b>%lito</b>	<b>0.87</b>	-0.13	-0.19	-0.26
<b>% C inorg</b>	-0.11	<b>0.66</b>	0.48	0.20
<b>%Corg</b>	<b>-0.59</b>	0.49	0.30	-0.30
<b>Opalo</b>	<b>-0.75</b>	-0.42	-0.19	0.22
<b>Fe</b>	<b>0.91</b>	0.04	0.01	0.24
<b>Al</b>	<b>0.54</b>	0.07	0.04	<b>0.63</b>
<b>Ca</b>	0.15	<b>0.90</b>	-0.09	0.08
<b>Mn</b>	0.35	-0.03	0.06	<b>0.72</b>
<b>Sc</b>	<b>0.90</b>	-0.06	-0.01	0.27
<b>Co</b>	0.06	-0.24	<b>0.56</b>	-0.23
<b>Cr</b>	0.23	0.39	-0.24	<b>0.50</b>
<b>Cs</b>	<b>0.56</b>	0.06	0.08	0.14
<b>Rb</b>	0.44	0.37	-0.29	0.03
<b>Ba</b>	-0.22	0.29	-0.29	<b>-0.64</b>
<b>As</b>	0.06	-0.07	<b>0.62</b>	0.02
<b>Sb</b>	0.20	-0.12	0.28	-0.10
<b>U</b>	0.20	-0.11	0.03	0.48
<b>Zn</b>	0.11	<b>0.81</b>	-0.07	0.00
<b>V</b>	<b>0.63</b>	0.48	0.07	-0.03
<b>Ni</b>	-0.27	<b>0.83</b>	-0.21	-0.12
<b>Cu</b>	-0.13	<b>0.67</b>	-0.16	-0.45
<b>Se</b>	-0.17	-0.26	<b>0.76</b>	0.05
<b>Sr</b>	0.19	0.45	-0.11	0.01
<b>Mo</b>	-0.13	<b>0.54</b>	0.46	-0.24
<b>Cd</b>	<b>-0.67</b>	-0.07	0.28	0.18
<b>Pb</b>	0.11	-0.07	<b>0.67</b>	<b>0.57</b>
<b>La</b>	<b>0.79</b>	0.04	-0.12	0.35
<b>Ce</b>	<b>0.85</b>	-0.01	-0.06	0.33
<b>Nd</b>	<b>0.91</b>	-0.12	0.19	0.21
<b>Sm</b>	<b>0.85</b>	-0.15	0.33	0.14
<b>Eu</b>	0.13	0.41	0.36	0.16
<b>Tb</b>	<b>0.91</b>	0.03	0.01	0.08
<b>Yb</b>	<b>0.63</b>	0.35	-0.37	-0.03
<b>Lu</b>	<b>0.58</b>	0.38	-0.38	-0.05
<b>Var. Expl.</b>	10.25	5.30	3.80	3.41

Aguirre Bahena (2007) y de Silverberg *et al.* (2007). A esa conclusión llevan los resultados de aplicación del método del análisis de componentes principales, los cuales permiten separar dos asociaciones de los elementos, en conjunto con los elementos - indicadores de los aportes terrígenos. La diferenciación más sólida de la procedencia de los materiales terrígenos capturados por la trampa de sedimentos en la Cuenca de Alfonso requiere aplicar enfoques geoquímicos adicionales, desarrollados en los trabajos de Otosaka *et al.* (2000, 2004) y de Maeda *et al.* (2007). En particular, Otosaka y sus colaboradores aplican las razones de elementos tales como La/Yb y Mn/Al, mientras Maeda *et al.* (2007) aplica, además de la razón La/Yb, la razón Th/Sc. Con esta información se logró distinguir la existencia de tres fuentes de material litogénico en la MPH del Mar de Japón, aporte atmosférico de Asia (Corea), transporte lateral de Asia desde el mar Oriental de China por la cálida corriente de Tshima y el transporte lateral desde el arco de la Isla de Sakhalin y de las Islas de Japón, así como establecer los periodos de tiempo estacionales de predominancia de diferentes fuentes, en particular las partículas litogénicas, transportados desde Asia durante el fenómeno de KOSA (fuertes tormentas de polvo en el Norte de China) fueron observados en el invierno y la primavera, constituyendo el 84 % de los flujos anuales litogénicos a una profundidad de 1 km en la Cuenca Occidental del Mar de Japón (Otosaka *et al.*, 2004).

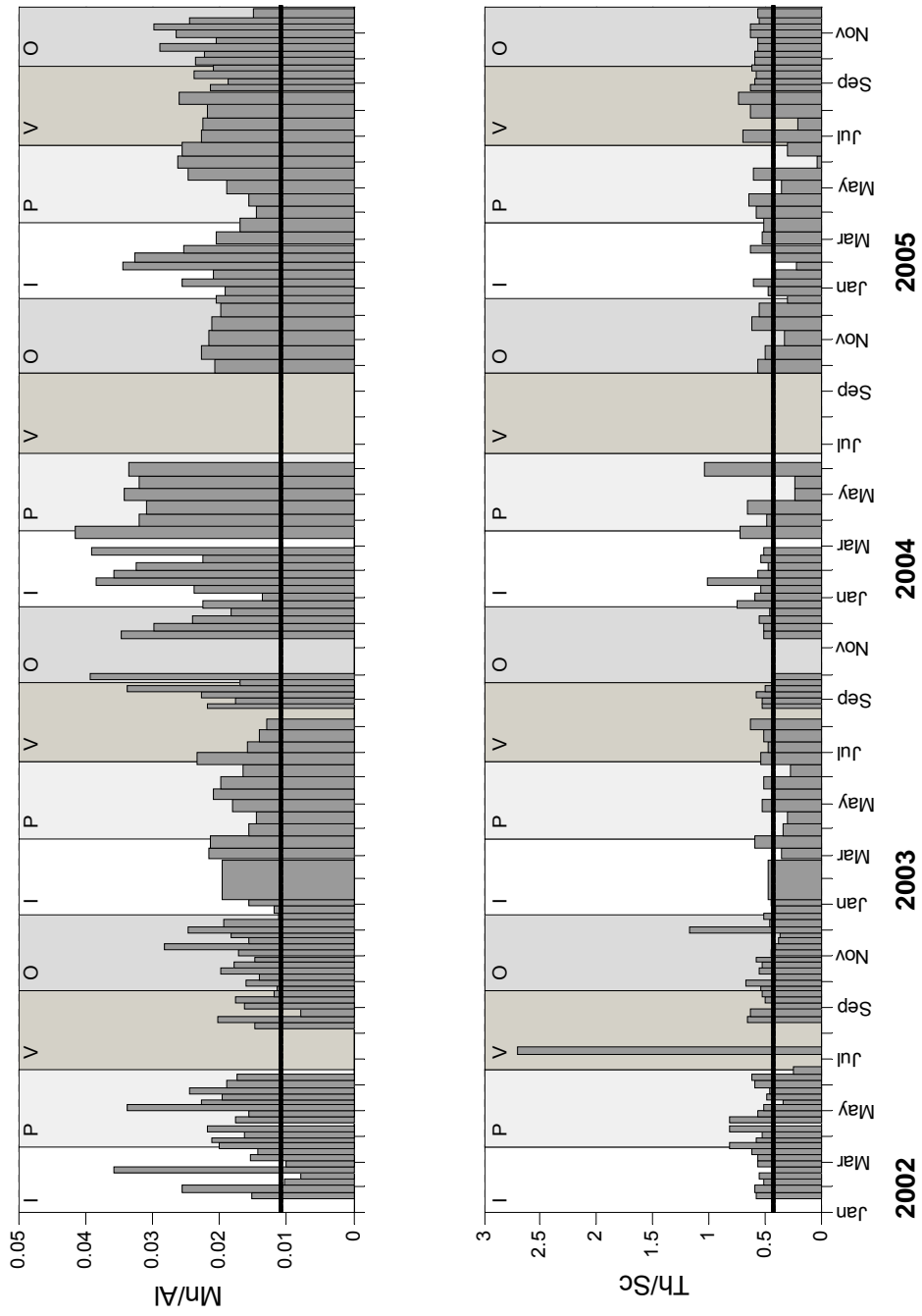
Mientras existen diferentes datos de las estaciones permanentes, en particular, en las islas de los océanos, sobre la concentración de fierro en los aerosoles atmosféricos, todavía no existen observaciones concordadas entre el aire y el mismo sitio con las trampas sedimentarias. El primer paso a esta etapa son los primeros resultados sobre los aerosoles y la concentración de Fe en ellos, obtenidos en mayo-septiembre de 2004 por medio de un colector autónomo colocado sobre la boya oceanográfica en el Mar de Sargasso en Bermudas por Sholkovitz y Sedwick (2006).

La aplicación de este enfoque de las razones Mn/Al, La/Yb y Th/Sc a la serie de tiempo estudiada en Cuenca Alfonso (Figuras 40, 41, 42) permite distinguir los periodos con influencia de distintas fuentes de aporte terrígeno a la profundidad de la Cuenca de Alfonso.

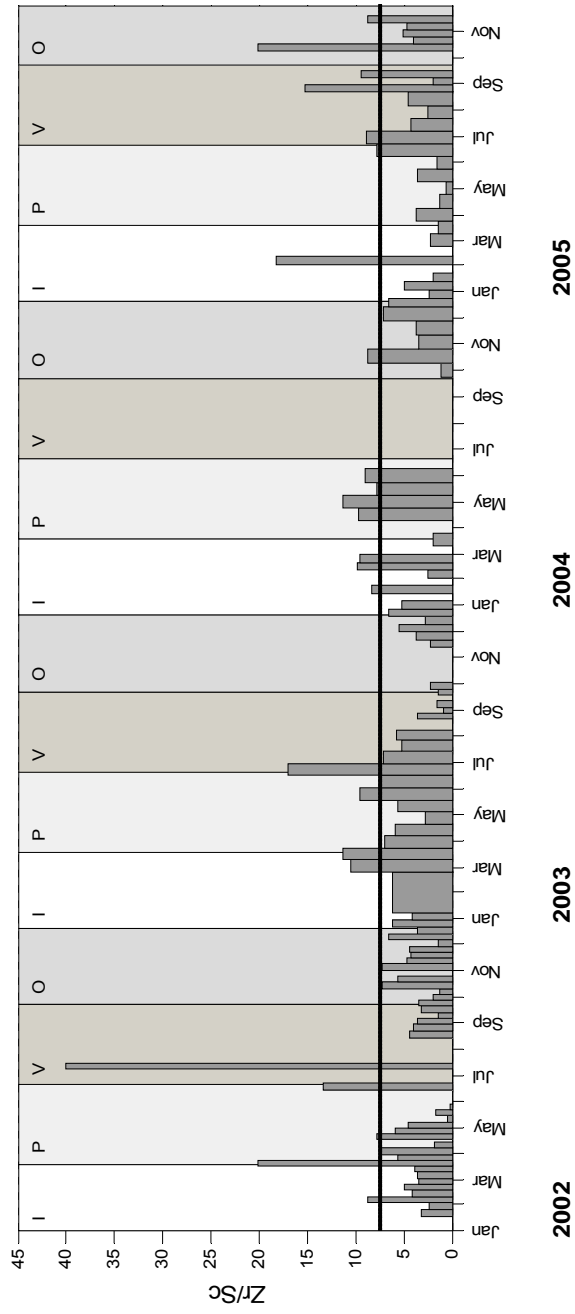


**Figura 40.** Razón de La/Yb y Mn/Sc en la materia particulada en hundimiento La línea horizontal representa el valor para la corteza terrestre





**Figura 41.** Razón de Mn/Al y Th/Sc en la materia particulada en hundimiento. La línea horizontal representa el valor para la corteza terrestre



**Figura 42.** Razón de Zr/Sc en la materia particulada en hundimiento. La línea horizontal representa el valor para la corteza terrestre

### 9.6.2. Influencia de los huracanes

Los principales impactos de los huracanes “Ignacio y Marty en el año 2003 sobre los componentes principales de la MPH fueron descritos por Silverberg *et al.* (2007) y Aguirre Bahena (2007). En estos trabajos se mostró la existencia de flujos de masa total mucho más altos que en condiciones normales, que los flujos de material terrígeno son más altos y que existe diferencia entre el flujo terrígeno evaluado por dos métodos a causa de la dilución por cuarzo. Estos hechos se reflejan en la concentración y flujos de los elementos particulados.

La precipitación en el área típicamente es escasa, en un intervalo de 59 a 193 mm. Solamente en ocasiones relacionadas con el paso de los huracanes “Ignacio” y “Marty” en el año 2003 se observó una precipitación importante, de 74 mm con el primero, durante agosto de 2003, lo que representa el 38 % de la precipitación total en este año. En el caso del huracán “Marty” la precipitación registrada fue de 109 mm en septiembre de 2003. Las condiciones detalladas del estado del tiempo durante el pasaje de los huracanes “Ignacio” y “Marty” sobre la parte sur de la Península de Baja California se discutieron por Farfán y Cortés (2005).

Para cuantificar este impacto, se compararon las concentraciones promedio de varios componentes de la MPH para una semana que incluye y sigue a cada huracán. (Tabla 23). Mientras los huracanes se presentaron en la inmediación de la Bahía de La Paz durante 3 días, estos periodos de dos semanas cada uno serán referidos como influenciados por los huracanes, a diferencia de estos están las condiciones normales promedio para 2002-2005 (excluyendo los datos del periodo de influencia de los huracanes). Las más altas concentraciones de Fe están asociadas con los huracanes (4 %), contrastes similares son evidentes para Sc, Co y Cs. Esto no fue así en el caso de Ca o Cr. Los periodos de influencia de los huracanes también muestran la más altas concentraciones de los elementos de las tierras raras ligeras, el La presentó  $18 \text{ mg kg}^{-1}$ . Las diferencias no fueron tan claras para los ETR pesados Yb y Lu o para el ETR reactivo medio, Eu.

**Tabla 23.** Concentración promedio de la fracción terrígena, elementos mayores y traza en la MPH en Cuenca Alfonso. Periodos con influencia de huracanes vs condiciones “normales”

Componente	Huracán “Ignacio”	Huracán “Marty”	Promedio para el periodo de Huracanes	Promedio para el periodo “normal”	2002	2003, sin periodo de huracanes	2004	2005
% litogénico por diferencia (Silverberg, datos personales)	75±3.4	71±8.6	73±6	35±16	34±20	43±13	29±14	35±8
% litogénico usando Sc como indicador	61±1.6	64±5.3	62±3.7	31±11	30±11	28±13	32±9	32±11
Al (%)	3.3±0.8	3±2.1	3.1±1.3	2.3±0.9	2.5±0.9	2±1.2	2.4±0.9	2.1±0.6
Ca	3.2±0.4	4.1±0.2	3.6±0.6	5.2±3.1	3.7±1.7	5.8±2.3	4±1.4	7.6±4
Fe	3.4±0.2	3.7±0.3	3.6±0.3	1.9±0.7	1.9±0.7	1.6±0.8	1.8±0.6	2±0.7
As (mg kg <sup>-1</sup> )	5.6±1	11±2.3	8±3.2	10±8	11±9	6.7±4.5	11±7	8±5
Ba	181±93	389±23	285±132	363±300	403±356	247±152	216±144	491±313
Cd	0.7±0.1	0.7±0.01	0.7±0.1	1.5±1	1.3±0.8	0.9±0.6	2.3±0.9	1.7±0.7
Ce	26±0.7	31±1.6	28±3	17±7.5	18±8	14±8.7	18±6	18±6
Co	13±1.6	15±0.4	14±1.2	14±12	7±2.2	8±6.1	26±17	20±12
Cr	38±14	28±3.5	33±10	31±13	34±14	28±10	28±11	31±15
Cs	9.7±1.5	7.2±0.1	8.5±1.7	5.2±3	5.9±3	4.3±2.4	5.1±3.5	4.8±3.4
Cu	18±1	24±1.3	21±3.7	44±39	32±12	31±19.7	21±10	85±54
Eu	0.3±0.1	0.4±0.2	0.3±0.1	0.3±0.2	0.3±0.2	0.2±0.1	0.4±0.2	0.4±0.3
La	14±0.6	17±1.4	15±2	9±4.3	9±4.6	7±5	9±3.4	10±4
Lu	0.2±0.1	0.2±0.01	0.2±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1
Mn	631±64	671±123	651±83	490±219	443±102	471±376	625±205	473±158
Mo	0.5±0.1	0.7±0.01	0.6±0.2	1.6±2	2.5±3.1	0.8±0.4	1±0.5	1.3±0.6
Nd	10±0.1	12±0.8	11±1	7.6±2.8	8.2±3	6.2±3.1	7.9±2.6	7.6±2
Ni	21±2.6	23±1.3	22±2.2	38±18	42±22	25±11	29±13	47±12
Pb	10±1.2	11±1.4	11±1.5	17±10	25±12	10±4.3	16±4.2	12±5
Rb	52±59	61±18	57±36	40±27	51±31	25±15	27±19	39±26
Sb	0.4±0.1	1.5±0.6	1.0±0.7	4.6±5.3	9.6±4.9	2.7±3.1	1.1±0.9	0.6±0.5
Sc	13.3±0.3	14.1±1.2	13.7±0.8	6.8±2.4	6.7±2.5	6.3±3	7.1±2	7±2.4
Se	0.5±0.4	1.0±0.7	0.8±0.6	4.5±7	2.8±2.7	1.5±0.9	12.4±11.7	3.8±5
Sm	2.8±0.3	3.0±0.3	2.9±0.2	2.0±0.7	2.2±0.7	1.7±0.8	2.0±0.7	2±0.5
Sr	218±9.5	411±105	314±127	675±415	819±391	959±538	352±206	473±116
Tb	0.5±0.1	0.6±0.1	0.5±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1
U	2.1±1.6	1±0.3	1.5±1.1	4.2±5	6.4±7	4.4±3.5	2.3±1	1.6±0.9
V	55±7.3	43±1.5	49±8.3	39±20	46±23	27±18	30±15	41±13
Yb	1.2±0.5	1.5±0.1	1.3±0.3	1.0±0.6	1.2±0.7	0.9±0.3	0.8±0.4	0.9±0.4
Zn	82±4.2	80±8	81±5.4	96±68	114±80	63±35	70±13	109±78

La variabilidad temporal de los flujos de varios elementos particulados (por ejemplo Fe, Figura 4) nuevamente muestra la misma influencia de los huracanes. Los datos correspondientes para la comparación de los flujos normales de los elementos particulados con los flujos influenciados se presentan en la Tabla 24.

Los FMT promedios en las semanas durante e inmediatamente después de cada huracán son 3 veces mayores que los FMT en condiciones normales. Mayores flujos en el tiempo impactado por los huracanes se observa para todos componentes de la MPH, así como para el sílice biogénico,  $\text{CaCO}_3$  y materia orgánica (Aguirre Bahena, 2007; Silverberg *et al.*, 2007).

Las concentraciones de los elementos terrígenos típicos (Fe, Sc, Co y Cs) en la MPH siempre fueron mayores durante los periodos de las dos semanas afectados por los huracanes. Las concentraciones de Fe y Sc se acercan a estas, los cuales fueron medidos en los sedimentos superficiales de los principales arroyos de la cuenca de drenaje de la Bahía de La Paz (Rodríguez Castañeda, 2002).

Los elementos del grupo de las tierras raras generalmente se consideran como indicadores de fuentes terrígenas. Durante los periodos referidos a los huracanes, las concentraciones de los ETR ligeros en la MPH, como el La, son más altos que en las condiciones de la sedimentación normal. Tendencias semejantes existen para Ce, Sm y Tb, pero esto es menos evidente para los ETR pesados, Yb y Lu. Las concentraciones del Eu en la MPH, en contraste, no muestran ninguna relación con los huracanes, lo que sugiere, que otros procesos influyen en su concentración (por ejemplo, la reducción dentro de los agregados en hundimiento y en una columna de agua poco oxigenada, las fuentes hidrotermales o volcánicas distantes).

El comportamiento de Ca total usualmente refleja la importancia de las conchas y esqueletos carbonatados marinos. Las rocas sedimentarias carbonatadas no son frecuentes en la cuenca de drenaje, pero las calco-alcálicas plagioclasta son abundantes. Así mientras los flujos de Ca incrementan dramáticamente durante los huracanes, la concentración de Ca en la MPH no está afectada. La razón Ca/Sc (2664-3256) fue cercana a la razón Ca/Sc de la corteza continental (2116),

sugiriendo que el aporte terrígeno fue solo parcialmente diluido por la fracción biogénica.

**Tabla 24.** Flujos promedio de la fracción terrígena, elementos mayores y traza en la MPH en Cuenca Alfonso. Periodos con influencia de huracanes vs condiciones “normales”

Componente	Huracán “Ignacio”	Huracán “Marty”	Promedio para el periodo de Huracanes	Promedio para el periodo “normal”	2002	2003, sin periodo de huracanes	2004	2005
Matrial litogénico por diferencia, g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	2.7±0.01	2±0.01	2.4±0.03	0.2±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1	0.2±0.1	0.1±0.01
Material litogénico usando Sc como indicador, g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	2.2±0.001	1.8±0.001	2.0±0.02	0.2±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	0.2±0.05	0.1±0.02
Al mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	116±17	86±62	101±41	18±15	21±13	20±22	20±17	9±6
Ca	114±3	117±4	116±3	33±24	29±22	40±23	30±23	36±29
Fe	123±21	107±8	115±16	14±11	15±9	15±15	15±14	9±6
As µg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	21±6	30±7	25±8	7±6	7±6	5±3	9±10	4±3
Ba	671±409	1120±71	896±353	210±151	269±172	171±126	153±139	192±115
Cd	2±0.04	2±0.2	2±0.2	1±1	1±1	1±1	1±1	1±0.3
Ce	94±10	93±2	94±6	13±11	15±10	13±15	15±13	8±5
Co	49±11	42±1	46±8	8±8	6±3	8±9	16±13	7±2
Cr	139±65	80±10	109±51	22±16	26±16	23±20	22±17	14±11
Cs	35±9	21±0.5	28±10	4±3	5±3	3±3	4±4	2±2
Cu	64±3	70±4	67±4	25±23	24±16	21±12	13±6	39±36
Eu	1±0.2	1±1	1±0.4	0.2±0.2	0.3±0.2	0.1±0.1	0.2±0.2	0.2±0.2
La	50±4	51±2	51±3	7±6	8±5	7±8	8±7	4±3
Lu	1±0.3	1±0.001	1±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1
Mn	2262±19	1933±363	2097±283	348±289	350±154	457±518	443±266	202±126
Mo	2±0.2	2±0.1	2±0.3	1±1	2±1	1±0.4	1±0.5	0.5±0.2
Nd	40±5	37±1	38±3	6±5	7±4	6±6	7±6	3±2
Ni	75±1	67±4	71±5	24±15	31±17	20±16	17±8	21±13
Pb	35±1	34±4	34±3	12±9	18±8	8±7	12±9	5±3
Rb	177±193	176±51	176±115	28±24	39±27	21±24	24±20	19±16
Sb	1±1	4±2	3±2	3±4	7±4	2±2	1±2	0.3±0.3
Sc	48±7	41±3	44±6	5±4	6±4	6±6	6±5	3±2
Se	2±2	3±2	3±2	2±4	1±1	1±1	7±7	1±2
Sm	10±1	9±1	10±1	1±1	2±1	1±1	2±2	1±0.5
Sr	782±52	1184±307	983±294	434±328	587±370	599±225	256±256	208±129
Tb	2±0.1	2±0.1	2±0.1	0.3±0.2	0.3±0.2	0.3±0.3	0.3±0.3	0.2±0.1
U	7±5	3±1	5±4	2±2	4±2	3±2	2±2	1±1
V	201±48	124±4	163±53	27±21	35±21	24±27	24±20	18±13
Yb	4±1	4±0.1	4±1	1±1	1±1	1±1	1±1	0.4±0.3
Zn	296±18	229±24	263±42	62±51	79±55	50±40	50±33	51±56

Las contribuciones incrementadas, a causa de los huracanes, de cada uno de los elementos estudiados también son evidentes (Tabla 24). Durante 29 días (7.9 % del año) de la sedimentación afectada por los huracanes, las cantidades de los elementos particulados en hundimiento representan una proporción grande de los flujos de masa total anuales que ocurren en el año “normal”: Las concentraciones de los elementos traza terrígenos en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso y sus flujos verticales aumentaron durante el paso de los huracanes “Ignacio” y “Marty”. Las contribuciones de estos elementos durante 29 días del año 2003 con influencia de estos fenómenos meteorológicos son más de la mitad de las cantidades promedio anuales, calculados para los años “normales” (2002, 2003 sin el periodo de huracanes, 2004 y 2005): **Rb** (83 %) = **Sc** (83 %) > **Fe** (80 %) > **Cs** (77 %) > **La** (72%) > **Ce** (70 %) > **Tb** (66 %) = **Nd** (66 %) > **Lu** (64 %) = **Yb** (64 %) > **Sm** (64 %) > **V** (59 %) > **Mn** (58 %) > **Al** (56 %) > **As** (51 %) (Figura 43).

Estos datos son un argumento más a favor de una notación de Depetris (1996) de que los eventos climáticos excepcionales discretos pueden jugar el papel principal en la remoción del material sedimentario desde los continentes a los océanos.

Los datos sobre la influencia de los huracanes sobre los flujos de los elementos particulados, así como los flujos de masa total y los componentes mayoritarios de la MPH en la Cuenca Alfonso confirman las ideas antes expresadas sobre un importante papel de las precipitaciones pluviales en la formación de los sedimentos laminados en La Bahía de La Paz (Molina-Cruz *et al.*, 2002). Así como el hecho de que fuertes fenómenos naturales (huracanes, temblores, inundaciones) pueden ser muy relevantes en la formación de los sedimentos marinos y para descifrar los registros históricos sedimentarios.

### 9.6.3. Influencia de la productividad marina

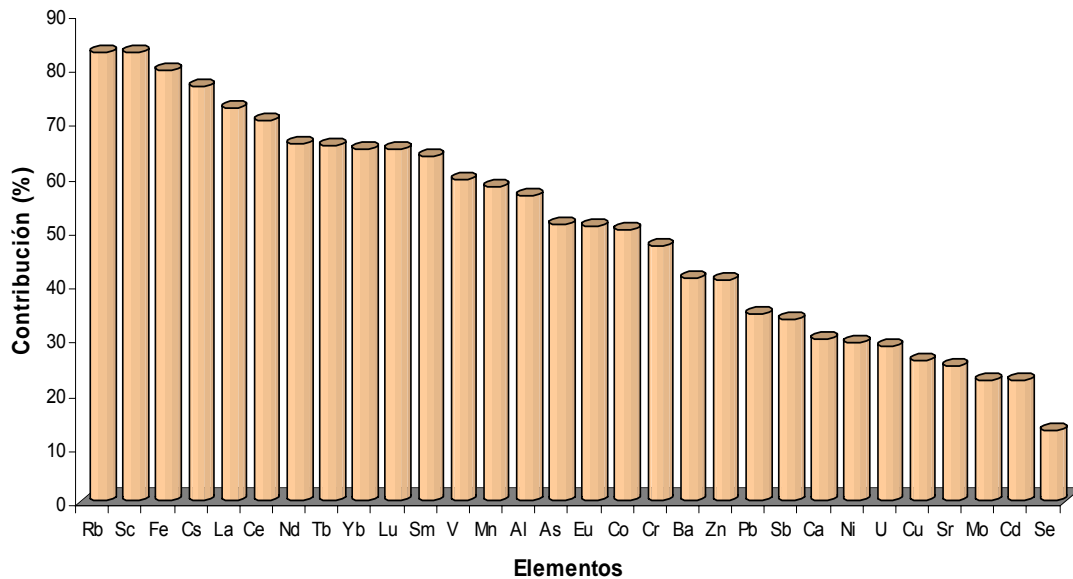
Existen estudios que muestran la ocurrencia de los máximos de clorofila *a*, que indican florecimientos de fitoplancton en abril y mayo en la capa fótica de la Bahía de La Paz (Martínez López *et al.*, 2001; Reyes Salinas, 1999), mientras que Verdugo Díaz (2004) mostró máximos en el otoño, una variación considerable de clorofila *a* y de la composición de las especies en función del nivel de luz, aunque ni

en los contenidos de los elementos en la materia particulada en hundimiento, ni en sus flujos se observó una marcada estacionalidad que pudiera ser relacionada con picos de clorofila a, o con picos de florecimientos planctónicos. Se encontraron picos altos en algunos elementos micronutrientes en la MPH con factores de enriquecimiento altos para Cd, Cu y Zn, sin embargo los factores que controlan el ritmo y composición de los florecimientos fitoplanctónicos en Bahía de La Paz requieren de una revisión profunda.

**Tabla 25.** Porcentaje del flujo anual total representado por los 29 días de sedimentación influenciada por los huracanes “Ignacio” y “Marty” durante el 2003

Elemento	2002	2003	2004	2005	Promedio
<b>Al</b>	39	51	40	96	<b>56</b>
Ca	32	27	30	30	30
<b>Fe</b>	62	80	57	121	<b>80</b>
<b>As</b>	30	65	24	86	<b>51</b>
Ba	28	48	51	37	41
Cd	18	28	13	29	22
<b>Ce</b>	50	73	48	110	<b>70</b>
<b>Co</b>	65	64	20	52	<b>50</b>
Cr	34	45	40	70	47
<b>Cs</b>	49	82	57	119	<b>77</b>
Cu	22	27	40	14	26
<b>Eu</b>	35	75	36	55	<b>50</b>
<b>La</b>	52	76	50	111	<b>72</b>
<b>Lu</b>	37	58	64	97	<b>64</b>
<b>Mn</b>	52	49	37	94	<b>58</b>
Mo	10	26	21	32	22
<b>Nd</b>	46	68	44	107	<b>66</b>
Ni	19	35	33	30	29
Pb	16	40	22	59	34
<b>Rb</b>	44	83	110	95	<b>83</b>
Sb	4	14	21	95	34
<b>Sc</b>	64	80	58	129	<b>83</b>
Se	13	20	3	15	13
<b>Sm</b>	43	65	42	104	<b>64</b>
Sr	13	14	30	42	25
<b>Tb</b>	43	64	49	107	<b>66</b>
U	11	15	23	65	28
<b>V</b>	37	69	51	79	<b>59</b>
<b>Yb</b>	39	59	62	98	<b>64</b>
Zn	26	51	41	45	41





**Figura 43.** Contribución elemental anual promedio correspondiente a los los periodos de huracanes “Ignacio” y “Marty”.

#### 9.6.3.1. Búsqueda de la correlación entre contenidos y flujos de los ET particulados y concentración de clorofila *a* superficial

Durante los periodos de muestreo comprendidos de finales de junio a principios de agosto de 2002. Según el sistema de clasificación utilizado por Salomons y Förstner (1984), Posada-Ramos y colaboradores (1994) y Martínez-Magaña (1995), se tiene que en la MPH de este cuerpo de agua durante el periodo de tiempo mencionado se presentó un enriquecimiento alto de Fe (6.4) mientras que el resto de los elementos presentaron un enriquecimiento intenso ( $\geq 10$ ) (Tabla 15). A este periodo de tiempo se asocia un cambio de temperatura y un florecimiento planctónico lo cual probablemente este en correlación con el incremento de los elementos estudiados en el MPH durante el verano de 2002.

Sin embargo no se reveló ninguna correlación significativa entre los contenidos de los ET en la MPH y los flujos de los ET particulados con la concentración de clorofila *a* en la capa superficial de la Bahía de La Paz, obtenida de imágenes satelitales.

#### 9.6.3.2. Análisis de la influencia de los componentes mayores biogénicos ( $\text{CaCO}_3$ , sílice biogénico y carbono orgánico)

Como se mencionó en los antecedentes generales, el carbonato de calcio y el sílice biogénico (ópalo) no fueron significativos portadores de ninguno de los ET en la composición del plancton (Collier y Edmond, 1984). Con el fin de evaluar esto en caso de la MPH de la Cuenca Alfonso, se exploraron las correlaciones de las concentraciones de los ET con las concentraciones del carbonato de calcio y de sílice biogénico y al igual que se se vé en los resultados del análisis de componentes principales, no se revelaron asociaciones significativas entre los ET y los componentes mayores biogénicos de la MPH.

Cierta agrupación se encontró entre el carbono orgánico y el contenido de Cu en la MPH de la Cuenca Alfonso con los resultados del ACP. Esto no es extraordinario, puesto que ya se tienen numerosos datos de diversos autores sobre la asociación frecuente entre el Cu y la materia orgánica en la materia suspendida particulada, así como en los sedimentos marinos y lacustres, lo que se explica por la alta afinidad de cobre a la material orgánica. Esto se vió también para la MSP del Mar del Sur de China (Demina *et al.*, 1985), cuando el Cu total particulado se encontraba en la fracción orgánica. También por el tratamiento químico por medio de la solución acuosa de 10 % de peróxido de hidrógeno (pH= 5.5) a 50° C durante 25 h y con irradiación por ultrasonido durante 24 h. Feely *et al.* (1982) han mostrado la asociación de Cu y Mn con la materia orgánica de la MPH de la Bahía Kachemak (Alaska), generando flujos de Cu asociado con la materia orgánica en un rango de 23-85  $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  en mayo-agosto de 1978, con el máximo en agosto, cuando la productividad biológica era mínima y el flujo de las pelotillas fecales fue más alto durante estos 4 meses de observaciones.

## 10. CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de los constituyentes mayores y elementos traza en la materia particulada en hundimiento de la Cuenca Alfonso en las series de tiempo entre enero del 2002 y noviembre de 2005 muestran variabilidad temporal no sistemática. Los elementos de origen terrígeno tienden a presentar menores concentraciones en el inicio del verano, posiblemente a causa del cambio de la dirección del viento del noreste al suroeste y al cambio consecuente de la circulación de las aguas del Golfo de California.

2. Los resultados de aplicación del método del análisis de componentes principales demuestran que cuatro factores controlan ~59 % de la varianza de las concentraciones de los constituyentes de la MPH. Se encontraron las siguientes asociaciones entre los constituyentes principales y los elementos traza:

a) Asociación de los constituyentes principales y elementos traza en las partículas (material litogénico, Al, Cs, Fe, Mn, Sc y V, los ETR ligeros a medias La, Ce, Nd, Sm y Tb (excepto Eu)) los cuales corresponden a un tipo de aporte terrígeno de los aluminosilicatos y rocas ácidas erosionadas tales como granitos y volcánicos riolíticos;

b) Agrupación (Pb, Sb, U y los ETR pesados, Lu e Yb), presuntamente aportados por vía eólica, como otro tipo de material terrígeno generado por el intemperismo de las rocas básicas, tales como las volcánicas andesíticas que ocurren al Noroeste de la Bahía de La Paz;

c) Asociación (carbono inorgánico y orgánico, Ca, Cu y Ni) la cual refleja la productividad planctónica calcárea, con Cu y Ni incorporados en los tejidos orgánicos de los organismos planctónicos;

d) Asociación (Cd, Co, Se y Sr) relacionada con la transformación de las partículas biogénicas durante su sedimentación en la columna del agua.

3. El hierro que se considera como micronutriente para las áreas oligotróficas del Océano Pacífico Sur oriental, en el caso de la MPH de la Cuenca Alfonso está en correlación significativa con el Al y el Sc, que son indicadores de los aportes continentales, lo que indica un origen continental del hierro y que este elemento no es micronutriente limitante para la productividad primaria y la generación de materia orgánica autótrofa en esta bahía.

4. El As, Cd, Mo, Se, Sb, U y Zn muestran factores de enriquecimiento altos comparados con la corteza continental. En caso de As, Sb y Se este efecto puede explicarse por la composición específica (volcanosedimentaria y sedimentaria marina) de las rocas constituyentes la cuenca de drenaje de La Bahía de La Paz, mientras que el Cu, Cd y Zn y posiblemente están sujetos a la bioacumulación selectiva como micronutrientes por el fito y zooplancton. Los elementos redox-sensibles Mo y U presentan una posible influencia de la ZOM, estando en estados de oxidación bajos, como Mo (+4) y U (+4) los cuales tienen mayor afinidad a la fase particulada, que a la fase disuelta, generando formas autógenas particuladas de estos elementos. La ZOM puede tener cierta influencia también sobre la transferencia de los elementos calcófilos Cd, Zn y Cu en caso de la presencia del H<sub>2</sub>S en lo ZOM, lo que puede favorecer a la formación de los sulfuros insolubles de estos últimos elementos.

5. Los patrones normalizados de los contenidos de los ETR en la MPH de la Cuenca Alfonso en condiciones normales generalmente muestran una anomalía negativa de Eu y corresponden a las huellas geoquímicas regionales de los materiales continentales.

6. El bario biogénico, propuesto en otras áreas del océano como un trazador de la productividad primaria, no puede ser útil en caso de la Cuenca Alfonso debido a la proximidad de la costa y por los aportes continentales eólicos, los cuales pueden

estar enriquecidos en barita no-biogénica, por ejemplo a causa del vulcanismo antiguo y la mineralización que corresponde a estos fenómenos tectónicos.

7. El fósforo en la MPH de la Cuenca Alfonso está presentado por dos fracciones principales, el fosforo inorgánico y el fósforo orgánico.

8. Las concentraciones de los ET terrígenos en la MPH de la Cuenca Alfonso y sus flujos verticales aumentaron fuertemente durante el paso de los huracanes “Ignacio” y “Marty”. Las contribuciones de estos elementos durante 29 días del año 2003 con influencia de estos fenómenos meteorológicos son mas de la mitad de las cantidades promedio anuales, calculados para los años “normales” (2002, 2003 sin el periodo de huracanes, 2004 y 2005): Rb (83 %) = Sc (83 %) > Fe (80 %) > Cs (77 %) > La (72%) > Ce (70 %) > Tb (66 %) = Nd (66 %) > Lu (64 %) = Yb (64 %) > Sm (64 %) > V (59 %) > Mn (58 %) > Al (56 %) > As (51 %).

## 11. LITERATURA CITADA

- Aguirre Bahena, F. 2007. Cambios temporales en los componentes y flujos de la materia en hundimiento en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante el periodo 2002-2005. Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 102 p.
- Allison, M.A., A. Sheremet, M.A. Goñi & G.W.Stone. 2005. Storm layer deposition on the Mississippi-Atchafalaya subaqueous delta generated by Hurricane Lili in 2002. *Continental Shelf Res.*, 25:2213-2232.
- Anderson, R. F. 1982. Concentrations, vertical flux and remineralization of particulate uranium in seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46:1293-1299.
- Anónimo, 1996. Particle Flux in the Ocean. V. Ittekkot, P. Schäfer, S. Honjo & P.J. Depetris. (editors) Wiley and Sons, Chichester- New York –Brisbane-Toronto, Singapore. 372 p.
- Anónimo, 2006. GEOTRACES. An International Study of the Marine Biogeochemical Cycles of Trace Elements and Their Isotopes. Science Plan, International Council for science. Scientific Committee on Oceanic Research, 79 p.
- Archer, D. E. & K. S. Johnson. 2000 A model of the iron cycle in the ocean, *Global Biogeochem. Cycles*, 1: 269–279
- Aspila K.I., Agemian H. & Chau A.S., 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphite in sediments. *Analyst*, 101: 187-197.
- Balakrishnan Nair T.M., V. Ittekkot, R. Shankar & M.V.S. Guptha. 2005. Settling barium fluxes in the Arabian Sea: Critical evaluation of relationship with export production. *Deep Sea Res. Part II. Topical studies in Oceanography*, 52: 1930- 1946.
- Balakrishnan Nair T.M. 2006. Monsoon control on trace metal fluxes in the deep Arabian Sea. *J.Earth System Sci.*, 115: 461-472.
- Basilevsky, A. 1994. Statistical factor analysis and related methods: theory and applications. Wiley, New York, 750 p.

- Bates N.R., Knap, A.H. & A.F. Michaels. 1998. The effect of hurricanes on the local to global air-sea exchange of CO<sub>2</sub>. *Nature*, 395: 58-61.
- Benitez-Nelson C.R. 2000. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine sediments. *Earth-Science Reviews*. 51 (1-4), 109-135.
- Benitez-Nelson C.R., L.P.O'Neil Madden, R.M.Styles, R.C.Thunell & Y.Astor. 2007. Inorganic and organic sinking particulate phosphorus fluxes across the oxic/anoxic water column of Cariaco Basin, Venezuela. *Mar.Chem.*, 105, 90-100
- Berger, W.H. & G. Wefer. 1990. Export production: seasonality, intermittency, and paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 89: 245-254.
- Bertine K. & K. Turekian. 1973. Molybdenum in marine deposits. *Geochim.Cosmochim. Acta* 37, 1415-1434
- Biscaye P.E. & Anderson R.F. 1994. Fluxes of particulate matter on the slope of the southern Middle Atlantic Bight: SEEP'II. *Deep-Sea Res. Part 2. Topical studies in oceanography*, 41, 459-509.
- Borchers S.L., B.Schnetger, P.Böning & H.-J.Brumsack. 2005. Geochemical signatures of the Namibian diatom belt. Perennial upwelling and intermittent anoxia. *Geochemistry, Geophysics Geosystems* G3, 6 (6); Q0606. doi:10.1029/2004GC000886.
- Bourrouilh - Le Jan F.G. 1998. The role of high-energy events (hurricanes and/or tsunamis) in the sedimentation, diagenesis and karst initiation of tropical shallow water carbonate platforms and atolls. *Sedim.Geol.*, 118, 3-36.
- Bourrouilh - Le Jan F.G., C.Beck & D.Gorsline. 2007. Catastrophic events (hurricanes, tsunami and others) and their sedimentary records: Introductory notes and new concepts for shallow water deposits. *Sedim.Geol.*, 199, 1-11.
- Boyle E.A., Sclater F. & Edmond J.M. 1976. On the marine geochemistry of cadmium. *Nature*, 263, 42-44.
- Broecker, W. S. & T.-H. Peng, 1982. *Tracers in the Sea*, Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, N. Y., 690 pp.

- Böning P., H.-J.Brumsack, M.E.Böttcher, B.Schnetger, C.Kriete, J.Kallmeyer & S.L.Borchers. 2004. Geochemistry of Peruvian near-surface sediments. *Geochim.Cosmochim.Acta*, 68, 4429-4451
- Bray N.A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *J.Geophys.Res.*, 93:4993-5020.
- Broman D., Lundberg I. & C. Näf. 1994. Spatial and seasonal variations of major and trace elements in settling particulate matter in an estuarine-like archipelago area in the Northern Baltic proper. *Environ.Pollut.*, 85, 243-257.
- Bruland K.W., 1983. Trace elements in seawater. In: J.P.Riley & R.Chester, editors. *Chemical Oceanography*, vol.8. Academic Press, London, pp.157-215.
- Bruland K., G.A. Knauer & J.H. Martin. 1978. Cadmium in northwest Pacific waters. *Limnol.Oceanogr.*, 23, 618-625.
- Brumsack H.J. & J.M.Gieskies, 1983. Interstitial water trace-metal chemistry of laminated sediments from the Gulf of California, Mexico. *Mar.Chem.*, 14, 89-106.
- Buat-Menard P., C.E.Lambert, M.Arnold & R.Chesselet, 1980. *J.Radioanalyt. Nucl.Chem.*, 55, 445-452.
- Buat-Menard, P., J. Davies, E. Remoudaki, J.C. Miquel, G. Bergametti, C.E. Lambert, U. Ezat, C. Quetel, J. LaRosa & S.W. Fowler. 1989. Non-steady-state biological removal of atmospheric particles from Mediterranean surface waters. *Nature*, 340: 131-134.
- Buesseler, K., H.D. Livingston, S. Honjo, B.J. Hay, S.J. Manganini, E.T. Degens, V. Ittekkot, E. Izdar & T. Konuk. 1987. Chernobyl radionuclides in a Black Sea sediment trap: A preliminary report. *Nature*, 329, 825-828
- Buesseler K.O., H.D.Livingston, S.Honjo, B.J.Hay, T.Konuk & S.Kempe. 1990. Scavenging and particle deposition in the southwestern Black Sea-evidence from Chernobyl radiotracers. *Deep-Sea Res.*, 37, 413-430
- Calvert S. & T. Pedersen, 1993. Geochemistry of recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological records. *Marine Geology* 11, 67-88.



- Campbell A.C., J.M.Gieskes, J.E.Lupton & P.S. Lonsdale. 1988. Manganese geochemistry in the Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim.Cosmochim.Acta*, 52, 345-357.
- Canet C.; Prol-Ledesma R.M. & E.N.Shumilin. 2007. Estudio integral de la actividad hidrotermal en la cuenca de Wagner, Golfo de California (WAG-01). Muestreo y diario de actividades (16 al 29 de mayo de 2007). Reporte preliminar del crucero de B/O "El Puma". Instituto de Geofísica, Universidad Autónoma Nacional de México, México., D.F, 44 p.
- Carrquiry J.D., Sánchez A. & V.F. Camacho-Ibar. 2001. Sedimentation in the northern Gulf of California after cessation of the Colorado River discharge. *Sedim. Geol.*, 144, 37-62.
- Chang G.C., T.D.Dickey & A.J.Williams III. 2001. Sediment resuspension over a continental shelf during hurricanes Edouard and Hortense. *J.Geophys.Res.*, 101: 9517-9531.
- Chester, R. 2003. *Marine Geochemistry*. Blackwell Publishing, London, 506 p.
- Collier R., Dymond, J., Honjo, S., Manganini, S., Francois, R. & R.Dunbar. 2000. The vertical flux of biogenic and lithogenic material in the Ross Sea: moored sediment trap observations. *Deep-Sea Res. II*, 47: 3491-3520.
- Collier R. & Edmond J.M. 1984. The trace element geochemistry in marine biogenic particulate matter. *Progr. Oceanogr.*, 13: 113-199.
- Conte M.H. 2005. Will changing climate change the deep? Bermuda Biological Station Research Currents. Fall 2005, p.6-7.
- Cruz Orozco R., R.Mendoza & C.Martínez. 1990. Profundidades y formas de la Bahía de La Paz. *Geonotas I*, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.
- Cruz Orozco R., Martínez-Noriega, C. & A. Mendoza-Maravillas. 1996. Batimetría y sedimentos de Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Océanides*, 11: 21-27.
- Cullen J.T., T.W.Lane, F.M.M.Morel & R.M.Scherrell. 1999. Modification of cadmium uptake in phytoplankton by seawater CO<sub>2</sub> concentration. *Nature*, 402: 165-167.

- Cullen J.T. & Sherrell R.M. 1999. Techniques for determination of trace metals in small samples of size-fractionated particulate matter :phytoplankton metals off central California. *Mar.Chem.*, 67: 233-247.
- Danielsson A., Cato I., Carman R. & L. Rahm. 1999. Spatial clustering of metals in the sediments of the Skagerrak/Kattegat. *Appl.Geochem.*, 14: 689-706.
- Davis A. & Yan X.-H., 2004. Hurricane forcing on chlorophyll-a concentration off northeast coast of the U.S. *Geophys. Research Letts*, 31: L17304, doi:10.1029/2004GL020668
- Dean W., Pride C. & R.Thunell. 2004.Geochemical cycles in sediments deposited on the slopes of the Guaymas and Carmen Basins of the Gulf of California over the last 180 years. *Quaternary Science Review*, 23: 1817-1833.
- Dean W.E., Zheng Y., Ortiz J.D. & Van Geen A., 2006. Sediment Cd and Mo accumulation in the oxygen-minimum zone off western Baja California linked to global climate over the past 52 kyr. *Paleoceanography*, 21, PA4209, doi:10.1093/aei/kwj154,2006.
- Degens E.T., K. Khoe & W.Michaelsis.1977. Uranium anomaly in Black Sea sediments. *Nature*, 269: 566-569
- Delgadillo-Hinojosa F., J.V. Macias-Zamora, J.A. Segovia-Zavala & S. Torres-Valdes. 2001. Cadmium enrichment in the Gulf of California. *Mar. Chem.*, 75: 109–122.
- Delgadillo-Hinojosa, F., Segovia-Zavala J.A., M.A. Huerta-Díaz & H. Atilano-Silva. 2006. Influence of geochemical and physical processes on the vertical distribution of manganese in Gulf of California waters.*Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53: 1301-1319.
- Demina L.L., Shumilin Ye. N. & S.B., Tambiev. 1985. Forms taken by metals in the suspensate of Indian Ocean surface waters. *Geochemistry International*, 21: 123-134.
- Depetris P.D. 1996. River transfer of Particulate Matter To Ocean Systems. Chapter 4. In: *Particle Flux in the Ocean*. V. Ittekkot, P. Schäfer, S. Honjo & P.J. Depetris. (editors) Wiley and Sons, Chichester- New York- Brisbane-Toronto- Singapore.

- Deuser, W.G., Brewer, P.G., Jickells, T.D. & R.F. Commeau. 1983. Biological control on the removal of abiogenic particles from the surface ocean. *Science*, 219: 388-391.
- Dickey T., Frye, D., McNeil, J., Manov, D., Nelson, N., Sigurdson, D., Jannasch, H., Siegel, D., Michaels A. & R. Johnson. 1998. Upper ocean temperature response to Hurricane Felix as measured by the Bermuda Testbed Mooring. *Monthly Weather Review*, 126: 1195-1201.
- Douglas R., O.Gonzalez-Yajimovich, J.Ledesma-Vazques & F.Stainess-Urias. 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Reviews*, 26: 115-129.
- Duce, R.A. & N.W. Tindale. 1991. Atmospheric transport of iron and its deposition in the ocean. *Limnology and Oceanography*, 36: 1715-1726.
- Dymond, J. & R. Collier, 1988. Biogenic particle fluxes in the equatorial Pacific: Evidence for both high and low productivity during the 1982-1983 El Nino. *Global Biogeochemical Cycles*, 2: 129-137.
- Dymond J. & S. Ross, 1988. Plume dispersal hydrothermal particles: a time-series record of settling flux from the Endeavour Ridge using moored sensors. *Geochim.Cosmochim.Acta*, 52: 2525-2536.
- Esser B. K. & A. M. Volpe. 2002. At-sea high-resolution chemical mapping: extreme barium depletion in North Pacific surface water. *Marine Chemistry*, 79: 67-79.
- Falkowski, P. G., Katz, M. E., Knoll, A. H., Quigg, A., Raven, J. A., Schofield, O. & F. J. R., Taylor. 2004. The evolution of moderneukaryotic phytoplankton. *Science*, 305: 354–360.
- Fang T.-H., J.-S. Hwang, S.-H. Hsiao & H.-Y. Chen , 2006. Trace metals in seawater and copepods in the ocean outfall area off the northern Taiwan coast. *Mar.Environ.Res.*, 61, 224-246.
- Farfán L.M. & M. Cortez. 2005. An observational and modeling analysis of the landfall of hurricane Marty (2003) in Baja California, Mexico. *American Meterological Society Monthly Weather Review*, 133: 2060-2090.

- Faul K., Paytan A. & M.L. Delaney. 2005. Phosphorus distribution in sinking particulate matter. *Mar. Chem.*, 97: 307-333.
- Feely R.A., G. J. Massoth, E. T. Baker, J. F. Gendron, A.J. Paulson & E. A. Crecelius. 1986. Seasonal and vertical variations in the elemental composition of suspended and settling particulate matter in Puget Sound, Washington. *Estuar.Coast.Shelf Sci.*, 22: 215-239.
- Fleet A.J. 1983. Hydrothermal and hydrogeneous ferro-manganese deposits: do they form a continuum? The rare earth element evidence. Pp. 536-555 In: Rona P.A., Bostrom K., Laubier L. & Ke.L.Smith, Jr. Hydrothermal processes at seafloor spreading centers. Plenum Press, New York - London.
- Fowler S.W. & Knauer G.A. 1986. Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. *Progr. Oceanogr.*, 16, 147-194.
- François R., S.Honjo, S.Manganini & S.Ravizza. 1995. Bio-Ba fluxes to deep sea: implications for paleoproductivity reconstructions. *Global Biogeochem.Cycles*, 9: 298-303.
- Froelich P.N., Klinkhammer G.P., Bender M.L., Luedtke N.A., Heath G.R., Cullen D., Dauphin P., Hammond D., Hartman B. & Y.Maynard. 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic.: Suboxic diagenesis. *Geochim.Cosmochim.Acta*, 43: 1075-1090.
- Gaye-Haake B., Unger D., Nöthig E.-M., Okolodkov Yu., Fahl K. & V.Ittekkot. 2003. Particle fluxes from short-term sediment trap deployments in late summer in the southern Kara Sea. Pp. 309-328 In: Siberian River Run-off in the Kara Sea. R. Stein, K. Fahl, D.K. Fütterer, E.M. Galimov & O.V. Stepanets (Editors). Elsevier Science B.V.
- Giani M., A. Boldrin, G. Matteucci, F. Frascari, M. Gismondi & S. Rabitti. 2001. Downward fluxes of particulate carbon, nitrogen and phosphorus in the north-western Adriatic Sea. *Sci Tot.Environ.*, 266:125-134.
- Goldberg E.D. 1954. Marine geochemistry: Chemical scavenging in the sea. *J.Geol.*, 62: 249-265.

- González-Yajimovich O.E. 2004. Holocene sedimentation in the Southern Gulf of California and its climatic implications. Ph.D. Theses, University of Southern California, Los Angeles, CA, 155 p.
- Gonzalez-Yajimovich O.E., D.S. Gorsline & R.G. Douglas. 2007. Frequency and sources of basin floor turbidites in Alfonso Basin, Gulf of California: Products of slope failures. *Sedim. Geol.*, 199: 91-105.
- Goñi M.A., H.L. Aceves, R.C. Thunell, E. Tappa, D. Black, Y. Astor, R.Varela & F. Muller-Karger. 2003. Biogenic fluxes in the Cariaco Basin: a combined study of sinking particulates and underlying sediments. *Deep Sea Res. Part I*, 50: 781-807.
- Gorsline D.S., T. De Diego & E.H. Nava-Sanchez. 2000. Seismically triggered turbidites in small margin basins: Alfonso Basin, Western Gulf of California and Santa Monica Basin, California Borderland. *Sedim. Geol.*, 135: 21-35.
- Greaves M.J., H Elderfield & E.R Sholkovitz, 1999. Aeolian sources of rare earth elements to the Western Pacific Ocean. *Mar.Chem.*, 68: 31-38.
- Green Ruíz, C. 2000. Geoquímica de metales pesados (concentración, distribución y biodisponibilidad potencial) y mineralogía de la fracción arcillosa en los sedimentos de cuatro puertos del Golfo de California. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, 304 p.
- Grousset F.E., Quétel C.R., Thomas B., Donard O.F.X., Lambert C.E., Guillard F. & A., Monaco. 1995. Anthropogenic vs. lithogenic origins of trace elements (As, Cd, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Zn) in water column particles: northwestern Mediterranean Sea. *Mar. Chem.*, 48:291-310.
- Haake, B., V. Ittekkot, T. Rixen, V. Ramaswamy, R.R. Nair & W.B. Curry. 1993. Seasonality and interannual variability of particle fluxes to the deep Arabian Sea. *Deep-Sea Research I*, 40: 1323-1344
- Helmers E. 1996. Trace metals in suspended particulate matter of Atlantic Ocean surface water (40°N to 20°S). *Mar.Chem.*, 53: 51-67.
- Herguera J.C., G. Bernal Franco & A. Molina-Cruz. 2003. Decadal surface ocean variability in the lower Gulf of California: Records from the past 300 years. *Geofísica Internat.*, 42: 397-406.

- Ho T.-Y. 2007. GEOTRACES related activities in Taiwan. Pacific Basin planning workshop, June 26-29, 2007, University of Hawaii, Honolulu, USA ([http://www.scor-int.org/GEOTRACES\\_Pacific.htm](http://www.scor-int.org/GEOTRACES_Pacific.htm))
- Honda M.C., Imai K., Y. Nojiri, F. Hoshi, T. Sugawara & M. Kusakabe 2002. The biological pump in the northwestern North Pacific based on fluxes and major components of particulate matter obtained by sediment-trap experiments (1997–2000). *Deep Sea Res. Part II: Topical studies in Oceanography*, 49: 5595-5625.
- Honjo S. 1996. Fluxes of particles to the interior of the open ocean. Pp. 91-154 In: *Particle Flux in the Ocean*. SCOPE . Vol. 57. V. Ittekkot, P. Schäfer, S. Honjo, P.J. Depetris. (editors) Wiley and Sons, New York
- Honjo, S. & S.J. Manganini. 1993. Annual biogenic particle fluxes to the interior of the North Atlantic Ocean; studied at 34°N 21°W and 48°N 21°W. *Deep-Sea Research I*, 40: 587-607.
- Hsu S. C., Kao S.-J. & W. L. Jeng. 2006. Quantitative links between fluvial sediment discharge, trapped terrigenous flux and sediment accumulation, and implications for temporal and spatial distribution of sediment fluxes. *Deep Sea Res. Part I*, 53: 241-252.
- Hsu S. C., Lin F.-J., W.L. Jeng, Chung Y.C., Shaw L.M. & K.W. Hung K.W. 2004. Observed sediment fluxes in the southwestern Okinawa Trough enhanced by episodic events: flood runoff from Taiwan rivers and large earthquakes- *Deep Sea Res. I*, 51: (1154): 979-995.
- Itou M., Matsumura I. & Noriki S. 2000. A large flux of particulate matter in the deep Japan Trench observed just after the 1994 Sanriki-Oki earthquake. *Deep-Sea Res. I*, 47: 1897-1998.
- Ittekkot V., R.R.Nair, S.Honjo, V.Ramaswami, M.Bartsch, S.Manganini & B.N.Desai. 1991. Enhanced particle fluxes in Bay of Bengal induced by injection of fresh water. *Nature*, 351: 385-387.

- Jeandel C., K.Tachikawa & F.Dehairs. 2000. Biogenic barium in suspended and trapped material as a tracer of export production in the tropical NE Atlantic (EUMELI sites). *Mar. Chem.*, 71: 125-142.
- Jickells, T.D., P.P. Newton, P. King, R.S. Lampitt & C. Boutle. 1996. Comparison of sediment trap records of particle fluxes from 19° to 48°N in the northeast Atlantic and their relation to surface water productivity. *Deep Sea Research I*, 43: 971-986
- Jimenes Illescas A.R., M.Obeso Nieblas, M.A. Alatorre Mendieta, S.Troyo Diéguez & H.García Escobar. 1994. Hidrología de La Bahía De La Paz. *Oceanología*, 1(2): 115-131.
- Jiménez-Illescas A.R., M.Obeso-Nieblas & D.A. Salas – De Leon. 1997. Oceanografía física de la Bahía de La Paz, pp.31-41. En: Urbán Ramírez J. y M.Ramírez Rodríguez (Editores). *La Bahía de La Paz. Investigación y conservación*. UABCS, CICIMAR y Scripps Oceanographic Institution, La Paz, B.C.S., México.
- Keen T. & S.M.Glenn. 2002. Predicting bed scour on the continental shelf during Hurricane Andrew. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 128:249-257.
- Krauskopf K.B., 1956. Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in sea-water. *Geochim.Cosmochim.Acta*, 9: 1-32.
- Kremling, K. & P. Streu. 1993. Saharan dust influenced trace element fluxes in deep North Atlantic subtropical waters. *Deep-Sea Research I*, 40 (6): 1155-1168.
- Kuss J. & K.Kremling. 1999a. Particle trace element fluxes in the deep northeast Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res., Part I*, 46: 149-169.
- Kuss J. & K. Kremling.1999b. Spatial variability of particle associated trace elements in near-surface waters of the North Atlantic (30°N/60°W to 60 °N/2°W), derived by large volume sampling. *Mar.Chem*, 68: 71-86.
- Lacan F., R.Francois, Y.Ji & R.M.Scherrell: 2006. Cadmium isotopic composition in the ocean. *Geochim.Cosmochim.Acta*, 70: 5104-5118.

- Landing W.M. & K.W. Bruland. 1987. The contrasting biogeochemistry of iron and manganese in the Pacific Ocean. *Geochim Cosmochim. Acta*, 51:29-43.
- Lerche D. & Y.Nozaki. 1998. Rare earth elements of sinking particulate matter in the Japan Trench. *Earth Planet Sci. Lett.*, 159: 71-86.
- Li T., T.Masuzawa & H. Kitagawa. 2004. Seasonal variations in settling fluxes of major components in the oligotrophic Shikoku Basin, the western North Pacific: coincidence of high biogenic flux with Asian dust supply in spring. *Mar. Chem.*, 91: 187-210.
- Libes S.M. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley & Sons, New York, 734 p.
- Lisitsin A.P. 1996. *Oceanic sedimentation*. AGU, Washington, 357 p.
- Loring D.H 1991. Normalisation of heavy metal data from estuaries and coastal sediments. *ICES J. Marine Science*, 48: 101-115.
- Maeda N., Noriki S. & H.Narita. 2007. Grain size, La/Yb and Th/Sc of settling particles in the western North Pacific: evidence for lateral transport of small Asian loess. *J. Oceanogr.*, 63: 803-812
- Malone T.C., Pike S.E. & D.J.Conley.1993. Transient variations in phytoplankton productivity at the JGOFS Bermuda time series station. *Deep-Sea Res. I*, 40: 903-924.
- Martin, J.H. & R.M. Gordon. 1988. Northeast Pacific iron distribution in relation to phytoplankton productivity. *Deep Sea Research*, 34: 177-196.
- Martin J.H. & Knauer G.A. 1973. The elemental composition of plankton. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37: 1639-1653.
- Matthai C., G.F.Birch & G.P. Bickford. 2002. Anthropogenic trace metals in sediment and settling particulate matter on a high-energy continental shelf (Sydney, Australia). *Mar. Environ.Res.*, 54: 99-127.
- McCarty, G. M. & J. C. Goldman. 1979. Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient-depleted waters. *Science*, 203: 670-672.



- McManus J., W. M. Berelson, S. Severmann, R. L. Poulson, D. E. Hammond, G.P. Klinkhammer & C. Holm. 2006. Molybdenum and uranium geochemistry in continental margin sediments: Paleoproxy potential. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70: 4643-4662.
- Millero, F., 1996. *Chemical Oceanography*, CRC Press, Boca Raton, FL, 469 p.
- Molina-Cruz A., L. Pérez-Cruz & M.A. Monreal-Gómez. 2002. Laminated sediments in the Bay of La Paz, Gulf of California: a depositional cycle regulated by pluvial flux. *Sedimentology*. 49:1401-1410.
- Monreal-Gómez M.A., Molina-Cruz A. & D.A. Salas-de-León. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *J. Mar. Systems*, 30: 305-315
- Moore W.S. & J. Dymond. 1991. Fluxes of  $^{226}\text{Ra}$  and barium in the Pacific Ocean: the importance of boundary processes. *Earth Planet. Sci. Letters*, 107:55-68.
- Morel F.M.M. & N.M. Price. 2003. The biogeochemical cycles of trace metals in the oceans. *Science*, 300: 944-947.
- Morel F.M.M., Milligan A.J. & M.A. Saito. 2003. Marine bioinorganic chemistry: The role of trace metals in the oceanic cycles of major nutrients. Pp. 113-143. In: *The Oceans and Marine Geochemistry. Treatise on Geochemistry* (Elderfield H.-editor), Elsevier, Oxford.
- Mulder T. & P. Cochonat. 1996. Classification of offshore mass movements. *J. Sedimentary Research*, 66: 43-57.
- Murphy K. & J. Dymond. 1984. Rare earth element fluxes and geochemical budget in the eastern equatorial Pacific. *Nature*, 307: 444-447.
- Murray, J.W., R.T. Barber, M.R. Roman, M.P. Bacon & R.A. Feely. 1994. Physical and biological controls on carbon cycling in the Equatorial Pacific. *Science*, 266: 58-65
- Nair R.R., Ittekkot V., S.J. Manganini, V. Ramaswami, B. Haake, E.T. Degens, B.N. Desai & S. Honjo. 1989. Increased particle fluxes to the deep ocean related to monsoons. *Nature*, 338: 749-751.

- Nameroff T.J.. 1996. Suboxic Trace Metal Geochemistry and Paleorecord in Continental Margin Sediments of Eastern Tropical North Pacific. Ph.D. thesis, University of Washington, Seattle, 189 p.
- Nameroff T.J., Balistrieri L.S. & J. W. Murray. 2002. Suboxic trace metal geochemistry in the eastern tropical North Pacific. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66: 1139-1158.
- Nava-Sánchez E.H. 1997. Modern fan deltas of the west coast of the Gulf of California, Mexico. Ph.D. Dissertation, University of Southern California, Los Angeles, USA, 270 p.
- Nava-Sánchez E.H., D.S. Gorsline & A. Molina-Cruz. 2001. The Baja California Península Borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sedimentary Geology*, 144: 63-81.
- Noriki, S. & S. Tsunogai. 1986. Particulate fluxes and major components of settling particles from sediment trap experiments in the Pacific Ocean, *Deep-Sea Research*, 33: 903-912.
- Nozaki Y. 1997. A fresh look at element distribution in the North Pacific. EOS, Transactions, American Geophysical Union. Electronic Supplement ([http://www.agu.org/eos\\_elec/97025e.html](http://www.agu.org/eos_elec/97025e.html)), posted 27 May 1997.
- Obeso Nieblas M., J.H. Gaviño Rodríguez, A.R. Jiménez Illescas & B. Shirasago German. 2002. Simulación numérica de la circulación por marea y viento del noroeste y sur en la Bahía de La Paz. *Oceánides*, 17(1): 1-12
- Obeso-Nieblas M., Shirasago B., Sánchez-Velasco L. & J.H. Gaviño-Rodríguez, 2004. Hydrographic variability in Bahía de La Paz, B.C.S., Mexico during the 1997-1998 El Niño. *Deep-Sea Research II*, 51: 689-710.
- Otero X.L., Huerte-Díaz M.A. & F. Macías. 2003. Influence of a turbidite deposit on the extent of pyritization of iron, manganese and trace metals in the sediments from the Guaymas Basin, Gulf of California (Mexico). *Appl. Geochem.*, 18: 1149-1163.

- Otosaka S. & Noriki S. 2000. REEs and Mn/Al ratio of settling particles: horizontal transport of particulate material in the northern Japan Trench. *Mar. Chem.* 72: 329-342
- Otosaka S., Togawa O., Baba M., Karasev E., Volkov Yu. N., Omata N. & S.Noriki. 2004. Lithogenic flux in the Japan Sea measured with sediment traps. *Mar. Chem.* 91: 143-163.
- Palanques A., El Khatab M., Puig P., Masqué P., J.A. Sánchez-Cabeza & E. Isla. 2005. Downward particle fluxes in the Gudiaro submarine canyon depositional system (north-western Alboran Sea), a river flood dominated system. *Mar. Geol.*, 220: 23-40
- Pérez-Cruz L. 2006. Climate and ocean variability during the middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. *Quaternary Res.*, 65: 401-410.
- Piper D.Z. 1991. Geochemistry of a Tertiary sedimentary phosphate deposit: Baja California Sur, Mexico. *Chem. Geol.*, 92: 283-316.
- Piper D.Z. 1994. Seawater as the source of minor elements in black shales, phosphorites and other sedimentary rocks. *Chem. Geol.*, 114: 95-114.
- Pohl C., A. Löffler & U. Hennings. 2004. A sediment trap flux study for trace metals under seasonal aspects in the stratified Baltic Sea (Gotland Basin, 57°19.20' N; 20°03.00' E). *Mar. Chem.*, 84: 143-160.
- Price N.M. & F.M. Morel. 1990. Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom. *Nature*, 344: 658-660.
- Puig P., A. Palanques, J.A. Sanchez-Cabeza & P. Masqué 1999. Heavy metals in particulate matter and sediments in the southern Barcelona sedimentation system (North-western Mediterranean). *Mar. Chem.*, 63: 311-329.
- Ratmeyer V., Balzer W., Bergametti G., Chiapello I., Fischer G. & U. Wyputta. 1999. Seasonal impact of mineral dust on deep-ocean particle flux in the eastern subtropical Atlantic Ocean. *Mar. Geol.* 199(1192): 241-252.

- Reyes Salinas A., 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, B.C.S. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, México, 122 p.
- Reyes Salinas A., R.Cervantes Duarte, R.A.Morales Pérez & J.E. Valdéz Holguíñ, 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, B.C.S. *Hidrobiológica*, 13: 103-110.
- Riley J.P & R. Chester. 1971. *Introduction to Marine Chemistry*. Academic Press, London & New York, 465 p.
- Rodríguez Castañeda A.P. 2002. Elementos mayores y traza en sedimentos y macroalgas de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, CICIMAR- IPN, La Paz, 135 p.
- Rodríguez Meza G.1999. Caracterización geoquímica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la Península de Baja California. Tesis doctoral, CICIMAR-IPN. México, 279 p.
- Romero Bañuelos C.A. 2003. Hidrología y metales pesados en la materia particulada suspendida del agua superficial de la porción sur de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, México, 100 p.
- Rosenthal, Y., E. Boyle, L. Labeyrie & D. Oppo.1995. Glacial enrichments of authigenic Cd and U in Subantarctic sediments: A climatic control on the elements oceanic budget. *Paleoceanography*, 10: 395-413.
- Sager W.W., Schroeder W.W., Kennicutt II M.C., Walsh I. D., Kelly F.J., Guinasso N.L., Jr, Hardin D.D., Spring K.D., Viada S.T. , Hart A.D., Graham B.D., Snyder D.B., Peccini M.B. Holmberg T.J., Montagna P.A., Phillips N.W. & D.A.Gettleson. 2001. Mississippi/Alabama Pinnacle Trend Ecosystem Monitoring, Final Synthesis Report Technical Summary: MMS Publication 2001-080. U.S. Department of the Interior Minerals Management Service, Public Information Office, New Orleans, Louisiana, 128 p.

- Salinas González F., 2000. Mezcla turbulenta y transporte de masa en la Bahía de La Paz, B.C.S.: Experimentación y modelación numérica. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, México, 260 p.
- Salinas-González F., Zaytsev O. & V. Makarov. 2003. Formación of the thermohaline structure of water in the Bahía de La Paz from summer to autumn. *Cienc. Mar.*, 29: 51-65.
- Salomons W. & U. Förstner.1984. *Metals in the Hydrocycle*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York, USA. 485 p.
- Sánchez-Velasco L., Beier E., Avalos-García C. & M.F. Lavín 2006. Larval fish assemblages and geostrophic circulation in Bahía de La Paz and surrounding southwestern region of the Gulf of California. *J. Plankton Res.*, 28: 1-18.
- Sánchez-Velasco L., S.P.A. Jiménez-Rosenberg, B. Shirasago & M. Obeso-Nieblas. 2004. Distribution and abundance of fish larvae in Bahia De La Paz (Gulf of California) and their relation to hydrographic variability during summer (1997-1998). *Deep-Sea Research II*, 51: 723-737.
- Sanchez-Vidal A., R.W. Collier, A. Calafat, J. Fabres & M. Canals. 2005. Particulate barium fluxes on the continental margin: a study from the Alboran Sea (Western Mediterranean). *Mar. Chem.*, 93: 105-117.
- Santschi P.H. 1984. Particle flux and the metal residence time in natural waters. *Limnol. Oceanogr.*, 29: 1100-1108
- Santschi P.H., D. Adler & M. Amdurer. 1983. The fate of particles and particle-reactive trace metals in sea water. Pp. 331-350 In: *Trace Metals in Sea Water* (C.S.Wong, E.Boyle, K.Bruland, J.D.Burton and E.D.Goldberg- editors), Plenum Press, London.
- Sarnthein, M., Winn, K., Duplessy, J.C. & M.R Fontugne. 1988. Global variations of surface ocean productivity in low and mid latitudes: influence on CO<sub>2</sub> reservoirs of the deep ocean and atmosphere during the last 21,000 years. *Paleoceanography*, 3: 361–399
- Schlesinger, W.H. 1997. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*, Academic Press, San Diego, 279 p.

- Segovia-Zavala J. A., Delgadillo-Hinojosa F. & S. Álvarez-Borrego. 1998. Cadmium in the coastal upwelling area adjacent to the California-Mexico border. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 46: 475-481.
- Sherrell R.M..1989.Trace metal geochemistry of suspended oceanic particulate matter. Doctoral Theses, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 216 p.
- Sherrell R.M. & A. Simonet. 2004. The trace element fingerprint of phytoplankton in ocean particulate matter: positive ID or smudged residue. American Geophysical Union, Fall Meeting 2004, abstract #OS51D-07
- Sholkovitz E.R. & P.N. Sedwick. 2006. Open-ocean deployment of a buoy-mounted aerosol sampler on the Bermuda Testbed Mooring: Aerosol iron and sea salt over the Sargasso. *Deep Sea Res., Part I*, 53: 547-560.
- Shumilin, E., F. Páez-Osuna, C. Green-Ruíz, D. Sapozhnikov, G. D. Rodríguez-Meza & L. Gódinez-Orta. 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments from La Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Mar. Pollut. Bull.*, 42(3): 174-178.
- Shumilin E.N., Kalmykov St., Sapozhnikov D., Nava-Sánchez E., Gorsline D., Godínez-Orta L., Sapozhnikov Yu., Holguin Quiñones O. & A. Rodríguez Castañeda. 2000. Major and trace element accumulation in coastal sediments along southeastern Baja California studied by instrumental neutron activation analysis and  $^{210}\text{Pb}$  dating. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 246: 533-541
- Shumilin E.N., J.D. Carriquiry, V.F. Camacho-Ibar, D. Sapozhnikov, S. Kalmykov, A. Sanchez, S. Aguíñiga-García & Y.A. Sapozhnikov. 2002. Spatial and vertical distributions of elements in sediments of the Colorado River delta and Upper Gulf of California. *Mar.Chem.*, 79:113-131.
- Silverberg N., Aguirre F., Aguíñiga S. & Romero N., 2006. Vertical flux of particulate matter in Alfonso Basin, La Paz Bay, during 2002. *Ciencias Marinas*, 31 (A): 1-10.
- Silverberg N., A. Martínez, S. Aguíñiga, J.D. Carriquiry, N. Romero, E. Shumilin & S. Cota. 2004. Contrasts in sedimentation flux below the southern California

Current in late 1996 and during the El Niño event of 1997-1998. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 59: 575-587.

Silverberg N., Shumilin E., Aguirre Bahena F., Rodríguez Castañeda A.P. & D. Sapozhikov. 2007. The impact of hurricanes on sedimenting particulate matter in the semiarid Bahía de La Paz, Gulf of California. *Continental Shelf Res.*, 27: 2513-2522

Spencer D.W., P.G Brewer, A. Fleer, S. Honjo, S. Krishnaswami & Y. Nozaki. 1978. Chemical fluxes from a sediment trap experiment in the deep Sargasso Sea. *J. Mar. Res.*, 36: 493-523.

Sunda W.G. & S.A. Huntsman. 2000. Effect of Zn, Mn, and Fe on Cd accumulation in phytoplankton: implications for oceanic Cd cycling. *Limnol. Oceanogr.*, 45: 1501-1516.

Tachikawa K., C. Jeandel & B. Dupré. 1997. Distribution of rare earth elements and neodymium isotopes in settling particulate material of the tropical Atlantic Ocean (EUMELI site). *Deep Sea Res. Part I*, 44: 1769-1792

Tambiev S.B. & L.L. Demina. 1992. Biogeochemistry and fluxes of manganese and some other metals in regions of hydrothermal activities (Axial Mountain, Juan de Fuca Ridge and Guaymas Basin, Gulf of California). *Deep-Sea Res.*, Part A., 39: 687-703.

Taylor, S. R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 1273-1285.

Taylor, S.R. & S.M. McLennan, 1985. *The continental crust: Its composition and evolution*. Blackwell Scientific Pub., USA.

Thunell, R.C. 1998a. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Research I*, 45: 2059-2083.

Thunell, R.C. 1998b. Particle fluxes in a coastal upwelling zone: sediment trap results from Santa Barbara Basin, California. *Deep-Sea Research II*, 45:1863-1884

- Trasviña A., Ortiz-Figueroa M., Herrera H., Cosío M.A. & E.González. 2003. "Santa Ana" winds and upwelling filaments off Northern Baja California. *Dynamics, Atmospheres and Oceans*, 37: 113-129.
- Treude T., J.Niggemann, J.Kallmeyer, P.Wintersteller, C.J.Schubert, A.Boetius & B.B. Jørgenson. 2005. Anaerobic oxidation of methane and sulfate reduction along the Chilean continental margin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69: 2767-2779.
- Turekian K.K. 1977. The fate of metals in the oceans. *Geochim.Cosmochim. Acta*, 41: 1139-1144.
- Valdés J. & L.Ortlieb. 2001. Paleoxigenación subsuperficial de la columna del agua en la Bahía Mejillones del Sur (23° S): Indicadores geoquímicas en testigos de sedimento marino. *Invest. Mar. (Valparaíso, Chile)*, 29, no.1, en línea.
- Valdés J., Vargas G., Sifeddine A., Ortlieb L. & M.Guiñez. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23° S), Northern Chile:Geochemical and statistical approach. *Mar. Pollut. Bull.*, 50: 1558-1568.
- Van der Weijden C.H., G.-J. Reichart & B.J.H. van Os, 2006. Sedimentary trace element records over the last 200 kyr from within and below the northern Arabian Sea oxygen minimum zone. *Mar. Geol.*, 231: 69-88
- Van Geen, A., D. McCorkle & G. Klinkhammer. 1995. Sensitivity of the phosphate-cadmium-carbon isotope relation in the ocean to cadmium removal by suboxic sediments. *Paleoceanography*, 10(2): 159-169.
- Van Geen, A. & M. Husby. 1996. Cadmium in the California Current system: A tracer of past and present upwelling. *J. Geophys. Res.*, 101: 3489–3507.
- Veeh, H.H. 1967. Deposition of uranium from the ocean. *Earth and Planetary Science Letts* 3: 145–150.
- Verdugo Díaz G., 2004. Respuesta ecofisiológica del fitoplancton ante la variabilidad ambiental en una bahía subtropical de Baja California Sur, México. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, México, 138 p.



- Villaseñor-Casales A. 1979. Distribución vertical de temperatura, salinidad, y oxígeno disuelto en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, durante la primavera de 1976. *CalCOFI Rep.*, 20: 144-147
- Walker N.D., Leben R.R. & S. Balasubramanian. 2005. Hurricane-forced upwelling and chlorophyll *a* enhancement within cold-core cyclones in the Gulf of Mexico. *Geophys. Research Letts.*, 32: 1-5.
- Wangersky P. 1986. Biological control of trace metal residence time and speciation: a review and synthesis. *Mar. Chem.*, 18: 269-297.
- Weber J., Conte M.H., Huang S., Dickey T. & Acker J. 2006. Advection of detrital carbonate sediment to the deep ocean by passage of Hurricane Fabian over Bermuda. *EOS Trans. AGU*, 87 (36), *Ocean Sci. Meet Suppl.*, Abstract
- Wefer, G. 1989. Particle flux in the ocean: Effects of episodic production. In: *Productivity of the oceans: Present and Past*, edited by W.H. Berger, V.S. Smetacek, and G. Wefer, pp. 139-153, John Wiley and Sons Ltd.
- Wefer G. & G. Fischer. 1993. Seasonal patterns of vertical particle flux in equatorial and coastal upwelling areas of the eastern Atlantic. *Deep-Sea Research I*, 40: 1613-1645.
- Weinstein S.E. & S. Bradley. 2004. Distribution of size-fractionated particulate trace metals collected by bottles and in-situ pumps in the Gulf of Maine-Scotian Shelf and Labrador Sea. *Mar. Chem.*, 87: 121-135.
- Westerlund S. & P. Öhman. 1991. Cadmium, copper, cobalt, nickel, lead, and zinc in the water column of the Weddell Sea, Antarctica. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 2127-2146.
- Windom H.L., 1969. Atmospheric dust records in permanent snowfields: Implications to marine sedimentation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 80: 761-782.
- Windom H.L., S.J. Schropp, F.D. Calder, J.D. Ryan, R.G. Smith, Jr., L.C. Burney, F.G. Lewis & C.H. Rawlinson. 1989. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the Southeastern United States. *Environ. Sci. Technol.* 23: 314-320.

- Wong C.S., F.A. Whitney, D.W. Crawford, K. Iseki, R.J. Matear, W.K. Johnson, J.S. Page & D. Timothy. 1999. Seasonal and interannual variability in particle fluxes of carbon, nitrogen and silicon from time series of sediment traps at Ocean Station P, 1982-1993: relationship to changes in subarctic primary productivity. *Deep-Sea Research II*, 46: 2735-2760
- Wyrki K. 1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanogr. Limnol.*, 1: 117-147.
- Yamada M. & J. Zheng. 2007.  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{230}\text{Th}$  in settling particles in the western Northwest Pacific Ocean: Particle flux and scavenging. *Contin. Shelf Res.*, 27: 1629-1642
- Zedler S.E., Dickey, T.D., Doney, S.C., Price, J.F., Yu, X. & Mellor, G.L. 2002. Analysis and simulation of the upper ocean's response to Hurricane Felix at the Bermuda Testbed Mooring Site: August 13-23, 1995. *J. Geophys. Res.*, 107: 3232, doi: 10.1029/2001JC000969
- Zeitschel B., 1970. The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Mar. Biol.*, 7: 305-318
- Zheng Y., R.F. Anderson, A. Van Geen & M.Q. Fleisher, 2002. Preservation of particulate non-lithogenic uranium in marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66: 3085-3092.
- Ziveri P. & R.C. Thunell. 2000. Coccolithophore export production in Guaymas basin, Gulf of California: response to climate forcing. *Deep-Sea Res. II*, 47: 2073-2100

## 12 ANEXOS

**Anexo 1.** Contenido de Sc, Fe, Ca, Co, Ba, Cr, Cs, Rb y As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002-2005

Muestra	Fechas	Sc	Fe	Ca	Co	Ba	Cr	Cs	Rb	As
I-1	18-25 Enero de 2002	5.5	14510	29496	5.4	314	26	4	55	3.461
I-2	26 Ene-02 Febrero	6.5	18000	31500	8.0	235	34	7	26	7.220
I-3	03-10 Febrero	6.2	16606	37442	6.4	384	24	5	71	6.272
I-4	11-17 Febrero	9.4	25392	37057	7.8	369	36	4		7.569
I-5	18-24 Febrero	7.1	18400	28400	6.8	210	32	5		9.660
I-6	25 Feb-03 Marzo	6.4	16416	42202	4.7	364	38	9	70	5.678
I-7	04-10 Marzo	5.7	13874	33116	6.1	192	22	4	52	1.306
I-8	11-17 Marzo	6.5	19200	36900	8.9	295	44	6	80	15.400
I-9	18-24 Marzo	9.7	24600	16700	2.4	785	53	3		16.900
I-10	25-30 Marzo	8.5	23392	47156	11.0	328	60	4	51	
I-11	01-07 Abril	8.3	22868	65902	4.3	270	61	6	69	19.126
I-12	08-14 Abril	8.5	17700	47770	10.4	548	33	8	30	9.936
II-1	18-24 Abril	5.2	13976	27851	6.0	2147	26	3	38	8.233
II-2	25 Abr-01 Mayo	7.0	20171	38875	9.1	990	43	5		9.792
II-3	02-08 Mayo	5.8	16035	17639	6.8	346	14	7	81	1.694
II-4	09-15 Mayo	6.6	16559	26515	7.3	293	41	2	52	6.802
II-5	16-22 Mayo	8.8	23515	49631	10.6	468	43	8	107	2.341
II-6	23-9 Mayo	7.3	20743	41161	7.8	416	38	13	74	2.355
II-7	30 May-06 Junio	8.1	18537	66001	8.1	906	48	11	104	2.984
II-8	07-14 Junio	6.7	18908	46669	8.6	1038	40	9	38	2.678
II-9	15-22 Junio	3.1	7519	19911	1.3	383	19	0		11.835
II-10	23-30 Junio	0.3	2321	115685	5.9		50	4	85	47.507
II-11	01-08 Julio	0.1	957	10060	9.9		5	0	24	29.199
II-12	09-16 Julio	0.3	549	21180		288	6			15.741
III-2	15-22 Agosto	6.6	24487	28127	9.9	213	32	5	18	12.124
III-3	23-30 Agosto	7.0	25068	22417	7.7	87	39	7	40	13.583
III-4	31 Ago-06 Septiembre	8.0	26747	20600	7.8	383	37	6	22	17.472
III-5	07-13 Septiembre	8.6	28077	32042	9.3	236	45	10	51	0.943
III-6	14-20 Septiembre	8.4	25270	29846	8.6	407	42	9	73	12.411
III-7	21-27 Septiembre	8.6	23186	25853	9.7	200	41	7	34	12.773
III-8	28 Sep-04 Octubre	8.5	22041	28913	8.8	489	27	7	33	4.047
III-9	05-11 Octubre	8.9	24700	32400	9.0	100	3	4	52	17.000
III-10	12-18 Octubre	9.1	23990	31218	10.8	231	50	7	87	12.045
III-11	19-25 Octubre	9.4	27695	35877	10.2	425	56	11	154	13.113
III-12	26 Oct-01 Noviembre	9.5	29216	24484	9.1	468	53	11	51	24.895
IV-1	02-08 Noviembre	6.3	15450	49100	5.9	220	22	4	19	23.200
IV-2	09-15 Noviembre	7.9	19900	41850	7.1	375	35	5	37	5.510
IV-3	16-22 Noviembre	7.4	17085	46898	5.0	121	25	3	17	3.714
IV-4	23-29 Noviembre	5.6	14083	45518	5.7	146	27	4	26	
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	4.7	11017	44900	6.9	292	23	4	6	
IV-6	07-14 Diciembre	6.9	17211	53875	5.9	151	36	6	17	14.105
IV-7	15-22 Diciembre	7.5	19165	41267	7.5	248	30	6	31	11.016
IV-8	23-30 Diciembre	7.0	16501	41854	6.1	146	37	6	27	14.563
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	5.4	13057	40557	4.8	384	31	5	27	6.129

IV-10	08 Ene-23 Febrero	5.4	13682	42786	5.5	195	27	5	25	
V-1	25 Feb-10 Marzo	6.2	15550	81300	6.4	258	25	3	40	9.755
V-2	11-24 Marzo	6.2	16000	91400	6.2	170	32	5	38	2.610
V-3	25 Mar-07 Abril	6.8	17158	78031	5.8	259	28	3	27	18.699
V-4	08-21 Abril	7.0	17595	54574	8.2	179	23	3	19	9.053
V-5	22 Abr-05 Mayo	6.5	15700	110000	6.5	790	26	4	21	
V-6	06-19 Mayo	3.9	10700	113000	0.3	250	20	3	14	
V-7	20 May-02 Junio	2.9	6914	50587	3.4	220	15	2	19	7.184
V-8	03-16 Junio	2.8	5950	39800	1.1	138	22	2	18	10.925
V-9	17-30 Junio	1.9	4135	32867	2.8	162	7	2	12	4.229
V-10	01-14 Julio	2.4	6720	37095	4.3	192	14	2	17	
V-11	15-27 Julio	3.5	9300	45900	4.1	385	33	4	10	
V-12	28 Jul-09 Agosto	5.0	13500	58200	4.2	273	36	4	17	8.010
VI-2	22-28 Agosto	13.6	35526	28935	14.6	247	48	11	10	6.364
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	13.1	32600	34900	12.3	115	28	9	94	4.930
VI-4	05-11 Septiembre	11.3	30171	43557	13.6	30	32	9	19	6.302
VI-5	12-18 Septiembre	7.2	20901	38337	11.4	94	26	9		
VI-6	19-25 Septiembre	13.3	35087	39514	14.4	405	30	7	48	8.918
VI-7	26 Sep-03 Octubre	14.9	39462	41844	15.0	373	25	7	74	12.222
VII-1	14-22 Noviembre	11.5	31400	55800	27.7	290	46	8	76	0.990
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	10.2	26900	50300	13.9	120	45	8	17	8.180
VII-3	02-10 Diciembre	9.3	24905	49810	12.9	238	46	5	22	2.339
VII-4	11-19 Diciembre	10.2	25900	52500	12.3	240	34	1	47	4.980
VII-5	20-28 Diciembre	6.1	17000	47700	10.2	320	23	4	16	1.800
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	8.3	21200	50600	11.6	285	33	6	5	8.450
VII-7	07-15 Enero	6.4	17000	41700	9.8	200	41	4	34	4.870
VII-8	16-24 Enero	5.5	15000	43100	9.5	285	28	3		6.690
VII-9	25 Ene-02 Febrero	6.5	17100	49000	13.9	405	30	7	9	5.300
VII-10	03-11 Febrero	6.4	16700	38400	19.2	405	33	6		5.670
VII-11	12-20 Febrero	5.4	15000	36000	9.9	150	17	6	32	2.420
VII-12	21-29 Febrero	5.8	16700	48800	16.0	245	43	3		3.270
VIII-1	11-25 Marzo	7.6	20200	44300	21.1	73	49	2		23.700
VIII-2	26 Mar-09 Abril	8.3	19100	51400	23.0	33	24	3		4.840
VIII-3	10-24 Abril	5.7	14200	38700	20.7	160	40	4		
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	4.0	11600	2800	22.1	560	20	2		18.200
VIII-5	10-24 Mayo	5.1	12800	46600	60.0	145	11	4	56	22.700
VIII-6	25 May-08 Junio	3.9	3600	3000	69.3	120	4	11		
IX-1	24 Sep-09 Octubre	9.0	26463	24684	56.5	324	28	1	56	4.958
IX-2	10-26 Octubre	9.8	27100	47900	20.0	5	34	14	17	11.200
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	10.3	26700	55200	33.0	80	20	11		4.590
IX-4	13-28 Noviembre	9.5	23592	49133	23.6	92	21	2	28	17.540
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	9.6	26822	32947	23.3	180	33	4	31	19.853
IX-6	15-24 Diciembre	6.9	17600	42800	21.8	375	25	1	6	17.300
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	8.6	21000	45500	28.5	195	37	7		8.830
IX-8	04-13 Enero	8.0	23437	30548	22.6	205	3	14		14.523
IX-9	14-23 Enero	7.7	17200	46600	20.4	150	20	2	13	
IX-10	24 Ene. - 02 Feb. 2005	6.8	20000	26400	54.7	470	7			
IX-11	03 - 12 Feb. 2005	7.9	16400	40700	58.7	730	36	3	14	
IX-12	13-22 Febrero	8.8	26400	48600	34.7	91	30	3	19	16.700
X-1	24 Feb-10 Marzo	6.7	18300	77800	17.3	1460	35	0	27	

X-2	11-25 Marzo	5.5	13200	58400	17.9	190	25	3	18	4.740
X-3	26 Mar-09 Abril	5.1	14000	53900	18.8	475	25	4	52	3.020
X-4	10 - 24 Abril	5.8	14200	54300	25.2	385	26	4	17	
X-5	25 Abr-09 Mayo	3.7	9500	45900	22.9	440	11	2	37	3.620
X-6	10-24 Mayo	5.0	12900	50100	16.6	1190	36	0	11	
X-7	25 May-08 Junio	3.3	8000	30300	18.6	75	9	0	16	1.170
X-8	09-23 Junio	2.3	5300	12200	21.6	710	8	2	14	4.360
X-9	24 Jun-08 Julio	4.0	11600	43400	24.7	395	16	0	22	
X-10	09-23 Julio	3.6	9100	38400	20.9	810	17	3	9	9.780
X-11	24 Jul-07 Agosto	5.6	16400	60800	25.2	1000	25	1	46	5.260
X-12	08-22 Agosto	6.3	21600	71200	25.0	635	38	6	2	
XI-1	24-31 Agosto	7.9	23400	89800	10.3	250	35	6	57	18.900
XI-2	01-08 Septiembre	8.9	25000	109000	8.7	540	37	6	54	4.460
XI-3	09-16 Septiembre	9.9	28800	110000	10.9	380	45	9	52	13.400
XI-4	17-24 Septiembre	8.8	25200	131000	9.7	510	46	6	84	1.720
XI-5	25 Sep-02 Octubre	8.7	26700	134000	9.6	360	46	7	73	6.410
XI-6	03-10 Octubre	10.1	29500	109000	10.5	430	48	7	73	12.900
XI-7	11-18 Octubre	11.2	30500	132000	11.6	475	55	7	68	13.000
XI-8	19-26 Octubre	9.1	26400	118000	10.0	350	44	7	49	12.700
XI-9	27 Oct-03 Noviembre	9.2	25500	131000	9.9	375	53	10	91	3.180
XI-10	04-11 Noviembre	8.6	25500	126000	10.6	380	45	8	59	7.560
XI-11	12-19 Noviembre	9.7	26800	133000	18.0	480	48	8	57	3.780
XI-12	20-29 Noviembre	9.1	26400	105000	15.8	290	45	7	36	11.100

**Anexo 2.** Contenido de Sb, Se, U, Al, Mn, Zn, V, Ni y Sb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años 2002 - 2005

Muestra	Fechas	Sb	Se	U	Al	Mn	Zn	V	Ni
I-1	18-25 Enero de 2002	4.67	0.69	5.41	19531	295	122	60.1	10.57
I-2	26 Ene-02 Febrero	7.44	0.86	2.02	17143	438	516	54.9	28.85
I-3	03-10 Febrero	4.18	0.62	3.18	28266	291	76	42.5	32.08
I-4	11-17 Febrero	4.59	0.44	3.67	38110	299	117	77.3	47.66
I-5	18-24 Febrero	6.88	0.84	7.31	10806	387	104	49.7	48.45
I-6	25 Feb-03 Marzo	4.03	1.24	9.00	21871	219	92	45.3	55.89
I-7	04-10 Marzo	3.01	0.46	9.39	20416	316	90	40.0	49.54
I-8	11-17 Marzo	4.77	0.56	8.67	38947	553	105	47.1	96.51
I-9	18-24 Marzo	7.67	3.30	12.40	32500	650	144	67.0	45.95
I-10	25-30 Marzo	10.10	3.58	8.40	26629	563	113	59.1	20.64
I-11	01-07 Abril	7.63	9.67	14.14	29105	475	145	56.9	69.81
I-12	08-14 Abril	9.16	2.27	16.79	28396	621	256	58.9	45.08
II-1	18-24 Abril	16.22	2.86	2.30	19619	345	220	74.2	55.52
II-2	25 Abr-01 Mayo	17.24	2.73	1.96	31033	482	136	56.8	53.07
II-3	02-08 Mayo	10.52	4.76	3.37	11711	394	82	38.4	53.56
II-4	09-15 Mayo	10.44	1.26	3.99	19338	439	92	45.1	56.33
II-5	16-22 Mayo	8.42	1.54	2.21	25020	487	110	65.5	73.51
II-6	23-9 Mayo	10.80	0.55	5.12	22203	544	107	55.9	63.66
II-7	30 May-06 Junio	16.91	2.37	4.47	24262	458	232	82.9	107.99
II-8	07-14 Junio	10.71	3.60	11.80	20467	355	102	48.8	57.02
II-9	15-22 Junio	24.09	5.39	15.87	1688		76	27.3	40.98
II-10	23-30 Junio	17.37	12.08	42.79	14775		46	4.6	14.38
II-11	01-08 Julio	1.89	3.34	7.07	1119		58	0.5	4.15
II-12	09-16 Julio	7.84	8.16	3.14			49	1.1	3.12
III-2	15-22 Agosto	8.45	2.72	3.88	23107	467	92	47.6	50.95
III-3	23-30 Agosto	6.98	5.26	4.24	46327	361	104	52.0	51.34
III-4	31 Ago-06 Septiembre	9.15	3.78	5.24	27970	453	88	39.7	40.44
III-5	07-13 Septiembre	9.51	1.56	0.86	32863	579	169	58.0	35.68
III-6	14-20 Septiembre	9.64	1.15	7.94	34467	405	128	68.3	42.86
III-7	21-27 Septiembre	8.45	1.82	3.13	29733	340	110	80.8	51.21
III-8	28 Sep-04 Octubre	10.67	3.12	4.68	28892	461	65	54.0	36.42
III-9	05-11 Octubre	0.07	2.09	0.84	36378	514	95	55.1	48.73
III-10	12-18 Octubre	10.34	0.61	3.55	27206	540	82	72.1	42.65
III-11	19-25 Octubre	16.26	2.62	5.23	33314	595	157	84.6	58.61
III-12	26 Oct-01 Noviembre	19.96	0.85	5.43	38850	569	183	60.2	56.08
IV-1	02-08 Noviembre	12.15	2.78	1.03	25925	444	65	22.4	17.79
IV-2	09-15 Noviembre	9.15	1.82	4.02	15503	437	93	26.0	23.97
IV-3	16-22 Noviembre	4.72	0.87	3.52	22641	354	30	4.9	15.01
IV-4	23-29 Noviembre	7.19	1.32	2.36	23392	426	52	32.7	23.98
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	12.66	2.27	4.39	23303	574	69	24.4	21.64
IV-6	07-14 Diciembre	10.06	2.64	2.40	19420	376	47	16.9	13.63
IV-7	15-22 Diciembre	8.69	1.40	4.09	34300	385	58	8.8	27.41
IV-8	23-30 Diciembre	12.89	0.18	4.33	34165	403	47	30.8	18.75
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	12.01	1.76	2.79	26605	413	52	23.8	18.28
IV-10	08 Ene-23 Febrero	7.62	1.49	2.63	22049	433	58	22.2	21.27
V-1	25 Feb-10 Marzo	2.68	1.22	4.20	20221	436	48	18.1	18.74

V-2	11-24 Marzo	8.15	3.17	6.10	16171	347	104	22.5	32.04
V-3	25 Mar-07 Abril	4.59	0.80	8.13	19448	304	46	25.7	22.51
V-4	08-21 Abril	1.63	2.03	7.44	20163	290	73	46.0	30.62
V-5	22 Abr-05 Mayo	1.15	0.23	2.87	17413	313	165	46.3	47.43
V-6	06-19 Mayo	0.29	1.93	2.90	2747	58	21	3.9	8.05
V-7	20 May-02 Junio	0.90	1.74	5.30	11061	219	48	29.0	41.16
V-8	03-16 Junio	0.86	0.73	5.56	7763	127	41	8.9	14.79
V-9	17-30 Junio	3.18	1.75	3.72	3677	86	31	3.3	7.22
V-10	01-14 Julio	1.57	1.12	0.99	6736	106	51	5.4	10.89
V-11	15-27 Julio	3.00	2.04	5.34	7217	101	23	6.8	16.17
V-12	28 Jul-09 Agosto	4.92	1.04	17.00	16054	207	21	7.5	13.62
VI-2	22-28 Agosto	0.49	0.84	0.93	26830	586	79	60.7	19.17
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	0.30	0.25	3.21	38543	677	85	50.4	22.89
VI-4	05-11 Septiembre	0.54	3.01	0.73	37449	853	76	70.0	34.42
VI-5	12-18 Septiembre	0.28	1.13	1.17	28180	951	75	56.1	36.97
VI-6	19-25 Septiembre	1.11	1.58	0.80	44865	757	85	42.1	24.30
VI-7	26 Sep-03 Octubre	1.95	0.52	1.25	14857	584	74	44.2	22.49
VII-1	14-22 Noviembre	1.16	3.94	4.56	40551	1406	122	45.0	39.15
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	0.91	0.92	3.56	37136	1106	77	37.4	33.06
VII-3	02-10 Diciembre	0.64	0.90	2.47	36317	872	71	32.2	26.38
VII-4	11-19 Diciembre	0.08	1.09	1.92	38732	711	69	35.4	25.54
VII-5	20-28 Diciembre	0.84	0.47	2.07	24616	554	55	23.8	27.32
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	0.25	3.22	3.47	41566	565	69	31.0	24.12
VII-7	07-15 Enero	0.37	0.76	2.72	24848	594	74	25.6	30.44
VII-8	16-24 Enero	1.05	18.40	2.74	18373	703	80	21.0	30.98
VII-9	25 Ene-02 Febrero	0.30	5.41	3.30	23564	843	96	22.9	35.26
VII-10	03-11 Febrero	1.24	1.31	3.16	24054	777	78	22.7	31.64
VII-11	12-20 Febrero	0.92	5.11	1.78	19901	448	47	16.6	26.17
VII-12	21-29 Febrero	1.20	6.70	2.13	18982	740	84	17.6	26.96
VIII-1	11-25 Marzo	0.26	25.50	2.62	24264	1009	75	18.7	34.18
VIII-2	26 Mar-09 Abril	1.08	2.92	1.80	26169	837	65	41.5	53.67
VIII-3	10-24 Abril	0.85	2.20	0.77	16331	502	67	21.7	41.01
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	1.33	15.10	1.93	15006	512	66	19.8	44.24
VIII-5	10-24 Mayo	2.08	38.20	0.70	12582	402	61	18.1	57.78
VIII-6	25 May-08 Junio		36.30	2.34	7076	237	75	19.6	31.50
IX-1	24 Sep-09 Octubre	0.37	4.07	1.73	32699	673	82	55.0	21.63
IX-2	10-26 Octubre	2.08	8.10	4.47	39972	909	82	57.3	19.86
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	0.68	12.30	1.78	37018	796	75	56.7	18.20
IX-4	13-28 Noviembre	1.10	14.05	1.19	32245	678	70	58.5	18.32
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	3.96	3.74	2.62	20173	398	64	26.0	10.77
IX-6	15-24 Diciembre	2.23	30.20	0.50	26399	543	57	21.9	15.42
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	0.20	14.80	3.62	17972	343	42	26.6	15.43
IX-8	04-13 Enero	0.38	27.74	1.02	22817	584	84	48.4	35.67
IX-9	14-23 Enero	0.44	6.70	2.70	21387	447	36	36.3	32.75
IX-10	24 Ene. - 02 Feb. 2005	2.17	13.40	1.95	17585	605	38	37.5	46.91
IX-11	03 - 12 Feb. 2005	0.42	2.89	2.47	20253	662	37	36.9	44.39
IX-12	13-22 Febrero	0.38	4.29	2.49	21226	536	55	55.2	57.59
X-1	24 Feb-10 Marzo	0.40	0.58	0.66	25789	528	136	23.5	37.30
X-2	11-25 Marzo	0.80	2.77	0.77	23078	390	202	41.9	45.75
X-3	26 Mar-09 Abril	0.34	0.55	1.72	18617	270	118	41.0	48.42
X-4	10 - 24 Abril	0.70	2.09	0.80	21006	329	126	34.3	31.68

X-5	25 Abr-09 Mayo		0.82	1.44	13432	255	62	25.1	34.56
X-6	10-24 Mayo	0.19	2.97	0.88	16989	418	132	34.8	52.19
X-7	25 May-08 Junio	0.08	0.78	0.68	7872	207	137	14.1	23.12
X-8	09-23 Junio	0.44	1.84	2.01	6853	175	65	15.8	30.80
X-9	24 Jun-08 Julio	0.49	0.85	1.19	11297	255	47	24.4	42.52
X-10	09-23 Julio	1.74	2.71	0.65	11138	249	72	29.2	49.62
X-11	24 Jul-07 Agosto	0.12	5.05	0.43	15424	337	72	36.0	50.77
X-12	08-22 Agosto	0.72	1.92	2.63	17847	465	70	40.9	44.88
XI-1	24-31 Agosto	0.34	3.82	3.18	22691	482	121	60.2	53.45
XI-2	01-08 Septiembre	1.76	0.40	0.49	30457	571	101	55.3	50.18
XI-3	09-16 Septiembre	0.91	0.52	0.41	29118	695	290	64.7	69.43
XI-4	17-24 Septiembre	0.64	0.31	1.11	25701	537	415	57.3	80.14
XI-5	25 Sep-02 Octubre	0.12	2.82	3.21	24261	572	85	41.0	52.24
XI-6	03-10 Octubre	0.38	3.46	2.35	26650	595	85	51.2	49.30
XI-7	11-18 Octubre	1.50	7.51	1.32	22734	655	94	47.5	47.60
XI-8	19-26 Octubre	0.45	5.67	1.40	27253	555	87	48.8	56.49
XI-9	27 Oct-03 Noviembre	0.34	3.35	3.34	25721	681	117	48.9	56.34
XI-10	04-11 Noviembre	0.19	2.67	2.25	22753	677	86	42.2	45.54
XI-11	12-19 Noviembre	0.35	0.66	1.08	23557	574	88	47.0	53.81
XI-12	20-29 Noviembre	1.17	1.83	2.94	27090	407	94	54.5	49.32

---



**Anexo 3.** Contenido de Cu, Sr, Mo, Cd y Pb (mg Kg<sup>-1</sup>) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002 - 2005

<b>Muestra</b>	<b>Fechas</b>	<b>Cu</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
I-1	18-25 Enero de 2002	21.71	638	2.93	1.68	22.81
I-2	26 Ene-02 Febrero	32.38	658	4.78	1.54	32.34
I-3	03-10 Febrero	16.10	921	4.50	2.83	22.68
I-4	11-17 Febrero	26.85	772	1.30	1.58	22.20
I-5	18-24 Febrero	26.98	616	1.11	1.44	26.17
I-6	25 Feb-03 Marzo	20.89	662	0.53	1.94	16.90
I-7	04-10 Marzo	21.76	638	0.62	4.28	18.43
I-8	11-17 Marzo	26.62	1214	7.92	0.68	32.83
I-9	18-24 Marzo	29.23	617	4.05	0.22	42.50
I-10	25-30 Marzo	33.27	597	3.06	0.17	41.10
I-11	01-07 Abril	28.72	572	1.67	0.24	34.23
I-12	08-14 Abril	54.46	560	3.13	0.30	53.97
II-1	18-24 Abril	46.07	1430	0.39	0.19	29.34
II-2	25 Abr-01 Mayo	38.68	986	3.05	2.77	38.54
II-3	02-08 Mayo	24.52	651	2.29	1.40	24.22
II-4	09-15 Mayo	25.63	575	2.08	1.45	23.28
II-5	16-22 Mayo	31.36	728	1.68	1.97	28.55
II-6	23-9 Mayo	31.67	776	1.95	1.84	32.95
II-7	30 May-06 Junio	59.96	1146	1.73	0.84	29.70
II-8	07-14 Junio	30.02	733	1.29	1.51	30.31
II-9	15-22 Junio	40.54	884	0.23	0.45	14.31
II-10	23-30 Junio	16.34	1020			22.98
II-11	01-08 Julio	3.61	661	3.61	0.36	4.38
II-12	09-16 Julio	19.04	844			7.56
III-2	15-22 Agosto	27.42	574	1.46	1.31	27.31
III-3	23-30 Agosto	28.80	586	3.11	2.06	35.01
III-4	31 Ago-06 Septiembre	24.23	612	1.02	1.42	35.13
III-5	07-13 Septiembre	23.63	689	0.86	1.58	21.40
III-6	14-20 Septiembre	24.09	692	0.62	0.67	19.47
III-7	21-27 Septiembre	25.34	736	0.44	0.66	18.70
III-8	28 Sep-04 Octubre	29.26	771	0.41	0.72	20.87
III-9	05-11 Octubre	36.22	806	0.65	0.64	26.13
III-10	12-18 Octubre	34.17	781	1.58	1.99	29.52
III-11	19-25 Octubre	46.27	808	1.29	0.58	41.15
III-12	26 Oct-01 Noviembre	54.46	919	5.96	0.61	54.74
IV-1	02-08 Noviembre	42.06	778	4.61	0.57	15.36
IV-2	09-15 Noviembre	63.28	583	3.83	1.22	19.75
IV-3	16-22 Noviembre	13.95	875	1.57	0.56	5.82
IV-4	23-29 Noviembre	46.00	736	2.16	1.29	23.26
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	45.24	1169	1.12	0.98	13.38
IV-6	07-14 Diciembre	32.45	780	1.03	1.07	9.53
IV-7	15-22 Diciembre	31.24	636	1.08	0.52	9.79
IV-8	23-30 Diciembre	41.66	603	1.16	0.61	11.07
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	42.38	632	1.28	0.67	9.59
IV-10	08 Ene-23 Febrero	50.60	568	1.93	0.75	11.34
V-1	25 Feb-10 Marzo	34.35	1862	0.67	0.32	8.65

V-2	11-24 Marzo	24.50	1785	0.72	0.56	8.98
V-3	25 Mar-07 Abril	40.37	1386	1.05	0.49	7.05
V-4	08-21 Abril	45.27	1238	1.30	0.59	6.63
V-5	22 Abr-05 Mayo	76.45	2266	0.78	0.66	5.66
V-6	06-19 Mayo	6.18	528	0.29	0.21	2.28
V-7	20 May-02 Junio	45.27	1499	0.59	0.77	5.26
V-8	03-16 Junio	76.68	1036	0.42	0.55	4.09
V-9	17-30 Junio	12.40	816	0.41	0.76	3.89
V-10	01-14 Julio	10.72	857	0.77	1.12	10.23
V-11	15-27 Julio	18.64	814	1.03	0.96	9.61
V-12	28 Jul-09 Agosto	13.56	1291	0.73	0.52	8.69
VI-2	22-28 Agosto	17.21	211	0.45	0.62	8.86
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	18.68	224	0.46	0.74	10.61
VI-4	05-11 Septiembre	23.55	525	0.75	1.18	13.44
VI-5	12-18 Septiembre	22.36	570	0.76	1.86	13.28
VI-6	19-25 Septiembre	23.19	485	0.75	0.78	12.62
VI-7	26 Sep-03 Octubre	25.08	337	0.70	0.71	10.68
VII-1	14-22 Noviembre	27.52	526	0.79	1.14	18.38
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	24.00	549	0.82	2.45	17.63
VII-3	02-10 Diciembre	18.23	454	0.70	1.05	13.98
VII-4	11-19 Diciembre	17.86	489	0.70	1.19	11.98
VII-5	20-28 Diciembre	16.99	453	0.66	1.83	10.30
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	16.45	528	0.67	1.63	10.65
VII-7	07-15 Enero	22.05	2	0.83	2.26	14.58
VII-8	16-24 Enero	19.93	409	0.67	2.28	12.36
VII-9	25 Ene-02 Febrero	26.16	524	0.66	2.28	19.15
VII-10	03-11 Febrero	21.31	303	0.80	2.07	14.55
VII-11	12-20 Febrero	14.95	341	0.76	1.56	9.84
VII-12	21-29 Febrero	18.42	463	0.87	3.12	17.95
VIII-1	11-25 Marzo	23.91	20	0.91	2.25	23.51
VIII-2	26 Mar-09 Abril	24.83	571	1.24	2.31	18.24
VIII-3	10-24 Abril	19.32	425	0.66	3.65	13.12
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	16.97	316	1.02	2.64	13.74
VIII-5	10-24 Mayo	19.60	349	1.03	4.65	14.41
VIII-6	25 May-08 Junio	58.52	288	2.86	3.60	7.07
IX-1	24 Sep-09 Octubre	22.40	551	0.99	1.73	18.76
IX-2	10-26 Octubre	22.60	603	1.13	1.80	19.72
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	21.94	641	1.14	1.60	14.14
IX-4	13-28 Noviembre	20.31	5	1.10	1.51	15.16
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	9.28	283	0.93	1.17	18.05
IX-6	15-24 Diciembre	12.43	419	0.84	1.66	21.45
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	13.44	0	0.89	2.56	20.53
IX-8	04-13 Enero	22.05	434	1.40	2.60	16.11
IX-9	14-23 Enero	19.57	387	1.18	1.90	13.74
IX-10	24 Ene. - 02 Feb. 2005	29.23	420	3.46	3.76	18.19
IX-11	03 - 12 Feb. 2005	28.68	377	1.46	2.09	20.80
IX-12	13-22 Febrero	35.83	500	2.30	2.41	20.66
X-1	24 Feb-10 Marzo	54.31	619	1.67	1.69	23.68
X-2	11-25 Marzo	186.52	578	1.37	1.29	9.35
X-3	26 Mar-09 Abril	180.78	455	2.20	2.23	11.53
X-4	10 - 24 Abril	147.56	375	1.08	1.89	8.37

X-5	25 Abr-09 Mayo	32.24	379	0.80	3.25	6.18
X-6	10-24 Mayo	137.32	456	0.88	1.13	9.00
X-7	25 May-08 Junio	86.55	217	0.47	0.85	4.77
X-8	09-23 Junio	27.97	259	0.78	1.41	4.36
X-9	24 Jun-08 Julio	71.18	331	0.81	1.51	6.72
X-10	09-23 Julio	88.63	279	0.74	1.37	4.96
X-11	24 Jul-07 Agosto	92.38	404	1.42	1.53	9.46
X-12	08-22 Agosto	118.72	472	1.34	1.24	10.66
XI-1	24-31 Agosto	251.50	446	0.93	1.04	10.51
XI-2	01-08 Septiembre	77.30	625	0.86	1.36	14.16
XI-3	09-16 Septiembre	98.13	563	1.43	1.48	14.21
XI-4	17-24 Septiembre	103.02	597	1.39	1.71	12.86
XI-5	25 Sep-02 Octubre	70.44	549	1.11	1.38	12.79
XI-6	03-10 Octubre	75.44	544	1.10	1.28	14.82
XI-7	11-18 Octubre	71.03	548	0.89	1.39	14.94
XI-8	19-26 Octubre	82.94	640	1.04	1.03	13.39
XI-9	27 Oct-03 Noviembre	67.66	553	1.20	1.42	16.16
XI-10	04-11 Noviembre	60.28	535	0.92	1.35	14.88
XI-11	12-19 Noviembre	65.97	600	1.17	1.96	13.55
XI-12	20-29 Noviembre	77.91	582	1.08	1.36	10.90

---

**Anexo 4.** Contenido de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Er, Yb y Lu (mg kg<sup>-1</sup>) en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002-2005

Muestra	Fechas	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Er	Yb	Lu
I-1	18-25 Enero de 2002	9.54	18.42	7.77	2.00	0.22	0.39	1.36	1.11	0.18
I-2	26 Ene-02 Febrero	11.50	20.50	8.30	2.16	0.24	0.34	1.00	0.71	0.11
I-3	03-10 Febrero	8.40	16.40	7.56	2.06	0.18	0.34	1.01	0.72	0.11
I-4	11-17 Febrero	14.97	27.35	11.12	2.76	0.13	0.41	1.03	0.67	0.10
I-5	18-24 Febrero	8.80	17.20	8.03	2.24	0.24	0.36	0.98	0.67	0.10
I-6	25 Feb-03 Marzo	9.26	18.32	8.00	2.14	0.21	0.32	0.91	0.63	0.10
I-7	04-10 Marzo	9.46	17.52	7.30	1.85	0.16	0.32	1.04	0.81	0.13
I-8	11-17 Marzo	7.87	16.50	8.52	2.42	0.18	0.58	2.32	1.98	0.37
I-9	18-24 Marzo	10.80	22.30	11.40	3.18	0.34	0.52	1.32	0.86	0.13
I-10	25-30 Marzo	3.63	9.65	8.05	2.77	0.28	0.56	1.71	1.30	0.21
I-11	01-07 Abril	10.60	22.66	11.02	3.02	0.44	0.61	1.96	1.51	0.24
I-12	08-14 Abril	14.08	25.54	11.97	3.06	0.21	0.59	1.86	1.39	0.22
II-1	18-24 Abril	6.43	13.47	6.63	1.82	0.21	0.43	1.71	1.48	0.24
II-2	25 Abr-01 Mayo	18.46	30.44	9.74	2.18	0.37	0.39	1.34	1.06	0.17
II-3	02-08 Mayo	9.46	17.14	7.02	1.69	0.10	0.35	1.41	1.25	0.22
II-4	09-15 Mayo	10.69	21.07	9.61	2.55	0.09	0.48	1.62	1.30	0.21
II-5	16-22 Mayo	13.63	25.70	10.29	2.53	0.35	0.58	2.34	1.98	0.36
II-6	23-9 Mayo	12.75	21.93	8.53	2.15	0.38	0.43	1.50	1.24	0.19
II-7	30 May-06 Junio	10.19	20.47	9.57	2.51	0.39	0.56	2.26	1.90	0.36
II-8	07-14 Junio	4.55	10.84	6.56	1.99	0.34	0.48	2.02	1.86	0.32
II-9	15-22 Junio	3.24	6.93	3.82	1.06	0.28	0.22	0.74	0.60	0.09
II-10	23-30 Junio	3.66	8.20	5.19	1.63	0.83	0.47	2.50	2.68	0.51
II-11	01-08 Julio	0.86	1.72	0.86	0.25	0.12	0.09	0.61	0.79	0.15
II-12	09-16 Julio	1.23	3.43	3.01	1.12	0.07	0.29	1.28	1.18	0.20
III-2	15-22 Agosto	8.24	16.53	7.78	1.99	0.27	0.39	1.38	1.11	0.18
III-3	23-30 Agosto	7.07	14.47	7.16	1.94	0.43	0.31	0.94	0.68	0.10
III-4	31 Ago-06 Septiembre	10.69	19.79	8.11	2.06	0.22	0.39	1.43	1.17	0.19
III-5	07-13 Septiembre	13.07	24.22	9.94	2.46	0.46	0.50	1.82	1.48	0.25
III-6	14-20 Septiembre	11.49	22.02	9.86	2.63	0.44	0.45	1.41	1.03	0.16
III-7	21-27 Septiembre	12.00	22.67	9.44	2.39	0.16	0.43	1.31	0.97	0.15
III-8	28 Sep-04 Octubre	10.14	19.65	8.98	2.34	0.50	0.47	1.55	1.23	0.19
III-9	05-11 Octubre	26.30	49.20	20.60	4.99	1.25	0.94	3.30	2.57	0.42
III-10	12-18 Octubre	12.05	22.38	9.23	2.30	0.76	0.43	1.32	1.00	0.16
III-11	19-25 Octubre	12.38	23.29	9.94	2.60	0.20	0.49	1.61	1.26	0.20
III-12	26 Oct-01 Noviembre	14.20	26.75	11.42	2.85	0.46	0.45	1.21	0.82	0.12
IV-1	02-08 Noviembre	3.09	7.16	4.52	1.40	0.11	0.26	0.84	0.63	0.10
IV-2	09-15 Noviembre	9.94	18.90	8.01	2.10	0.14	0.34	1.02	0.73	0.12
IV-3	16-22 Noviembre	5.11	11.30	6.40	1.87	0.17	0.31	0.94	0.67	0.10
IV-4	23-29 Noviembre	6.47	12.76	5.88	1.50	0.24	0.33	1.21	1.00	0.17
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	7.45	14.71	6.79	1.73	0.14	0.33	1.10	0.83	0.14
IV-6	07-14 Diciembre	7.43	14.43	6.21	1.53	0.26	0.27	0.86	0.65	0.10
IV-7	15-22 Diciembre	5.07	11.12	6.75	2.10	0.33	0.37	1.04	0.73	0.11
IV-8	23-30 Diciembre	8.83	17.02	7.39	1.88	0.36	0.34	1.13	0.88	0.14
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	3.85	9.22	6.01	1.88	0.26	0.36	1.22	0.92	0.15
IV-10	08 Ene-23 Febrero	5.82	11.58	5.47	1.40	0.24	0.30	1.10	0.91	0.15
V-1	25 Feb-10 Marzo	5.90	11.85	5.74	1.50	0.37	0.26	0.81	0.59	0.09

V-2	11-24 Marzo	7.05	14.55	6.89	1.89	0.14	0.37	1.23	0.99	0.16
V-3	25 Mar-07 Abril	4.42	10.70	6.89	2.20	0.07	0.38	1.12	0.79	0.12
V-4	08-21 Abril	5.56	12.58	7.51	2.29	0.27	0.44	1.42	1.10	0.17
V-5	22 Abr-05 Mayo	3.63	8.50	5.90	1.90	0.44	0.42	1.53	1.29	0.22
V-6	06-19 Mayo	1.40	3.10	1.80	0.51	0.20	0.11	0.41	0.34	0.06
V-7	20 May-02 Junio	1.27	3.01	2.15	0.67	0.23	0.17	0.73	0.68	0.12
V-8	03-16 Junio	1.98	4.86	3.60	1.16	0.02	0.19	0.52	0.36	0.06
V-9	17-30 Junio	2.05	3.21	0.98	0.21	0.05	0.06	0.31	0.37	0.07
V-10	01-14 Julio	3.14	5.81	2.64	0.66	0.21	0.14	0.60	0.56	0.10
V-11	15-27 Julio	4.61	8.71	3.30	0.79	0.05	0.18	0.74	0.66	0.11
V-12	28 Jul-09 Agosto	4.95	11.15	5.90	1.69	0.09	0.30	0.95	0.70	0.11
VI-2	22-28 Agosto	13.28	25.23	10.71	2.77	0.22	0.45	1.27	0.86	0.13
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	14.10	26.20	10.90	2.74	0.36	0.57	1.98	1.62	0.27
VI-4	05-11 Septiembre	13.80	25.43	9.85	2.46	0.03	0.44	1.39	1.06	0.18
VI-5	12-18 Septiembre	11.02	19.51	7.34	1.70	0.14	0.32	1.21	0.98	0.16
VI-6	19-25 Septiembre	15.87	29.47	11.66	2.83	0.54	0.54	1.82	1.40	0.23
VI-7	26 Sep-03 Octubre	17.81	31.80	12.84	3.21	0.26	0.61	1.95	1.50	0.24
VII-1	14-22 Noviembre	16.10	29.80	11.20	2.65	0.18	0.51	1.70	1.31	0.21
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	16.40	30.20	11.50	2.75	0.20	0.54	1.84	1.45	0.24
VII-3	02-10 Diciembre	11.74	22.48	9.49	2.44	0.23	0.43	1.20	0.84	0.13
VII-4	11-19 Diciembre	14.10	26.10	10.40	2.53	0.19	0.48	1.54	1.21	0.19
VII-5	20-28 Diciembre	9.13	16.50	6.18	1.40	0.11	0.27	1.00	0.83	0.13
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	11.50	21.00	8.97	2.27	0.13	0.38	1.05	0.71	0.11
VII-7	07-15 Enero	10.20	18.00	6.85	1.56	0.15	0.27	0.85	0.64	0.10
VII-8	16-24 Enero	5.76	11.00	5.11	1.28	0.61	0.29	1.29	1.17	0.20
VII-9	25 Ene-02 Febrero	11.20	18.70	7.00	1.61	0.31	0.39	1.74	1.70	0.29
VII-10	03-11 Febrero	9.49	17.00	6.63	1.58	0.09	0.25	0.76	0.54	0.08
VII-11	12-20 Febrero	7.76	15.20	6.88	1.75	0.14	0.28	0.89	0.65	0.10
VII-12	21-29 Febrero	7.29	14.00	6.17	1.56	0.11	0.30	1.10	0.90	0.15
VIII-1	11-25 Marzo	3.23	8.90	7.00	2.36	0.22	0.35	0.88	0.56	0.08
VIII-2	26 Mar-09 Abril	10.90	20.00	8.30	2.12	0.46	0.28	0.69	0.43	0.06
VIII-3	10-24 Abril	6.81	11.10	3.78	0.85	0.36	0.13	0.39	0.28	0.04
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	8.89	16.00	6.22	1.47	0.53	0.25	0.82	0.63	0.10
VIII-5	10-24 Mayo	4.10	9.65	5.90	1.71	0.49	0.40	1.57	1.38	0.23
VIII-6	25 May-08 Junio	4.12	9.40	5.08	1.41	0.78	0.27	0.90	0.69	0.11
IX-1	24 Sep-09 Octubre	10.40	21.13	10.46	2.87	0.13	0.44	1.06	0.68	0.10
IX-2	10-26 Octubre	13.50	25.00	10.20	2.57	0.44	0.39	1.00	0.67	0.10
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	15.10	31.00	14.80	4.00	0.37	0.63	1.57	1.00	0.15
IX-4	13-28 Noviembre	12.51	23.28	10.05	2.53	0.48	0.29	0.54	0.29	0.04
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	10.56	21.65	10.55	2.82	0.31	0.49	1.32	0.90	0.14
IX-6	15-24 Diciembre	12.60	21.30	7.43	1.73	0.66	0.23	0.60	0.39	0.06
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	12.70	23.70	10.30	2.65	0.38	0.58	2.20	1.76	0.31
IX-8	04-13 Enero	4.19	10.92	7.93	2.62	0.22	0.40	0.92	0.57	0.08
IX-9	14-23 Enero	8.62	16.90	7.90	2.12	0.32	0.33	0.86	0.56	0.08
IX-10	24 Ene- 02 Febrero	13.00	23.50	9.05	2.24	0.12	0.31	0.79	0.51	0.08
IX-11	03 - 12 Febrero	16.90	29.20	9.53	2.13	0.42	0.32	0.90	0.62	0.09
IX-12	13-22 Febrero	15.00	29.00	12.50	3.17	0.42	0.47	1.15	0.74	0.11
X-1	24 Feb-10 Marzo	11.50	20.00	7.80	1.92	0.60	0.23	0.55	0.33	0.05
X-2	11-25 Marzo	8.38	15.90	6.40	1.58	0.16	0.22	0.55	0.36	0.05
X-3	26 Mar-09 Abril	8.83	16.40	7.00	1.75	0.16	0.29	0.98	0.73	0.12
X-4	10 - 24 Abril	7.87	14.95	6.15	1.47	0.13	0.30	1.18	1.01	0.17

X-5	25 Abr-09 Mayo	4.96	10.19	4.86	1.26	0.13	0.22	0.67	0.49	0.08
X-6	10-24 Mayo	6.44	12.90	6.00	1.57	0.10	0.35	1.43	1.28	0.22
X-7	25 May-08 Junio	4.27	8.42	3.47	0.88	0.11	0.18	0.63	0.50	0.08
X-8	09-23 Junio	0.55	1.74	2.23	0.95	0.23	0.22	0.89	0.76	0.13
X-9	24 Jun-08 Julio	7.60	13.00	4.50	1.02	0.23	0.21	0.82	0.70	0.12
X-10	09-23 Julio	5.14	10.45	5.16	1.35	0.09	0.27	0.93	0.73	0.12
X-11	24 Jul-07 Agosto	9.02	17.50	7.88	2.01	0.38	0.39	1.39	1.14	0.18
X-12	08-22 Agosto	8.32	16.50	7.40	1.95	0.14	0.43	1.64	1.40	0.23
XI-1	24-31 Agosto	8.89	16.30	6.72	1.67	0.07	0.32	1.38	1.24	0.22
XI-2	01-08 Septiembre	11.50	20.70	8.81	2.21	0.93	0.47	1.86	1.63	0.28
XI-3	09-16 Septiembre	14.00	25.00	9.60	2.36	0.56	0.50	1.84	1.50	0.25
XI-4	17-24 Septiembre	12.70	22.00	7.97	1.95	0.63	0.39	1.45	1.21	0.20
XI-5	25 Sep-02 Octubre	12.20	22.40	9.20	2.38	0.63	0.46	1.57	1.24	0.20
XI-6	03-10 Octubre	13.00	24.20	9.83	2.51	0.84	0.43	1.29	0.91	0.14
XI-7	11-18 Octubre	13.00	24.40	9.92	2.57	0.61	0.47	1.43	1.10	0.17
XI-8	19-26 Octubre	12.50	22.80	9.24	2.36	0.74	0.40	1.17	0.83	0.13
XI-9	27 Oct-03 Noviembre	12.30	22.70	9.10	2.34	0.79	0.37	1.11	0.81	0.13
XI-10	04-11 Noviembre	11.60	21.00	8.88	2.23	0.85	0.44	1.56	1.30	0.22
XI-11	12-19 Noviembre	11.50	20.30	8.00	1.99	0.82	0.31	0.83	0.57	0.09
XI-12	20-29 Noviembre	11.20	20.70	8.66	2.19	0.72	0.44	1.52	1.22	0.20

---

**Anexo 5.** Flujos de Fe, Ca y Al ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), Co, Ba, Cr, Cs, Rb y As ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )  
particulados en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años  
2002-2005

Muestra	Fechas	Fe	Ca	Al	Co	Ba	Cr	Cs	Rb	As
I-1	18-25 Enero de 2002	15.992	32.507	21.52	5.98	346.00	28.49	4.70	60.36	3.81
I-2	26 Ene-02 Febrero	12.462	21.809	11.87	5.57	162.70	23.75	4.89	17.79	5.00
I-3	03-10 Febrero	22.876	51.578	38.94	8.84	528.73	33.45	7.31	97.33	8.64
I-4	11-17 Febrero	28.054	40.942	42.10	8.60	407.62	39.92	4.47		8.36
I-5	18-24 Febrero	10.985	16.956	6.45	4.06	125.38	18.99	2.93		5.77
I-6	25 Feb-03 Marzo	25.205	64.798	33.58	7.22	559.53	58.08	13.08	107.11	8.72
I-7	04-10 Marzo	10.820	25.826	15.92	4.72	150.06	17.22	3.36	40.91	1.02
I-8	11-17 Marzo	6.269	12.047	12.72	2.89	96.31	14.37	1.92	26.18	5.03
I-9	18-24 Marzo	6.262	4.251	8.27	0.61	199.82	13.49	0.71		4.30
I-10	25-30 Marzo	5.300	10.685	6.03	2.50	74.32	13.66	0.97	11.55	
I-11	01-07 Abril	6.656	19.180	8.47	1.24	78.66	17.88	1.65	20.18	5.57
I-12	08-14 Abril	2.935	7.920	4.71	1.72	90.87	5.47	1.30	4.92	1.65
II-1	18-24 Abril	5.771	11.500	8.10	2.49	886.69	10.83	1.23	15.88	3.40
II-2	25 Abr-01 Mayo	7.552	14.554	11.62	3.41	370.71	15.97	1.75		3.67
II-3	02-08 Mayo	12.249	13.474	8.95	5.22	264.12	10.87	5.39	61.55	1.29
II-4	09-15 Mayo	11.285	18.071	13.18	4.97	200.00	27.79	1.64	35.64	4.64
II-5	16-22 Mayo	17.563	37.069	18.69	7.93	349.71	32.25	6.18	79.58	1.75
II-6	23-9 Mayo	13.831	27.445	14.80	5.19	277.33	25.21	8.86	49.63	1.57
II-7	30 May-06 Junio	8.120	28.910	10.63	3.54	397.06	21.01	4.77	45.46	1.31
II-8	07-14 Junio	9.994	24.667	10.82	4.56	548.80	21.32	4.97	20.05	1.42
II-9	15-22 Junio	1.774	4.699	0.40	0.30	90.36	4.44	0.07		2.79
II-10	23-30 Junio	0.150	7.491	0.96	0.39		3.22	0.24	5.52	3.08
II-11	01-08 Julio	0.132	1.389	0.15	1.37		0.62	0.04	3.29	4.03
II-12	09-16 Julio	0.086	3.334			45.28	0.99			2.48
III-2	15-22 Agosto	20.145	23.139	19.01	8.12	175.36	26.52	3.73	14.49	9.97
III-3	23-30 Agosto	21.142	18.907	39.07	6.49	73.58	32.97	6.14	33.62	11.46
III-4	31 Ago-06 Septiembre	24.770	19.077	25.90	7.26	355.07	33.91	5.19	20.03	16.18
III-5	07-13 Septiembre	21.807	24.886	25.52	7.21	183.11	34.71	7.55	39.70	0.73
III-6	14-20 Septiembre	26.226	30.975	35.77	8.88	422.15	43.90	9.59	75.83	12.88
III-7	21-27 Septiembre	23.714	26.442	30.41	9.87	204.61	41.45	6.87	34.31	13.06
III-8	28 Sep-04 Octubre	20.484	26.871	26.85	8.15	454.16	25.03	6.68	30.66	3.76
III-9	05-11 Octubre	25.038	32.843	36.88	9.12	101.37	3.24	4.36	52.31	17.23
III-10	12-18 Octubre	20.694	26.929	23.47	9.35	199.15	43.03	6.27	75.33	10.39
III-11	19-25 Octubre	15.067	19.519	18.12	5.54	231.15	30.25	6.22	83.61	7.13
III-12	26 Oct-01 Noviembre	14.690	12.310	19.53	4.59	235.35	26.64	5.33	25.55	12.52
IV-1	02-08 Noviembre	15.173	48.221	25.46	5.75	216.06	21.16	3.93	18.17	22.78
IV-2	09-15 Noviembre	27.655	58.159	21.54	9.83	521.14	48.43	7.56	51.00	7.66
IV-3	16-22 Noviembre	40.555	111.320	53.74	11.94	288.03	60.17	6.27	40.56	8.81
IV-4	23-29 Noviembre	19.517	63.079	32.42	7.88	202.39	37.68	5.22	35.95	
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	7.873	32.086	16.65	4.95	208.52	16.77	2.65	4.40	
IV-6	07-14 Diciembre	22.997	71.986	25.95	7.84	201.85	48.22	7.98	22.68	18.85
IV-7	15-22 Diciembre	29.573	63.678	52.93	11.65	383.15	46.19	9.57	47.11	17.00
IV-8	23-30 Diciembre	18.178	46.108	37.64	6.76	161.00	41.26	6.33	30.01	16.04
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	10.520	32.677	21.44	3.89	309.16	24.99	4.34	21.51	4.94

IV-10	08 Ene-23 Febrero	5.552	17.364	8.95	2.24	79.23	11.05	1.91	10.06	
V-1	25 Feb-10 Marzo	7.214	37.714	9.38	2.98	119.45	11.39	1.53	18.53	4.53
V-2	11-24 Marzo	5.721	32.680	5.78	2.22	60.78	11.37	1.84	13.48	0.93
V-3	25 Mar-07 Abril	11.186	50.875	12.68	3.76	169.14	18.39	2.20	17.82	12.19
V-4	08-21 Abril	12.578	39.014	14.41	5.86	127.98	16.34	2.00	13.49	6.47
V-5	22 Abr-05 Mayo	3.588	25.141	3.98	1.47	180.56	5.97	0.97	4.89	
V-6	06-19 Mayo	2.412	25.474	0.62	0.08	56.36	4.42	0.61	3.11	
V-7	20 May-02 Junio	3.671	26.861	5.87	1.83	116.91	8.02	0.88	10.17	3.81
V-8	03-16 Junio	3.452	23.090	4.50	0.62	79.77	13.02	1.03	10.50	6.34
V-9	17-30 Junio	3.098	24.629	2.76	2.10	121.58	5.16	1.25	9.16	3.17
V-10	01-14 Julio	4.148	22.899	4.16	2.66	118.36	8.74	1.48	10.48	
V-11	15-27 Julio	4.012	19.802	3.11	1.75	166.09	14.04	1.66	4.49	
V-12	28 Jul-09 Agosto	5.698	24.564	6.78	1.76	115.01	15.13	1.49	7.03	3.38
VI-2	22-28 Agosto	137.995	112.396	104.22	56.80	959.96	184.79	42.00	40.00	24.72
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	108.293	115.934	128.04	40.86	382.02	93.01	28.73	313.25	16.38
VI-4	05-11 Septiembre	44.025	63.559	54.64	19.83	43.57	47.03	12.79	28.10	9.20
VI-5	12-18 Septiembre	16.886	30.974	22.77	9.23	75.57	20.99	7.48		
VI-6	19-25 Septiembre	101.422	114.217	129.68	41.50	1170.25	87.38	21.19	140.12	25.78
VI-7	26 Sep-03 Octubre	113.276	120.114	42.65	43.11	1070.33	72.54	20.51	212.28	35.08
VII-1	14-22 Noviembre	31.378	55.762	40.52	27.68	289.80	46.17	7.92	75.85	0.99
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	21.758	40.684	30.04	11.24	97.06	36.15	6.32	13.83	6.62
VII-3	02-10 Diciembre	38.969	77.939	56.83	20.12	372.27	72.39	8.51	35.17	3.66
VII-4	11-19 Diciembre	54.458	110.388	81.44	25.86	504.63	70.86	1.45	98.40	10.47
VII-5	20-28 Diciembre	20.103	56.408	29.11	12.06	378.42	27.32	4.39	19.28	2.13
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	36.464	87.033	71.49	19.95	490.21	55.90	10.03	8.39	14.53
VII-7	07-15 Enero	12.087	29.649	17.67	7.00	142.20	29.15	2.93	23.82	3.46
VII-8	16-24 Enero	5.701	16.382	6.98	3.60	108.33	10.45	1.09		2.54
VII-9	25 Ene-02 Febrero	5.039	14.438	6.94	4.10	119.34	8.96	2.02	2.71	1.56
VII-10	03-11 Febrero	8.562	19.687	12.33	9.84	207.64	16.82	3.21		2.91
VII-11	12-20 Febrero	15.864	38.074	21.05	10.46	158.64	18.19	6.31	34.27	2.56
VII-12	21-29 Febrero	5.001	14.613	5.68	4.79	73.36	12.76	0.80		0.98
VIII-1	11-25 Marzo	12.223	26.806	14.68	12.77	44.17	29.47	0.91		14.34
VIII-2	26 Mar-09 Abril	7.982	21.480	10.94	9.61	13.79	10.16	1.29		2.02
VIII-3	10-24 Abril	5.266	14.352	6.06	7.68	59.34	14.72	1.51		
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	4.531	1.094	5.86	8.63	218.75	7.66	0.80		7.11
VIII-5	10-24 Mayo	2.590	9.431	2.55	12.14	29.34	2.25	0.90	11.39	4.59
VIII-6	25 May-08 Junio	0.392	0.327	0.77	7.54	13.06	0.45	1.21		
IX-1	24 Sep-09 Octubre	19.206	17.916	23.73	40.99	235.33	20.65	1.01	40.92	3.60
IX-2	10-26 Octubre	23.080	40.794	34.04	17.03	4.26	28.87	11.50	14.14	9.54
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	25.756	53.249	35.71	31.83	77.17	19.58	10.71		4.43
IX-4	13-28 Noviembre	20.555	42.807	28.09	20.55	80.43	18.05	2.06	24.75	15.28
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	60.205	73.952	45.28	52.38	402.94	73.00	8.75	69.69	44.56
IX-6	15-24 Diciembre	18.781	45.672	28.17	23.26	400.17	26.46	1.30	6.58	18.46
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	18.898	40.946	16.17	25.65	175.48	32.85	6.69		7.95
IX-8	04-13 Enero	9.349	12.186	9.10	9.03	81.91	1.23	5.67		5.79
IX-9	14-23 Enero	6.886	18.655	8.56	8.17	60.05	7.97	0.62	5.08	
IX-10	24 Ene-02 Febrero	3.469	4.579	3.05	9.49	81.52	1.15			
IX-11	03-12 Febrero	1.908	4.736	2.36	6.83	84.94	4.14	0.35	1.58	
IX-12	13-22 Febrero	3.418	6.292	2.75	4.49	11.78	3.84	0.41	2.47	2.16
X-1	24 Feb-10 Marzo	5.570	23.680	7.85	5.27	444.38	10.65	0.08	8.07	
X-2	11-25 Marzo	6.437	28.480	11.25	8.73	92.66	12.00	1.42	8.53	2.31



X-3	26 Mar-09 Abril	6.561	25.260	8.72	8.81	222.61	11.58	1.69	24.37	1.42
X-4	10 - 24 Abril	4.514	17.262	6.68	8.01	122.39	8.17	1.30	5.50	
X-5	25 Abr-09 Mayo	3.823	18.472	5.41	9.22	177.07	4.43	0.80	14.69	1.46
X-6	10-24 Mayo	3.902	15.156	5.14	5.02	359.98	10.74	0.08	3.27	
X-7	25 May-08 Junio	1.916	7.258	1.89	4.46	17.97	2.06	0.06	3.71	0.28
X-8	09-23 Junio	2.327	5.358	3.01	9.49	311.79	3.64	0.96	5.93	1.91
X-9	24 Jun-08 Julio	2.928	10.953	2.85	6.23	99.69	3.94	0.07	5.50	
X-10	09-23 Julio	3.138	13.240	3.84	7.21	279.29	5.90	0.98	3.12	3.37
X-11	24 Jul-07 Agosto	3.184	11.805	2.99	4.89	194.16	4.78	0.14	8.87	1.02
X-12	08-22 Agosto	6.219	20.499	5.14	7.20	182.82	11.03	1.76	0.67	
XI-1	24-31 Agosto	16.823	64.561	16.31	7.41	179.73	25.23	4.49	40.76	13.59
XI-2	01-08 Septiembre	21.677	94.510	26.41	7.50	468.21	32.17	5.53	46.47	3.87
XI-3	09-16 Septiembre	18.405	70.297	18.61	6.97	242.84	28.50	5.44	32.91	8.56
XI-4	17-24 Septiembre	16.493	85.740	16.82	6.37	333.80	30.11	3.63	55.17	1.13
XI-5	25 Sep-02 Octubre	10.794	54.171	9.81	3.88	145.53	18.60	3.03	29.59	2.59
XI-6	03-10 Octubre	14.736	54.447	13.31	5.24	214.79	24.08	3.55	36.66	6.44
XI-7	11-18 Octubre	14.309	61.926	10.67	5.44	222.84	25.99	3.34	32.04	6.10
XI-8	19-26 Octubre	19.456	86.962	20.08	7.34	257.94	32.72	5.22	35.82	9.36
XI-9	27 Oct-03 Noviembre	12.114	62.232	12.22	4.72	178.14	25.08	4.64	43.32	1.51
XI-10	04-11 Noviembre	7.746	38.274	6.91	3.22	115.43	13.67	2.29	17.86	2.30
XI-11	12-19 Noviembre	10.529	52.254	9.26	7.07	188.59	18.94	3.08	22.24	1.49
XI-12	20-29 Noviembre	17.357	69.034	17.81	10.39	190.67	29.26	4.47	23.80	7.30

**Anexo 6.** Flujos de Sc, Se, U, Sb, Mn, Zn, V, Ni y Sb ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) particulados en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años 2002 – 2005

Muestra	Fechas	Sc	Se	U	Sb	Mn	Zn	V	Ni
I-1	18-25 Enero de 2002	6.09	0.76	5.97	5.15	325.47	133.94	66.21	11.65
I-2	26 Ene-02 Febrero	4.49	0.60	1.40	5.15	303.32	357.49	37.99	19.97
I-3	03-10 Febrero	8.58	0.85	4.37	5.75	400.38	105.08	58.54	44.20
I-4	11-17 Febrero	10.42	0.49	4.06	5.07	330.89	129.70	85.37	52.66
I-5	18-24 Febrero	4.24	0.50	4.36	4.11	231.11	62.30	29.66	28.93
I-6	25 Feb-03 Marzo	9.78	1.90	13.81	6.18	336.30	141.04	69.54	85.82
I-7	04-10 Marzo	4.47	0.36	7.32	2.35	246.42	70.30	31.17	38.63
I-8	11-17 Marzo	2.12	0.18	2.83	1.56	180.43	34.23	15.36	31.51
I-9	18-24 Marzo	2.46	0.84	3.16	1.95	165.45	36.66	17.06	11.70
I-10	25-30 Marzo	1.94	0.81	1.90	2.29	127.47	25.69	13.38	4.68
I-11	01-07 Abril	2.41	2.81	4.11	2.22	138.30	42.16	16.57	20.32
I-12	08-14 Abril	1.40	0.38	2.78	1.52	102.99	42.51	9.76	7.47
II-1	18-24 Abril	2.17	1.18	0.95	6.70	142.57	91.02	30.62	22.92
II-2	25 Abr-01 Mayo	2.62	1.02	0.73	6.45	180.43	50.93	21.28	19.87
II-3	02-08 Mayo	4.43	3.64	2.57	8.04	301.07	62.50	29.33	40.92
II-4	09-15 Mayo	4.52	0.86	2.72	7.11	299.53	62.81	30.72	38.39
II-5	16-22 Mayo	6.54	1.15	1.65	6.29	363.86	82.18	48.95	54.90
II-6	23-9 Mayo	4.84	0.37	3.41	7.20	362.66	71.04	37.28	42.44
II-7	30 May-06 Junio	3.55	1.04	1.96	7.41	200.51	101.68	36.32	47.30
II-8	07-14 Junio	3.54	1.90	6.24	5.66	187.66	54.09	25.81	30.14
II-9	15-22 Junio	0.74	1.27	3.75	5.68		17.84	6.45	9.67
II-10	23-30 Junio	0.02	0.78	2.77	1.12		2.97	0.30	0.93
II-11	01-08 Julio	0.01	0.46	0.98	0.26		7.98	0.07	0.57
II-12	09-16 Julio	0.04	1.28	0.49	1.23		7.77	0.17	0.49
III-2	15-22 Agosto	5.42	2.24	3.19	6.95	383.83	76.08	39.19	41.91
III-3	23-30 Agosto	5.91	4.43	3.58	5.89	304.40	87.58	43.86	43.30
III-4	31 Ago-06 Septiembre	7.41	3.50	4.85	8.47	419.50	81.53	36.75	37.45
III-5	07-13 Septiembre	6.70	1.22	0.67	7.38	449.45	131.61	45.05	27.71
III-6	14-20 Septiembre	8.70	1.20	8.24	10.00	420.28	132.86	70.93	44.48
III-7	21-27 Septiembre	8.83	1.86	3.21	8.65	348.22	112.49	82.60	52.38
III-8	28 Sep-04 Octubre	7.93	2.90	4.35	9.92	428.15	60.47	50.21	33.84
III-9	05-11 Octubre	8.98	2.12	0.85	0.07	520.54	96.22	55.81	49.39
III-10	12-18 Octubre	7.81	0.53	3.07	8.92	465.78	70.70	62.16	36.79
III-11	19-25 Octubre	5.10	1.43	2.85	8.85	323.93	85.59	46.05	31.89
III-12	26 Oct-01 Noviembre	4.79	0.43	2.73	10.03	286.00	91.91	30.25	28.20
IV-1	02-08 Noviembre	6.21	2.73	1.01	11.93	435.76	64.27	22.03	17.48
IV-2	09-15 Noviembre	11.00	2.53	5.59	12.71	607.85	128.87	36.16	33.31
IV-3	16-22 Noviembre	17.62	2.06	8.35	11.21	840.49	72.38	11.53	35.62
IV-4	23-29 Noviembre	7.76	1.83	3.28	9.97	590.12	71.52	45.33	33.23
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	3.32	1.63	3.14	9.05	410.23	49.02	17.41	15.47
IV-6	07-14 Diciembre	9.16	3.53	3.20	13.44	501.86	63.21	22.63	18.21
IV-7	15-22 Diciembre	11.61	2.15	6.31	13.41	593.51	88.98	13.60	42.30
IV-8	23-30 Diciembre	7.72	0.20	4.77	14.20	444.35	52.03	33.88	20.66
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	4.36	1.42	2.25	9.68	332.69	41.88	19.14	14.73
IV-10	08 Ene-23 Febrero	2.18	0.61	1.07	3.09	175.62	23.42	9.00	8.63
V-1	25 Feb-10 Marzo	2.88	0.56	1.95	1.24	202.12	22.46	8.41	8.69

V-2	11-24 Marzo	2.20	1.13	2.18	2.91	123.89	37.20	8.03	11.46
V-3	25 Mar-07 Abril	4.43	0.52	5.30	2.99	198.41	30.18	16.73	14.68
V-4	08-21 Abril	5.00	1.45	5.32	1.16	207.61	52.30	32.91	21.89
V-5	22 Abr-05 Mayo	1.47	0.05	0.66	0.26	71.42	37.79	10.57	10.84
V-6	06-19 Mayo	0.89	0.44	0.65	0.07	12.99	4.66	0.89	1.81
V-7	20 May-02 Junio	1.52	0.92	2.82	0.48	116.03	25.25	15.39	21.85
V-8	03-16 Junio	1.64	0.42	3.23	0.50	73.74	23.81	5.19	8.58
V-9	17-30 Junio	1.44	1.31	2.79	2.38	64.16	22.93	2.49	5.41
V-10	01-14 Julio	1.48	0.69	0.61	0.97	65.46	31.61	3.32	6.72
V-11	15-27 Julio	1.52	0.88	2.30	1.29	43.40	10.00	2.95	6.97
V-12	28 Jul-09 Agosto	2.10	0.44	7.18	2.07	87.45	8.92	3.18	5.75
VI-2	22-28 Agosto	52.80	3.28	3.60	1.92	2275.37	308.71	235.67	74.48
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	43.52	0.83	10.66	1.00	2248.88	283.94	167.29	76.04
VI-4	05-11 Septiembre	16.53	4.39	1.07	0.78	1244.02	110.55	102.21	50.22
VI-5	12-18 Septiembre	5.78	0.91	0.94	0.22	768.26	60.90	45.36	29.87
VI-6	19-25 Septiembre	38.38	4.56	2.31	3.21	2189.41	245.98	121.73	70.24
VI-7	26 Sep-03 Octubre	42.81	1.49	3.60	5.59	1676.10	212.58	126.94	64.56
VII-1	14-22 Noviembre	11.49	3.94	4.56	1.16	1405.16	121.54	44.95	39.13
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	8.25	0.74	2.88	0.74	894.91	61.95	30.27	26.74
VII-3	02-10 Diciembre	14.56	1.41	3.87	1.00	1364.40	110.64	50.33	41.28
VII-4	11-19 Diciembre	21.45	2.29	4.04	0.17	1495.40	144.71	74.46	53.69
VII-5	20-28 Diciembre	7.24	0.56	2.45	0.99	655.43	64.75	28.11	32.31
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	14.33	5.54	5.97	0.43	972.03	117.89	53.37	41.49
VII-7	07-15 Enero	4.52	0.54	1.93	0.26	422.11	52.54	18.21	21.64
VII-8	16-24 Enero	2.10	6.99	1.04	0.40	267.33	30.32	7.98	11.78
VII-9	25 Ene-02 Febrero	1.91	1.59	0.97	0.09	248.32	28.23	6.74	10.39
VII-10	03-11 Febrero	3.27	0.67	1.62	0.64	398.35	39.77	11.66	16.22
VII-11	12-20 Febrero	5.69	5.40	1.88	0.97	473.35	49.98	17.60	27.68
VII-12	21-29 Febrero	1.73	2.01	0.64	0.36	221.71	25.02	5.26	8.07
VIII-1	11-25 Marzo	4.58	15.43	1.59	0.16	610.52	45.19	11.34	20.68
VIII-2	26 Mar-09 Abril	3.47	1.22	0.75	0.45	349.78	27.01	17.36	22.43
VIII-3	10-24 Abril	2.11	0.82	0.29	0.32	186.34	24.67	8.06	15.21
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	1.56	5.90	0.75	0.52	199.97	25.90	7.73	17.28
VIII-5	10-24 Mayo	1.03	7.73	0.14	0.42	81.45	12.27	3.66	11.69
VIII-6	25 May-08 Junio	0.42	3.95	0.25		25.77	8.21	2.14	3.43
IX-1	24 Sep-09 Octubre	6.50	2.95	1.25	0.27	488.75	59.33	39.91	15.70
IX-2	10-26 Octubre	8.30	6.90	3.81	1.77	774.39	70.01	48.80	16.92
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	9.94	11.87	1.72	0.66	768.35	72.38	54.73	17.56
IX-4	13-28 Noviembre	8.27	12.24	1.04	0.96	591.13	60.69	50.95	15.96
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	21.52	8.39	5.88	8.89	893.95	142.67	58.30	24.17
IX-6	15-24 Diciembre	7.35	32.23	0.53	2.38	579.29	60.98	23.32	16.45
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	7.73	13.32	3.26	0.18	309.08	38.17	23.91	13.88
IX-8	04-13 Enero	3.19	11.07	0.41	0.15	232.92	33.67	19.31	14.23
IX-9	14-23 Enero	3.09	2.68	1.08	0.18	178.87	14.52	14.52	13.11
IX-10	24 Ene. - 02 Feb. 2005	1.18	2.32	0.34	0.38	104.88	6.51	6.51	8.14
IX-11	03 - 12 Feb. 2005	0.92	0.34	0.29	0.05	76.98	4.29	4.29	5.16
IX-12	13-22 Febrero	1.14	0.56	0.32	0.05	69.44	7.14	7.14	7.46
X-1	24 Feb-10 Marzo	2.05	0.18	0.20	0.12	160.74	41.47	7.15	11.35
X-2	11-25 Marzo	2.70	1.35	0.38	0.39	190.14	98.36	20.42	22.31
X-3	26 Mar-09 Abril	2.38	0.26	0.81	0.16	126.72	55.44	19.22	22.69
X-4	10 - 24 Abril	1.85	0.66	0.25	0.22	104.43	39.95	10.91	10.07

<b>X-5</b>	25 Abr-09 Mayo	1.47	0.33	0.58	0.00	102.66	25.06	10.12	13.91
<b>X-6</b>	10-24 Mayo	1.51	0.90	0.27	0.06	126.54	39.99	10.51	15.79
<b>X-7</b>	25 May-08 Junio	0.80	0.19	0.16	0.02	49.54	32.77	3.37	5.54
<b>X-8</b>	09-23 Junio	1.01	0.81	0.88	0.19	76.76	28.60	6.93	13.53
<b>X-9</b>	24 Jun-08 Julio	1.00	0.21	0.30	0.12	64.41	11.87	6.16	10.73
<b>X-10</b>	09-23 Julio	1.24	0.93	0.22	0.60	85.82	24.79	10.08	17.11
<b>X-11</b>	24 Jul-07 Agosto	1.09	0.98	0.08	0.02	65.41	14.04	7.00	9.86
<b>X-12</b>	08-22 Agosto	1.80	0.55	0.76	0.21	133.85	20.26	11.78	12.92
<b>XI-1</b>	24-31 Agosto	5.67	2.75	2.29	0.24	346.82	87.20	43.29	38.43
<b>XI-2</b>	01-08 Septiembre	7.70	0.35	0.42	1.53	495.27	87.43	47.96	43.51
<b>XI-3</b>	09-16 Septiembre	6.34	0.33	0.26	0.58	443.89	185.10	41.34	44.37
<b>XI-4</b>	17-24 Septiembre	5.76	0.20	0.73	0.42	351.14	271.89	37.48	52.45
<b>XI-5</b>	25 Sep-02 Octubre	3.51	1.14	1.30	0.05	231.36	34.53	16.57	21.12
<b>XI-6</b>	03-10 Octubre	5.05	1.73	1.17	0.19	296.96	42.45	25.60	24.62
<b>XI-7</b>	11-18 Octubre	5.25	3.52	0.62	0.70	307.19	44.21	22.29	22.33
<b>XI-8</b>	19-26 Octubre	6.74	4.18	1.03	0.33	409.09	64.04	35.99	41.63
<b>XI-9</b>	27 Oct-03 Noviembre	4.35	1.59	1.59	0.16	323.65	55.69	23.21	26.76
<b>XI-10</b>	04-11 Noviembre	2.62	0.81	0.68	0.06	205.68	25.98	12.83	13.83
<b>XI-11</b>	12-19 Noviembre	3.81	0.26	0.42	0.14	225.56	34.73	18.45	21.14
<b>XI-12</b>	20-29 Noviembre	5.99	1.20	1.93	0.77	267.33	61.49	35.85	32.42

**Anexo 7.** Flujos de Cu, Sr, Mo, Cd y Pb ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) particulado en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz durante los años 2002 - 2005

<b>Muestra</b>	<b>Fechas</b>	<b>Cu</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
I-1	18-25 Enero de 2002	23.92	703.12	3.23	1.85	25.13
I-2	26 Ene-02 Febrero	22.42	455.30	3.31	1.06	22.39
I-3	03-10 Febrero	22.18	1268.17	6.20	3.89	31.25
I-4	11-17 Febrero	29.67	852.54	1.44	1.74	24.53
I-5	18-24 Febrero	16.11	367.84	0.66	0.86	15.62
I-6	25 Feb-03 Marzo	32.08	1016.55	0.82	2.98	25.95
I-7	04-10 Marzo	16.97	497.69	0.48	3.34	14.37
I-8	11-17 Marzo	8.69	396.21	2.59	0.22	10.72
I-9	18-24 Marzo	7.44	157.05	1.03	0.06	10.82
I-10	25-30 Marzo	7.54	135.36	0.69	0.04	9.31
I-11	01-07 Abril	8.36	166.46	0.49	0.07	9.96
I-12	08-14 Abril	9.03	92.91	0.52	0.05	8.95
II-1	18-24 Abril	19.02	590.56	0.16	0.08	12.11
II-2	25 Abr-01 Mayo	14.48	368.99	1.14	1.04	14.43
II-3	02-08 Mayo	18.73	497.04	1.75	1.07	18.50
II-4	09-15 Mayo	17.47	391.79	1.42	0.99	15.87
II-5	16-22 Mayo	23.43	543.84	1.25	1.47	21.33
II-6	23-9 Mayo	21.12	517.45	1.30	1.23	21.97
II-7	30 May-06 Junio	26.26	502.18	0.76	0.37	13.01
II-8	07-14 Junio	15.87	387.44	0.68	0.80	16.02
II-9	15-22 Junio	9.57	208.65	0.05	0.11	3.38
II-10	23-30 Junio	1.06	66.02			1.49
II-11	01-08 Julio	0.50	91.21	0.50	0.05	0.61
II-12	09-16 Julio	3.00	132.82			1.19
III-2	15-22 Agosto	22.55	471.99	1.20	1.07	22.47
III-3	23-30 Agosto	24.29	494.30	2.62	1.74	29.52
III-4	31 Ago-06 Septiembre	22.44	566.66	0.94	1.32	32.53
III-5	07-13 Septiembre	18.36	535.32	0.67	1.22	16.62
III-6	14-20 Septiembre	25.01	718.32	0.64	0.69	20.21
III-7	21-27 Septiembre	25.92	752.53	0.45	0.67	19.13
III-8	28 Sep-04 Octubre	27.19	716.30	0.38	0.67	19.39
III-9	05-11 Octubre	36.72	816.93	0.66	0.65	26.49
III-10	12-18 Octubre	29.48	673.32	1.36	1.72	25.47
III-11	19-25 Octubre	25.18	439.72	0.70	0.31	22.39
III-12	26 Oct-01 Noviembre	27.38	462.18	3.00	0.31	27.52
IV-1	02-08 Noviembre	41.30	763.94	4.52	0.56	15.09
IV-2	09-15 Noviembre	87.95	810.67	5.32	1.70	27.44
IV-3	16-22 Noviembre	33.11	2076.06	3.73	1.32	13.82
IV-4	23-29 Noviembre	63.75	1020.59	2.99	1.78	32.24
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	32.33	835.43	0.80	0.70	9.56
IV-6	07-14 Diciembre	43.36	1041.57	1.38	1.43	12.73
IV-7	15-22 Diciembre	48.21	981.31	1.67	0.80	15.11
IV-8	23-30 Diciembre	45.89	664.41	1.28	0.67	12.19
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	34.14	508.84	1.04	0.54	7.73
IV-10	08 Ene-23 Febrero	20.53	230.61	0.78	0.30	4.60
V-1	25 Feb-10 Marzo	15.94	863.87	0.31	0.15	4.01

V-2	11-24 Marzo	8.76	638.25	0.26	0.20	3.21
V-3	25 Mar-07 Abril	26.32	903.45	0.69	0.32	4.60
V-4	08-21 Abril	32.36	884.98	0.93	0.42	4.74
V-5	22 Abr-05 Mayo	17.47	518.02	0.18	0.15	1.29
V-6	06-19 Mayo	1.39	118.95	0.06	0.05	0.51
V-7	20 May-02 Junio	24.04	795.77	0.31	0.41	2.79
V-8	03-16 Junio	44.49	601.09	0.24	0.32	2.37
V-9	17-30 Junio	9.29	611.35	0.30	0.57	2.91
V-10	01-14 Julio	6.62	529.22	0.48	0.69	6.31
V-11	15-27 Julio	8.04	351.20	0.45	0.42	4.15
V-12	28 Jul-09 Agosto	5.73	544.68	0.31	0.22	3.67
VI-2	22-28 Agosto	66.84	819.17	1.75	2.40	34.40
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	62.05	745.10	1.53	2.46	35.24
VI-4	05-11 Septiembre	34.37	766.61	1.09	1.72	19.61
VI-5	12-18 Septiembre	18.07	460.59	0.61	1.51	10.73
VI-6	19-25 Septiembre	67.04	1401.18	2.16	2.26	36.47
VI-7	26 Sep-03 Octubre	72.00	966.86	2.02	2.04	30.66
VII-1	14-22 Noviembre	27.50	525.74	0.79	1.14	18.36
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	19.41	443.89	0.66	1.99	14.26
VII-3	02-10 Diciembre	28.52	710.64	1.10	1.64	21.88
VII-4	11-19 Diciembre	37.56	1027.56	1.46	2.50	25.18
VII-5	20-28 Diciembre	20.09	535.58	0.78	2.17	12.18
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	28.30	908.34	1.15	2.80	18.31
VII-7	07-15 Enero	15.68	1.70	0.59	1.60	10.36
VII-8	16-24 Enero	7.58	155.36	0.25	0.87	4.70
VII-9	25 Ene-02 Febrero	7.71	154.31	0.20	0.67	5.64
VII-10	03-11 Febrero	10.93	155.36	0.41	1.06	7.46
VII-11	12-20 Febrero	15.81	360.22	0.80	1.65	10.40
VII-12	21-29 Febrero	5.51	138.72	0.26	0.93	5.37
VIII-1	11-25 Marzo	14.47	11.83	0.55	1.36	14.22
VIII-2	26 Mar-09 Abril	10.38	238.79	0.52	0.96	7.62
VIII-3	10-24 Abril	7.17	157.54	0.24	1.35	4.86
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	6.63	123.60	0.40	1.03	5.37
VIII-5	10-24 Mayo	3.97	70.56	0.21	0.94	2.92
VIII-6	25 May-08 Junio	6.37	31.30	0.31	0.39	0.77
IX-1	24 Sep-09 Octubre	16.26	399.99	0.72	1.26	13.61
IX-2	10-26 Octubre	19.25	513.21	0.96	1.53	16.80
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	21.16	617.86	1.10	1.54	13.64
IX-4	13-28 Noviembre	17.70	4.14	0.96	1.32	13.21
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	20.82	635.70	2.10	2.63	40.51
IX-6	15-24 Diciembre	13.27	447.23	0.90	1.77	22.89
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	12.09	0.02	0.80	2.31	18.48
IX-8	04-13 Enero	8.79	173.08	0.56	1.04	6.43
IX-9	14-23 Enero	7.84	154.73	0.47	0.76	5.50
IX-10	24 Ene. - 02 Feb. 2005	5.07	72.90	0.60	0.65	3.16
IX-11	03 - 12 Feb. 2005	3.34	43.87	0.17	0.24	2.42
IX-12	13-22 Febrero	4.64	64.71	0.30	0.31	2.67
X-1	24 Feb-10 Marzo	16.53	188.47	0.51	0.51	7.21
X-2	11-25 Marzo	90.96	281.82	0.67	0.63	4.56
X-3	26 Mar-09 Abril	84.72	213.36	1.03	1.04	5.40
X-4	10 - 24 Abril	46.91	119.10	0.34	0.60	2.66

<b>X-5</b>	25 Abr-09 Mayo	12.97	152.33	0.32	1.31	2.49
<b>X-6</b>	10-24 Mayo	41.54	137.95	0.27	0.34	2.72
<b>X-7</b>	25 May-08 Junio	20.73	52.09	0.11	0.20	1.14
<b>X-8</b>	09-23 Junio	12.28	113.91	0.34	0.62	1.91
<b>X-9</b>	24 Jun-08 Julio	17.96	83.57	0.20	0.38	1.70
<b>X-10</b>	09-23 Julio	30.56	96.24	0.25	0.47	1.71
<b>X-11</b>	24 Jul-07 Agosto	17.94	78.50	0.28	0.30	1.84
<b>X-12</b>	08-22 Agosto	34.18	135.77	0.39	0.36	3.07
<b>XI-1</b>	24-31 Agosto	180.81	320.32	0.67	0.75	7.56
<b>XI-2</b>	01-08 Septiembre	67.02	542.08	0.75	1.18	12.28
<b>XI-3</b>	09-16 Septiembre	62.71	359.85	0.91	0.95	9.08
<b>XI-4</b>	17-24 Septiembre	67.42	390.83	0.91	1.12	8.42
<b>XI-5</b>	25 Sep-02 Octubre	28.48	221.78	0.45	0.56	5.17
<b>XI-6</b>	03-10 Octubre	37.69	271.87	0.55	0.64	7.40
<b>XI-7</b>	11-18 Octubre	33.32	256.92	0.42	0.65	7.01
<b>XI-8</b>	19-26 Octubre	61.12	471.65	0.77	0.76	9.87
<b>XI-9</b>	27 Oct-03 Noviembre	32.14	262.81	0.57	0.68	7.68
<b>XI-10</b>	04-11 Noviembre	18.31	162.37	0.28	0.41	4.52
<b>XI-11</b>	12-19 Noviembre	25.92	235.63	0.46	0.77	5.32
<b>XI-12</b>	20-29 Noviembre	51.22	382.81	0.71	0.90	7.17

---

**Anexo 8.** Flujo de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Er, Yb y Lu ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) particulado en la MPH de la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante los años 2002-2005.

Muestra	Fechas	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Er	Yb	Lu
I-1	18-25 Enero de 2002	11.10	21.42	9.04	2.33	0.25	0.45	1.58	1.29	0.21
I-2	26 Ene-02 Febrero	7.96	14.19	5.75	1.50	0.17	0.24	0.69	0.49	0.08
I-3	03-10 Febrero	12.08	23.59	10.87	2.97	0.26	0.49	1.45	1.03	0.16
I-4	11-17 Febrero	17.95	32.78	13.33	3.31	0.15	0.49	1.24	0.80	0.12
I-5	18-24 Febrero	5.25	10.27	4.79	1.34	0.14	0.21	0.59	0.40	0.06
I-6	25 Feb-03 Marzo	14.81	29.29	12.78	3.42	0.33	0.52	1.46	1.01	0.15
I-7	04-10 Marzo	7.47	13.84	5.77	1.46	0.13	0.26	0.82	0.64	0.10
I-8	11-17 Marzo	2.57	5.39	2.78	0.79	0.06	0.19	0.76	0.65	0.12
I-9	18-24 Marzo	2.75	5.68	2.90	0.81	0.09	0.13	0.34	0.22	0.03
I-10	25-30 Marzo	1.02	2.71	2.26	0.78	0.08	0.16	0.48	0.36	0.06
I-11	01-07 Abril	3.21	6.86	3.33	0.92	0.13	0.19	0.59	0.46	0.07
I-12	08-14 Abril	2.35	4.26	2.00	0.51	0.04	0.10	0.31	0.23	0.04
II-1	18-24 Abril	2.71	5.67	2.79	0.76	0.09	0.18	0.72	0.62	0.10
II-2	25 Abr-01 Mayo	8.45	13.93	4.46	1.00	0.17	0.18	0.62	0.49	0.08
II-3	02-08 Mayo	7.24	13.12	5.37	1.30	0.07	0.27	1.08	0.96	0.17
II-4	09-15 Mayo	7.64	15.05	6.86	1.82	0.06	0.34	1.16	0.93	0.15
II-5	16-22 Mayo	10.59	19.97	8.00	1.96	0.27	0.45	1.82	1.54	0.28
II-6	23-9 Mayo	9.18	15.80	6.15	1.55	0.27	0.31	1.08	0.89	0.14
II-7	30 May-06 Junio	4.54	9.13	4.27	1.12	0.17	0.25	1.01	0.85	0.16
II-8	07-14 Junio	2.63	6.26	3.79	1.15	0.20	0.28	1.17	1.07	0.18
II-9	15-22 Junio	1.07	2.28	1.25	0.35	0.09	0.07	0.24	0.20	0.03
II-10	23-30 Junio	0.86	1.92	1.22	0.38	0.20	0.11	0.59	0.63	0.12
II-11	01-08 Julio	0.29	0.58	0.29	0.08	0.04	0.03	0.21	0.27	0.05
II-12	09-16 Julio	0.51	1.41	1.24	0.46	0.03	0.12	0.53	0.48	0.08
III-2	15-22 Agosto	7.04	14.14	6.65	1.70	0.23	0.33	1.18	0.95	0.16
III-3	23-30 Agosto	6.58	13.47	6.66	1.81	0.40	0.29	0.87	0.64	0.10
III-4	31 Ago-06 Septiembre	10.68	19.77	8.10	2.06	0.22	0.39	1.43	1.17	0.19
III-5	07-13 Septiembre	10.88	20.16	8.28	2.05	0.38	0.42	1.52	1.23	0.21
III-6	14-20 Septiembre	12.13	23.24	10.41	2.77	0.47	0.48	1.49	1.09	0.17
III-7	21-27 Septiembre	12.59	23.79	9.91	2.51	0.17	0.45	1.37	1.02	0.16
III-8	28 Sep-04 Octubre	9.60	18.59	8.50	2.21	0.47	0.44	1.47	1.16	0.18
III-9	05-11 Octubre	26.66	49.87	20.88	5.06	1.27	0.95	3.35	2.61	0.43
III-10	12-18 Octubre	10.43	19.38	8.00	1.99	0.66	0.37	1.15	0.87	0.14
III-11	19-25 Octubre	7.06	13.29	5.68	1.48	0.11	0.28	0.92	0.72	0.11
III-12	26 Oct-01 Noviembre	7.34	13.83	5.91	1.47	0.24	0.23	0.63	0.43	0.06
IV-1	02-08 Noviembre	3.03	7.03	4.44	1.37	0.11	0.26	0.82	0.61	0.10
IV-2	09-15 Noviembre	13.81	26.27	11.12	2.91	0.19	0.47	1.41	1.01	0.16
IV-3	16-22 Noviembre	12.68	28.05	15.90	4.64	0.42	0.78	2.35	1.67	0.26
IV-4	23-29 Noviembre	9.35	18.45	8.50	2.17	0.34	0.48	1.75	1.44	0.24
IV-5	30 Nov-06 Diciembre	6.34	12.52	5.78	1.47	0.12	0.28	0.94	0.71	0.12
IV-6	07-14 Diciembre	10.11	19.63	8.45	2.08	0.36	0.36	1.17	0.88	0.14
IV-7	15-22 Diciembre	8.20	18.00	10.92	3.40	0.53	0.59	1.68	1.19	0.19
IV-8	23-30 Diciembre	10.19	19.65	8.53	2.17	0.42	0.39	1.31	1.02	0.16
IV-9	31Dic-07 Enero de 2003	3.30	7.92	5.16	1.61	0.22	0.31	1.04	0.79	0.13
IV-10	08 Ene-23 Febrero	2.57	5.12	2.41	0.62	0.11	0.13	0.49	0.40	0.07
V-1	25 Feb-10 Marzo	2.73	5.50	2.66	0.70	0.17	0.12	0.38	0.27	0.04



V-2	11-24 Marzo	2.52	5.20	2.46	0.68	0.05	0.13	0.44	0.35	0.06
V-3	25 Mar-07 Abril	2.96	7.16	4.61	1.47	0.05	0.25	0.75	0.53	0.08
V-4	08-21 Abril	4.07	9.20	5.49	1.67	0.19	0.33	1.04	0.81	0.13
V-5	22 Abr-05 Mayo	0.83	1.94	1.35	0.43	0.10	0.10	0.35	0.29	0.05
V-6	06-19 Mayo	0.32	0.70	0.41	0.11	0.05	0.02	0.09	0.08	0.01
V-7	20 May-02 Junio	0.74	1.75	1.25	0.39	0.13	0.10	0.42	0.39	0.07
V-8	03-16 Junio	1.15	2.82	2.09	0.67	0.01	0.11	0.30	0.21	0.03
V-9	17-30 Junio	1.61	2.52	0.77	0.17	0.04	0.04	0.24	0.29	0.05
V-10	01-14 Julio	2.21	4.08	1.86	0.46	0.15	0.10	0.42	0.39	0.07
V-11	15-27 Julio	1.99	3.76	1.42	0.34	0.02	0.08	0.32	0.28	0.05
V-12	28 Jul-09 Agosto	2.09	4.71	2.49	0.71	0.04	0.12	0.40	0.29	0.05
VI-2	22-28 Agosto	53.13	100.91	42.83	11.08	0.86	1.81	5.07	3.46	0.54
VI-3	29 Ago 04 Septiembre	46.84	87.03	36.21	9.10	1.20	1.89	6.58	5.38	0.90
VI-4	05-11 Septiembre	20.73	38.22	14.81	3.70	0.05	0.67	2.09	1.59	0.26
VI-5	12-18 Septiembre	10.28	18.21	6.85	1.58	0.13	0.30	1.13	0.92	0.15
VI-6	19-25 Septiembre	49.53	91.98	36.39	8.83	1.68	1.68	5.69	4.38	0.71
VI-7	26 Sep-03 Octubre	52.97	94.54	38.18	9.55	0.77	1.82	5.79	4.47	0.71
VII-1	14-22 Noviembre	16.09	29.78	11.19	2.65	0.18	0.51	1.70	1.31	0.21
VII-2	23 Nov-01 Diciembre	13.26	24.43	9.30	2.22	0.16	0.44	1.49	1.17	0.19
VII-3	02-10 Diciembre	18.60	35.60	15.03	3.87	0.37	0.67	1.91	1.33	0.21
VII-4	11-19 Diciembre	29.65	54.88	21.87	5.32	0.40	1.01	3.24	2.54	0.40
VII-5	20-28 Diciembre	10.80	19.51	7.31	1.66	0.13	0.32	1.18	0.98	0.15
VII-6	29 Dic-06 Enero de 2004	19.78	36.12	15.43	3.90	0.22	0.65	1.81	1.22	0.19
VII-7	07-15 Enero	7.25	12.80	4.87	1.11	0.11	0.19	0.60	0.46	0.07
VII-8	16-24 Enero	2.19	4.18	1.94	0.49	0.23	0.11	0.49	0.44	0.08
VII-9	25 Ene-02 Febrero	3.30	5.51	2.06	0.47	0.09	0.11	0.51	0.50	0.09
VII-10	03-11 Febrero	4.87	8.72	3.40	0.81	0.04	0.13	0.39	0.28	0.04
VII-11	12-20 Febrero	8.21	16.08	7.28	1.85	0.15	0.30	0.94	0.69	0.11
VII-12	21-29 Febrero	2.18	4.19	1.85	0.47	0.03	0.09	0.33	0.27	0.04
VIII-1	11-25 Marzo	1.95	5.39	4.24	1.43	0.13	0.21	0.53	0.34	0.05
VIII-2	26 Mar-09 Abril	4.56	8.36	3.47	0.89	0.19	0.12	0.29	0.18	0.03
VIII-3	10-24 Abril	2.53	4.12	1.40	0.32	0.13	0.05	0.14	0.10	0.02
VIII-4	25 Abr-09 Mayo	3.47	6.25	2.43	0.57	0.21	0.10	0.32	0.25	0.04
VIII-5	10-24 Mayo	0.83	1.95	1.19	0.35	0.10	0.08	0.32	0.28	0.05
VIII-6	25 May-08 Junio	0.45	1.02	0.55	0.15	0.08	0.03	0.10	0.08	0.01
IX-1	24 Sep-09 Octubre	7.89	16.04	7.94	2.18	0.10	0.33	0.80	0.52	0.08
IX-2	10-26 Octubre	11.50	21.29	8.69	2.19	0.37	0.33	0.85	0.57	0.09
IX-3	27 Oct-12 Noviembre	14.57	29.90	14.28	3.86	0.35	0.61	1.51	0.96	0.14
IX-4	13-28 Noviembre	11.18	20.81	8.98	2.26	0.43	0.26	0.49	0.26	0.03
IX-5	29 Nov-14 Diciembre	25.03	51.31	25.00	6.68	0.73	1.15	3.13	2.13	0.33
IX-6	15-24 Diciembre	13.45	22.73	7.93	1.85	0.70	0.25	0.64	0.42	0.06
IX-7	25 Dic-03 Enero de 2005	11.43	21.33	9.27	2.38	0.34	0.52	1.98	1.58	0.28
IX-8	04-13 Enero	1.67	4.36	3.16	1.05	0.09	0.16	0.37	0.23	0.03
IX-9	14-23 Enero	3.45	6.77	3.16	0.85	0.13	0.13	0.34	0.22	0.03
IX-10	24 Ene- 02 Febrero	2.25	4.08	1.57	0.39	0.02	0.05	0.14	0.09	0.01
IX-11	03 - 12 Febrero	1.97	3.40	1.11	0.25	0.05	0.04	0.10	0.07	0.01
IX-12	13-22 Febrero	1.94	3.75	1.62	0.41	0.05	0.06	0.15	0.10	0.01
X-1	24 Feb-10 Marzo	3.50	6.09	2.37	0.58	0.18	0.07	0.17	0.10	0.01
X-2	11-25 Marzo	4.09	7.75	3.12	0.77	0.08	0.11	0.27	0.18	0.03
X-3	26 Mar-09 Abril	4.14	7.69	3.28	0.82	0.07	0.14	0.46	0.34	0.06
X-4	10 - 24 Abril	2.50	4.75	1.96	0.47	0.04	0.10	0.37	0.32	0.05

X-5	25 Abr-09 Mayo	1.99	4.10	1.96	0.51	0.05	0.09	0.27	0.20	0.03
X-6	10-24 Mayo	1.95	3.90	1.82	0.47	0.03	0.11	0.43	0.39	0.07
X-7	25 May-08 Junio	1.02	2.02	0.83	0.21	0.03	0.04	0.15	0.12	0.02
X-8	09-23 Junio	0.24	0.76	0.98	0.42	0.10	0.10	0.39	0.33	0.06
X-9	24 Jun-08 Julio	1.92	3.28	1.14	0.26	0.06	0.05	0.21	0.18	0.03
X-10	09-23 Julio	1.77	3.60	1.78	0.46	0.03	0.09	0.32	0.25	0.04
X-11	24 Jul-07 Agosto	1.75	3.40	1.53	0.39	0.07	0.08	0.27	0.22	0.03
X-12	08-22 Agosto	2.40	4.75	2.13	0.56	0.04	0.12	0.47	0.40	0.07
XI-1	24-31 Agosto	6.39	11.72	4.83	1.20	0.05	0.23	0.99	0.89	0.16
XI-2	01-08 Septiembre	9.97	17.95	7.64	1.92	0.81	0.41	1.61	1.41	0.24
XI-3	09-16 Septiembre	8.95	15.98	6.14	1.51	0.36	0.32	1.18	0.96	0.16
XI-4	17-24 Septiembre	8.31	14.40	5.22	1.28	0.41	0.26	0.95	0.79	0.13
XI-5	25 Sep-02 Octubre	4.93	9.06	3.72	0.96	0.25	0.19	0.63	0.50	0.08
XI-6	03-10 Octubre	6.49	12.09	4.91	1.25	0.42	0.21	0.64	0.45	0.07
XI-7	11-18 Octubre	6.10	11.45	4.65	1.21	0.29	0.22	0.67	0.52	0.08
XI-8	19-26 Octubre	9.21	16.80	6.81	1.74	0.55	0.29	0.86	0.61	0.10
XI-9	27 Oct-03 Noviembre	5.84	10.78	4.32	1.11	0.38	0.18	0.53	0.38	0.06
XI-10	04-11 Noviembre	3.52	6.38	2.70	0.68	0.26	0.13	0.47	0.39	0.07
XI-11	12-19 Noviembre	4.52	7.98	3.14	0.78	0.32	0.12	0.33	0.22	0.03
XI-12	20-29 Noviembre	7.36	13.61	5.69	1.44	0.47	0.29	1.00	0.80	0.13

---