



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



DEPARTAMENTO DE OCEANOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA POR COMPONENTES MAYORES Y
ELEMENTOS TRAZA DE SEDIMENTOS DE LOS AMBIENTES MARINOS
COSTEROS ADYACENTES A LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA

TESIS COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN CIENCIAS MARINAS

P R E S E N T A :

GUADALUPE DURGA RODRÍGUEZ MEZA

LA PAZ, B. C. S. MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2004



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 10:00 horas del día 01 del mes de Diciembre del 2004 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:

**“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA POR COMPONENTES MAYORES Y ELEMENTOS TRAZA DE
 SEDIMENTOS DE LOS AMBIENTES MARINOS COSTEROS ADYACENTES A LA PENÍNSULA
 DE BAJA CALIFORNIA”**

Presentada por el alumno:

RODRÍGUEZ

Apellido paterno

MEZA

materno

GUADALUPE DURGA

nombre(s)

Con registro:

A	0	0	0	0	1	2
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

DOCTOR 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

DRA. MARIA MARGARITA CASAS VALDEZ

SEGUNDO VOCAL

VIKTOROVICH DR. OLEG ZAITSEV

TERCER VOCAL

DRA. LÍA MÉNDEZ RODRÍGUEZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 13 del mes Diciembre del año 2004, el (la) que suscribe GUADALUPE DURGA RODRÍGUEZ MEZA alumno(a) del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS con número de registro A000012 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 NIKILAYEVICH y cede los derechos del trabajo titulado: **"CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA POR COMPONENTES MAYORES Y ELEMENTOS TRAZA DE SEDIMENTOS DE LOS AMBIENTES MARINOS COSTEROS ADYACENTES A LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA "** 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: gmeza@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


GUADALUPE DURGA RODRÍGUEZ MEZA
nombre y firma

José Enrique Cordero Estrada[†]



DEDICATORIAS

A mis padres por ser mis mejores compañeros en todo momento, por brindarme el apoyo y la fortaleza de seguir siempre adelante

A mi hermano por todo el cariño, la dicha de estar siempre juntos a pesar de la distancia, la alegría de compartir muchos momentos agradables y por hacerme la tía más feliz del mundo

A Cassi porque su llegada trajo alegría a mi vida y al hogar. Eres mi flamingo y mi sobrinita consentida

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Evgueni Choumiline** por haberme motivado a desarrollar este trabajo, sus valiosos comentarios, su comprensión y por estar siempre dispuesto a apoyarme cuando lo necesite.

A Lía Méndez por su sencillez y amabilidad en su trato conmigo, y por abrirme las puertas para iniciar mi camino en la investigación. Además de ser mi ejemplo a seguir. Muchas pero muchas gracias. Así mismo, a Baudilio Acosta quien es una estupenda persona y con la que fue grato trabajar muchas veces, gracias por permitirme trabajar con el equipo y hacer con el lo que yo quisiera.

A los profesores-investigadores Dr. Norman Silverberg, Dra. Margarita Casas y Dr. Oleg Zaitsev porque su dedicación al desarrollo de nuevos proyectos y la crítica de estos, me motivó a tratar de mejorar cada día el desarrollo de la tesis. Agradezco a todos ellos la revisión del escrito y las aportaciones.

A Lilianita, Maricela y Fergi por todos los momentos que compartimos desde la universidad (prácticas, sesiones de laboratorio, juegos y charlas), por seguir juntos a pesar de nuestras discusiones.

A Paty por todas las pláticas y charlas, gracias por abrirme el panorama de la vida. A Carlos Romero por sus pláticas de larga distancia, su amistad y por el ánimo a pensar de nuestros problemas. Gracias por ayudarme a entender lo importante de una sonrisa. Al Dr. Rafael Cervantes por sus comentarios, la convivencia y por las pláticas. Gracias por los calificativos. Así como a Juan Fuentes por su sencillez, la motivación y por ser mi paño de lágrimas cuando más lo necesite. Te agradezco por estar ahí a pesar de mi humor. A Omar por su calidez y motivación a la locura. A Mirtha porque es un ejemplo a seguir, la fortaleza y por ser "sencillita y carismática"... y por auxiliarme cuando lo requerí.

A Martín Hernández por la ayuda para procesar los datos y por escucharme en todo momento (sera!). A Irene Rochin por todas las cuestiones administrativas y por ser muy generosa, y a ambos por compartir conmigo los días de juego.

Así mismo, a todas aquellas personas con las que conviví muchos momentos agradables: Amada, Alma, Alida, Hora, Juan, Rene, Juan, Sergio Aguiñiga, Janette, Chihuahua, Claudia. Sin olvidar a aquellas personas sencillas y agradables con las que pase muchos viernes conviviendo en el manglar, gracias por permitirme estar ahí con ustedes.

Agradezco el apoyo brindado para la realización de este trabajo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI).

ÍNDICE GENERAL

CONTENID	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
2. 1. Bahía Concepción.....	6
2. 2. Complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	8
2. 3. Santa Rosalía.....	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	13
5. OBJETIVO GENERAL.....	14
Objetivos particulares.....	14
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	15
6. 1. Santa Rosalía.....	15
6. 2. Bahía Concepción.....	17
6. 3. Complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	19
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
7. 1. Análisis químico.....	29
7. 1. 1. Determinación de carbono orgánico y carbonatos.....	30
7. 1. 2. Método de activación neutrónica.....	30
7. 1. 2. Análisis por espectrofotometría de absorción atómica.....	31
7. 2. Análisis de datos.....	34
8. RESULTADOS.....	37
8. 1. Bahía Concepción.....	37
8. 1. 1. Composición de los sedimentos y material continental.....	37
8. 1. 1. 1. Granulometría.....	37
8. 1. 1. 2. Concentración de componentes mayores y elementos traza.....	39
8. 1. 1. 3. Distribución espacial de la concentración de componente mayores en los sedimentos superficiales.....	41
8. 1. 1. 4. Distribución espacial de la concentración de elementos mayores (Ca, Fe) en los sedimentos superficiales.....	44
8. 1. 1. 5. Distribución espacial de la concentración de Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Cd, Pb, Se, As, Sb, Th, U, Br, Hf, Ta, Zr en los sedimentos superficiales.....	47
8. 1. 1. 6. Factor de enriquecimiento.....	64
8. 1. 1. 7. Lantánidos.....	70
8. 1. 1. 7. 1. Distribución espacial de la concentración de lantánidos en los sedimentos superficiales y material continental.....	71
8. 1. 1. 7. 2. Normalización de la concentración de lantánidos con lutita norteamericana	79
8. 1. 1. 8. Análisis de datos.....	86
8. 1. 2. Macroalgas marinas.....	91
8. 2. Complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	98
8. 2. 1. Composición de los sedimentos superficiales.....	98
8. 2. 1. 1. Granulometría.....	98
8. 2. 1. 2. Concentración de los componentes mayores, elementos mayores y traza en los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas.....	100
8. 2. 1. 3. Distribución espacial de la concentración de los componentes mayores en los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas.....	102

8. 2. 1. 4. Distribución espacial de la concentración de elementos mayores (Fe, Ca, K) en los sedimentos del complejo lagunar.....	105
8. 2. 1. 5. Distribución espacial de la concentración de Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Pb, Se, As, Sb, Th, U, Br, Hf, Ta, Zr en los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas	108
8. 2. 1. 6. Factor de enriquecimiento	124
8. 2. 1. 7. Concentración y distribución de lantánidos.....	129
8. 2. 1. 7. 1. Normalización del contenido de lantánidos en los sedimentos superficiales el complejo lagunar Magdalena-Almejas	138
8. 2. 1. 8. Análisis de datos.....	145
8. 2. 2. Macroalgas marinas.....	149
8. 3. Santa Rosalía	159
8. 3. 1. Macroalgas marinas.....	159
9. DISCUSIÓN.....	179
9. 1. Comparación geoquímica de los sedimentos marinos.....	179
9. 1. 1. Componentes mayores y elementos traza en los sedimentos superficiales	179
9. 1. 2. Lantánidos en los sedimentos superficiales	193
9. 2. Geoquímica de las macroalgas.....	203
9. 2. 1. Bahía Concepción	203
9. 2. 2. Complejo lagunar Magdalena-Almejas	207
9. 2. 3. Santa Rosalía	215
10. CONCLUSIONES	224
11. LITERATURA CITADA.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENID	PÁGINA
Figura 1. Localización de las áreas sujetas a estudio.....	15
Figura 2. Mapa geológico del área de Santa Rosalía, B. C. S.....	16
Figura 3. Mapa geológico del área de Bahía Concepción, B. C. S.....	17
Figura 4. Sistema de drenaje de Bahía Concepción.....	18
Figura 5. Batimetría de Bahía Concepción.....	18
Figura 6. Distribución de las velocidades modeladas durante el flujo para Bahía Concepción....	19
Figura 7. Mapa hidrológico de la porción central de la cuenca Magdalena Purísima-Iray.....	20
Figura 8. Mapa geológico del complejo lagunar Magdalena-Almejas, B. C. S.....	21
Figura 9. Batimetría del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	21
Figura 10. Velocidades modeladas durante el máximo reflujó en el complejo lagunar.....	22
Figura 11. Localización de las estaciones de muestreo en Bahía Concepción (a) sedimentos superficiales y (b) material continental y macroalgas.....	23
Figura 12. Localización de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales, material terrágeno y macroalgas en el complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	27
Figura 13. Localización de las estaciones de muestreo de macroalgas en Santa Rosalía.....	28
Figura 14. Distribución espacial del tamaño de grano de los sedimentos de Bahía Concepción.....	37
Figura 15. Distribución espacial de la concentración de carbonatos (%) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción.....	37
Figura 16. Distribución espacial de la concentración de carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción.....	38
Figura 17. Distribución espacial de la concentración de Ca (%) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	40
Figura 18. Distribución espacial de la concentración de Fe (%) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	41
Figura 19. Distribución espacial de la concentración de Ba (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	46
Figura 20. Distribución espacial de la concentración de As (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	47
Figura 21. Distribución espacial de la concentración de Sb (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	48
Figura 22. Distribución espacial de la concentración de Cr (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	51
Figura 23. Distribución espacial de la concentración de Cu (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	56
Figura 24. Distribución espacial de la concentración de Hg (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	57
Figura 25. Distribución espacial de la concentración de Se (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	58
Figura 26. Distribución espacial de la concentración de Pb (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	67
Figura 27. Distribución espacial de la concentración de Hf (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	68
Figura 28. Distribución espacial de la concentración de Sc (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	70

Figura 29. Factor de enriquecimiento de las concentraciones de los elementos mayoritarios y elementos traza en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción	71
Figura 30. Variación del factor de enriquecimiento de Se en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción	71
Figura 31. Variación del factor de enriquecimiento de Sb (a) y Ba (b) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	72
Figura 32. Variación del factor de enriquecimiento de Rb en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción	73
Figura 33. Distribución espacial de la concentración de La (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	72
Figura 34. Distribución espacial de la concentración de Sm (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	74
Figura 35. Distribución espacial de la concentración de Eu (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	75
Figura 36. Distribución espacial de la concentración de Gd (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	77
Figura 37. Distribución espacial de la concentración de Lu (mg/kg) en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción.....	78
Figura 38. Valores normalizados con la lutita norteamericana de la concentración de lantánidos para los sedimentos y material continental de Bahía Concepción.....	79
Figura 39. Variaciones del valor normalizado de Eu en sedimentos superficiales de diferentes estaciones en Bahía Concepción.....	80
Figura 40. Distribución espacial de la anomalía de Eu en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción	82
Figura 41. Variación de los valores de la anomalía de Ce en los sedimentos superficiales del complejo Magdalena-Almejas a partir de las ecuaciones de Watkins <i>et al.</i> (1995) (a) y Jafri <i>et al.</i> (1993) (b)	84
Figura 42. Variación de los datos obtenidos de la relación La_n/Yb_n en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción.....	85
Figura 43. Dendograma de los elementos mayores y traza determinados en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción	89
Figura 44. Variación espacial de las macroalgas marinas obtenidos en el mes de marzo del 2002 en Bahía Concepción.....	92
Figura 45. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>L. pacifica</i> de Bahía Concepción. a) Se, Sb, U y Co; b) Cr, Zn, Ni y Br.....	92
Figura 46. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>C. tuberculata</i> de Bahía Concepción. a) Co, Se, As, U, Br; b) Cr, Ni, Zr, Ba	93
Figura 47. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>D. dichotoma</i> de Bahía Concepción. a) Sb, U, se, As; b) Co, Ni, Sc, Br, Zr	95
Figura 48. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>S. sinicola</i> de Bahía Concepción. a) Se, Sb, U, Co; b)Ni, Cr, As, Br	96
Figura 49. Distribución espacial del tamaño de grano de los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	98
Figura 49. Distribución espacial de la concentración de carbonatos (%) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	103
Figura 50. Distribución espacial de la concentración de carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	104

Figura 51. Distribución espacial de la concentración de Fe (%) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas	106
Figura 52. Distribución espacial de la concentración de Ca (%) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas	107
Figura 53. Distribución espacial de la concentración de K (%) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	108
Figura 53. Distribución espacial de la concentración de Se (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	111
Figura 54. Distribución espacial de la concentración de As (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	112
Figura 55. Distribución espacial de la concentración de Sb (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	115
Figura 56. Distribución espacial de la concentración de Sc (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	116
Figura 57. Distribución espacial de la concentración de Zn (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	118
Figura 58. Distribución espacial de la concentración de Cu (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	119
Figura 59. Distribución espacial de la concentración de Cd (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	121
Figura 60. Distribución espacial de la concentración de Pb (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	122
Figura 61. Distribución espacial de la concentración de Th (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	123
Figura 62. Factor de enriquecimiento (FE) de los elementos traza de sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	124
Figura 63. Variación del factor de enriquecimiento de Se en los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas.....	125
Figura 64. Variación del factor de enriquecimiento de U (a) y Cr (b) en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas	126
Figura 65. Variación del factor de enriquecimiento de Fe en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas.....	128
Figura 66. Distribución espacial de la concentración de La (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	132
Figura 67. Distribución espacial de la concentración de Sm (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	133
Figura 68. Distribución espacial de la concentración de Eu (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	134
Figura 69. Distribución espacial de la concentración de Gd (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	136
Figura 70. Distribución espacial de la concentración de Lu (mg/kg) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	137
Figura 71. Variación de valor normalizado promedio de lantánidos en los sedimentos y material terrígeno del complejo lagunar Magdalena-Almejas	138
Figura 72. variación del valor normalizado de los lantánidos en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	139

Figura 73. Variación de Eu normalizado en los sedimentos y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas.....	140
Figura 74. Distribución espacial de la anomalía de Eu en los sedimentos superficiales del complejo Magdalena-Almejas.....	141
Figura 75. Variación de los valores de la anomalía de Ce en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	143
Figura 76. Distribución espacial de la relación La_n/Yb_n en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	144
Figura 77. Dendograma de los elementos traza determinados en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	147
Figura 78. Variación espacial del número de especies de macroalgas marinas obtenidas en marzo del 2002 en el complejo lagunar Magdalena-Almejas	150
Figura 79. Variación espacial del número de especies de macroalgas marinas obtenidas en junio del 2002 en el complejo lagunar Magdalena-Almejas	151
Figura 80. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>C. tuberculata</i> en el complejo Magdalena-Almejas. a) Sb, Se, As, Co y Zn; b) Cr, Ni, Br	152
Figura 81. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>P. durvillaei</i> del complejo lagunar Magdalena-Almejas, durante marzo 2002.....	153
Figura 82. Variación espacial de la concentración de elementos traza (a y b) en <i>P. durvillaei</i> en el mes de junio 2002	154
Figura 83. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>S. sinicola</i> durante marzo 2002 en el complejo Magdalena-Almejas	155
Figura 84. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>U. lactuca</i> (junio del 2002)	156
Figura 85. Variación temporal del número de especies de macroalgas colectadas en el área de Santa Rosalía	160
Figura 86. Variación espacial y temporal del número de las especies de macroalgas recolectadas en Santa Rosalía.....	161
Figura 87. Variación espacial de la concentración de Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co en <i>Gracilaria sp.</i> del área de Santa Rosalía	161
Figura 88. Variación espacial de la concentración (mg/kg) de (a) Sb, Se, U y As, y (b) Cu, Zn y Mn en <i>Gracilaria sp.</i> del área de Santa Rosalía	162
Figura 89. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>P. capillaceae</i> durante marzo del 2000 en Santa Rosalía. a) Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co, b) Zn, Cu y Mn, c) Sb, Se, U y As	163
Figura 90. Variación espacial y temporal de la concentración de elementos traza en <i>P. capillaceae</i> . Agosto del 2000 (a. Pb, Cd, Sc, Ni, Cr, Co; c. Zn, Cu, Mn; e. Sb, Se, U y As) y diciembre del 2000 (b. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr, Co; d. Zn, Cu, Mn; f. Sb, Se, U, As).....	164
Figura 91. Variación espacial y temporal de la concentración de elementos traza en <i>C. Tuberculata</i> del área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Cd, Pb, Sc, Ni, Co y Cr; c. Sb, Se, U y As; e. Cu, Zn y Mn) y marzo del 2001 (b. Sc, Cd, Pb, Ni y Co; d. Sb, Se, U y As; f. Cu, Zn y Mn)	166
Figura 92. Variación espacial de la concentración de elementos traza en <i>D. dichotoma</i> en el área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Pb, Cd, Sc, Ni, Cr, Co; c. Sb, Se, u y As; e. Cu, Zn y Mn) y marzo del 2001 (b. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co; d. Sb, Se, U y As; f. Cu, Zn y Mn)	169
Figura 93. Variación espacial de la concentración de elementos mayores y traza en <i>P. durvillaei</i> en el área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Pb, Sc, Cd, Ni, Co y Cr; b. Sc, Sb, U y	

As), junio del 2000 (c. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co; d. Se, Sb, U y As), marzo del 2001 (e. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co; f. Sb, Se, U y As)	171
Figura 94. Variación espacial de la concentración de Cu, Zn y Mn en <i>P. durvillaei</i> durante (a) marzo del 2000, (b) junio del 2000 y (c) marzo del 2001	172
Figura 96. Variación espacial y temporal de la concentración de elementos traza en <i>S. sinicola</i> del área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Pb, Sc, Cd, Ni, Co y Cr; b. Se, Sb, U y As) y marzo del 2001 (c. Pb, Sc, Cd, Co, Ni y Cr; f. Sb, Se y U)	175
Figura 97. Variación espacial y temporal de la concentración de Cu, Zn y Mn en <i>S. sinicola</i> del área de Santa Rosalía durante marzo (a) y junio (b) del 2000, y marzo del 2001 (c)	176
Figura 98. Variación de la concentración de Fe (%) con Sc (mg/kg) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción	180
Figura 99. Coeficientes de correlación de la concentración de Fe (%) con Ba (mg/kg) y La (mg/kg) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción	181
Figura 100. Relación de la concentración de Fe (%) con Sc (mg/kg) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción	182
Figura 101. Relación de la concentración de Ca con los carbonatos y carbono orgánico, de los sedimentos superficiales de Bahía Concepción (a, c) y del complejo Magdalena-Almejas (b y d)	183
Figura 102. Valores normalizados de los lantánidos obtenidos por Piper (1991) de los depósitos fosfáticos de San Juan de la Costa (bas4-4c, ba26'6, shh) y en los sedimentos marinos del complejo lagunar Magdalena-Almejas	195
Figura 103. Relación de los elementos mayores y traza en las algas de Bahía Concepción	207
Figura 104. Relación de los elementos mayores y traza en las algas del complejo Magdalena-Almejas	214
Figura 105. Relación de las algas del área de Santa Rosalía	219
Figura 106. Dendrograma de los elementos traza determinados en las algas de Santa Rosalía	221

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENID	PÁGINA
Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de colecta de los sedimentos superficiales de Bahía Concepción.....	25
Tabla 2. Coordenadas geográficas de las estaciones de colecta de los sedimentos superficiales del complejo Magdalena-Almejas	26
Tabla 3. Localización geográfica de las estaciones de colecta de las macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas y en Santa Rosalía	28
Tabla 4. Concentración promedio de los estándares certificados empleados	31
Tabla 5. Concentración promedio e intervalo de concentración de metales en los estándares certificados analizados por el método de espectrometría de absorción atómica	34
Tabla 6. Clasificación de los elementos de acuerdo al factor de enriquecimiento (FE)	35
Tabla 7. Clasificación de los elementos de acuerdo al Índice de geoacumulación (I^{geo})	36
Tabla 8. Parámetros texturales de los sedimentos de Bahía Concepción	38
Tabla 9. Concentración promedio, desviación estándar e intervalo de concentración de componentes y elementos mayores (%) y elementos traza (mg/kg) en los sedimentos superficiales (158 muestras), material continental (25 muestras) de Bahía Concepción .	40
Tabla 10. Concentración promedio (mg/kg), desviación estándar e intervalo de concentración de lantánidos en sedimentos superficiales y material continental de Bahía Concepción	70
Tabla 11. Estimaciones realizadas con los valores normalizados de los lantánidos en sedimentos de las muestras de Bahía Concepción	81
Tabla 12. Resultados del análisis de componentes principales aplicados en los sedimentos superficiales y en el material terrígeno de Bahía Concepción.....	86
Tabla 13. Lista sistemática de la flora ficológica de las especies de macroalgas de Bahía Concepción	91
Tabla 14. Orden de concentración de los elementos traza y lantánidos en <i>L. pacífica</i>	93
Tabla 15. Orden de concentración de los elementos traza y lantánidos en <i>C. tuberculata</i> y <i>C. sinuosa</i> por estación	94
Tabla 16. Orden de concentración de los elementos traza y lantánidos en <i>D. dichotoma</i>	95
Tabla 17. Orden de concentración de los elementos traza y lantánidos determinados en <i>S. sinicola</i>	97
Tabla 18. Concentración de elementos traza (mg/kg) de macroalgas de Bahía Concepción	97
Tabla 19. Parámetros texturales de los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas ..	99
Tabla 20. Concentración promedio (mg/kg), desviación estándar e intervalo de concentración de los componentes mayores (%) y elementos traza determinados en los sedimentos superficiales del complejo Magdalena-Almejas.....	100
Tabla 21. Intervalo de concentración, concentración promedio y desviación estándar de los lantánidos en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas	130
Tabla 22. Parámetros extraídos de los valores normalizados de lantánidos en los sedimentos del complejo lagunar	141
Tabla 23. Eigenvalores que determinan el 94% de la varianza total de las variables en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas	140
Tabla 24. Resultados del análisis de factores para los datos de concentración de elementos traza en sedimentos del complejo Magdalena-Almejas	146

Tabla 25. Lista sistemática de la flora ficológica de las especies de macroalgas de Bahía Concepción	149
Tabla 26. Especies recolectadas en la zona del complejo Magdalena-Almejas durante los meses de marzo y junio del 2002	150
Tabla 27. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en <i>C. tuberculata</i>	152
Tabla 28. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos determinados en <i>P. durvillaei</i>	154
Tabla 29. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos determinados en <i>S. sinicola</i> (marzo 2002)	156
Tabla 30. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos determinados en <i>U. lactuca</i>	157
Tabla 31. Datos de concentración de elementos traza (mg/kg) obtenidos en macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	158
Tabla 32. Lista sistemática de la flora ficológica de las especies de macroalgas de Santa Rosalía	159
Tabla 33. Especies recolectadas en la zona de Santa Rosalía en las diferentes épocas del 2000	159
Tabla 34. Orden de concentración de elementos mayores, traza y lantánidos en <i>Gracilaria sp.</i> del área de Santa Rosalía	162
Tabla 35. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en <i>Pterocladia capillacea</i> del área de Santa Rosalía.....	165
Tabla 36. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en <i>Colpomenia tuberculata</i> del área de Santa Rosalía	167
Tabla 37. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en <i>Dictyota dichotoma</i> del área de Santa Rosalía.....	170
Tabla 38. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en <i>Padina durvillaei</i> durante marzo del 2000, junio del 2000 y marzo del 2001, en el área de Santa Rosalía	173
Tabla 39. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en <i>Sargassum sinicola</i>	177
Tabla 40. Datos de concentración de los elementos traza obtenidos en diferentes especies de macroalgas del área de Santa Rosalía.....	178
Tabla 40. Concentración promedio de los componentes mayores (%), elementos mayores (%) y traza (mg/kg) en los sedimentos de diferentes ambientes marinos a lo largo de la Península de Baja California	190
Tabla 40. Concentración promedio de elementos mayores (%) y traza (mg/kg) en los sedimentos de ambientes con y sin impacto antropogénico en diferentes partes del mundo.....	191
Tabla 41. Índice de geoacumulación (I_{geo}) obtenido de elementos mayores y traza en los sedimentos de las áreas de estudio y de otras localidades de la Península de Baja California	192
Tabla 42. Concentración promedio de lantánidos en los sedimentos de Bahía Concepción, complejo Magdalena-Almejas y otras localidades de referencia	191
Tabla 43. Estimaciones realizadas a las concentración de lantánidos normalizados en las áreas de estudio y datos de referencia de otras áreas.....	217
Tabla 42. Concentración promedio de lantánidos en los sedimentos de Bahía Concepción, complejo Magdalena-Almejas y otras localidades de referencia	198
Tabla 43. Estimaciones realizadas a las concentraciones de lantánidos normalizados en las áreas de estudio y datos de referencia de otras áreas.....	200

Tabla 44. Intervalo de concentración de elementos traza en diferentes especies de macroalgas marinas del complejo lagunar Magdalena-Almejas	204
Tabla 45. Correlación entre las especies de macroalgas del área de Bahía Concepción	206
Tabla 46. Intervalo de concentración de elementos traza en diferentes especies de Rhodphytas del complejo lagunar Magdalena-Almejas	208
Tabla 47. Intervalo de concentración de elementos traza en diferentes especies de Phaeophytas del complejo lagunar Magdalena-Almejas	210
Tabla 48. Intervalo de concentración de elementos traza en Chlorophytas del complejo lagunar Magdalena-Almejas.....	212
Tabla 49. Correlación entre las especies de algas del complejo Magdalena-Almejas.....	213
Tabla 50. Intervalo de concentración de elementos traza en las diferentes especies de macroalgas marinas del área de Santa Rosalía	217
Tabla 51. Correlación entre las especies de algas del área de Santa Rosalia	223

GLOSARIO

- Ácido algínico.** Es un polisacárido formado por residuos de ácido D-manurónico y L-gulurónico presentes juntos en la misma molécula con fragmentos de una estructura predominantemente alternada. El ácido algínico se encuentra dentro del alga como una sal insoluble, siendo Ca y Mg los principales cationes (Hernández y Casas, 1985).
- Algas.** Son conocidas como talofitas. Organismos pluricelulares que viven a lo largo de los litorales marinos, y se diferencian de las plantas superiores en que no poseen raíces, tallos, hojas, ni sistemas vasculares verdaderos. Su alimentación la realizan mediante la fotosíntesis absorbiendo los nutrientes directamente del agua, y muchas de ellas deben resignarse a vivir en profundidades donde llegue la luz solar.
- Anomalía.** Es una desviación con respecto a la norma. Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o un ambiente geoquímico.
- Ambiente.** Todos los factores bióticos y abióticos externos a un organismo que lo afectan en cualquier punto de su ciclo de vida.
- Bioacumulación.** Término que describe el proceso mediante el cual los organismos acuáticos incorporan compuestos tóxicos en sus tejidos.
- Biogeoquímica.** Comprende el estudio de elementos químicos en interacción con los organismos vivos (biota), la parte abiótica (medio ambiente) (geo) y las transformaciones o reacciones químicas de estos elementos (Schlesinger, 1997; Smil, 1997)
- Contaminación.** La introducción por el hombre, directa o indirectamente de sustancias o energía en el medio marino (incluido los estuarios) causando efectos para la salud humana obstáculos para las actividades marinas, incluido la pesca, el deterioro de la calidad del agua de mar, y la reducción de los atractivos naturales.
- Contaminante.** Cualquier factor cuya presencia en un determinado ambiente y circunstancia, constituye o desencadena contaminación. Es la sustancia, o forma de energía que normalmente no está presente en el medio ambiente marino, al menos en los niveles que se encuentran con frecuencia y que aparentemente no causa efectos nocivos.
- Ecosistema.** Unidad ecológica básica funcionalmente autosuficiente, auto regulable y estructurada, en la que cada población ocupa un nicho ecológico.
- Especie.** Grupo de poblaciones naturales entrecruzadas que están reproductivamente aisladas de otros grupos.
- Laguna costera.** Cuerpos de agua, generalmente someros, separados del océano por barreras que se conectan al océano por una o más bocas y, que generalmente, se orientan de manera paralela a la costa.
- Macroalga.** Organismo pluricelular constituido por células indiferenciadas de estructura generalmente talosa, viven fijos al litoral o a fondos rocosos y presentan una gran variedad de morfología y cuyos tamaños van desde unos cuantos centímetros hasta más de 60 cm de longitud. Se incluyen las divisiones Rhodophyta, Phaeophyta y Chlorophyta (Núñez-López, 1996).

Manglar. Esta formado por bosques halófitos y submersibles. El ,manglar fija los limos y sedimentos finos que vienen del continente y son distribuidois en el borde costero por la marea y el oleaje.

Nicho. Papel que desempeña una comunidad de organismos (población) en un ecosistema.

Nutrientes. Se refiere a la importancia y comúnmente elementos medidos necesarios para el crecimiento de plantas, fósforo, nitrógeno y sílice. Algunos otros elementos son necesarios para la vida. H, C, O y S son importantes, y elementos como Fe, Cu, Co, Zn y B se emplean en trazas.

Población. Grupo de organismos de la misma especie que ocupan una región geográfica más o menos bien definida y exhibe continuidad reproductiva de generación en generación.

Surgencias. Movimientos ascendentes mediante los cuales las aguas de los niveles subsuperficiales son llevadas hasta la superficie, desde profundidades generalmente menores de 100 m a 200 m, y removidos desde el área de transporte por el flujo horizontal, produciéndose así un aporte de nutrientes a las aguas superficiales empobrecidas por el consumo biológico.

RESUMEN

La porción sur de la Península de Baja California es rica en minerales que han sido explotados por varios años. Entre estos destacan la roca fosfórica, cuprita, magnetita, magnesita, hematita, entre otros; los cuales contribuyen en el aporte de diversos elementos en alta concentración (Fe, P, Cu, Mn, Mg, Co, Cr, lantánidos). Estudios geoquímicos realizados en los sedimentos de distintos ambientes marinos adyacentes a la Península de Baja California, señalan además la presencia de otros elementos de importancia ambiental, tales como Se, As y Sb cuyo origen se asocia al aporte continental (características geológicas de la cuenca). Sin embargo, aun se desconoce si estos elementos son comunes para otros ambientes, como el complejo lagunar Magdalena-Almeja y Bahía Concepción, además que se carece de información referente a los niveles en que se pueden encontrar los diferentes elementos en la biota características. Por este hecho se planteó el siguiente estudio que tuvo como objetivo la caracterización geoquímica de los sedimentos superficiales de Bahía Concepción y del complejo lagunar Magdalena-Almejas, y un estudio comparativo de la concentración de elementos mayores y traza en macroalgas de ambientes con escasa (Bahía Concepción y complejo Magdalena-Almejas) y alta (Santa Rosalía) actividad antropogénica. Las muestras fueron secadas a 60°C. El sedimento se fraccionó para análisis granulométrico y químico. Se determinaron los componentes mayores y elementos mayores y traza. La concentración de los elementos se obtuvo a partir de aplicar los métodos de activación neutrónica instrumental (INAA) y espectrometría de absorción atómica (EAA). Los resultados indican mayor concentración de los componentes orgánicos (carbonatos 41% y carbono orgánico 2%) en los sedimentos de Bahía Concepción con respecto a los del complejo Magdalena-Almejas, aspecto que también se observó con los elementos traza. Al comparar las concentraciones, la bahía destacó por la presencia de Fe, Ca, Sr, Sc, Co, Ni y otros, mientras en el complejo lagunar fueron Ba, Cr, As, Sb y U. A partir del factor de enriquecimiento se encontró que los elementos altamente enriquecidos ($FE > 10$) en Bahía Concepción fueron Se, Cd, Sr, Pb, Ca y As, mientras en el complejo Magdalena-Almejas se observó a Se, Sb, Cd y As. En ambos casos, Se, As y Cd sobresalieron. La distribución espacial de los elementos en Bahía Concepción destacó las siguientes zonas por su alto contenido: i) la porción este (Rb, Cs, Ba, As, Sb, Th), (ii) la porción central (Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Se, U, Br, Ta y Zr) y (iii) las zonas de Mulegé, Punta

Concepción, Punta Aguja, Santispac, Playa la Pasajera, adyacente a Santa Bárbara y al arroyo Cordeló (Sr, Cd y Pb). Para el complejo lagunar también se diferenciaron tres zonas importantes: i) zona de canales e interior de ambas bahías (Rb, Cs, Ba, Sc, Se, As, U, Ta y Zr), ii) adyacentes a las islas Magdalena y Margarita (Fe, Ca, Sc, Co, Zn y Cu) y iii) solo en la Isla Margarita (Cr, Ni, Cd Pb y Br). Para ambos casos, los resultados se asocian a la influencia de tres componentes: a) terrígeno, que se deriva de la cuenca de drenaje por eventuales precipitaciones pluviales; b) orgánico, derivado del procesamiento de los nutrientes por la actividad biológica planctónica y bentónica, y c) carbonatos, que se derivan de los fragmentos calcáreos (moluscos, plancton, algas coralinas y otros) y por acción de factores químicos. Sin embargo, cada ambiente tiene particularidades que los diferencian y hacen destacar. Por un lado, en Bahía Concepción el efecto del alto contenido de carbonatos, la presencia de depósitos minerales y la contribución por las ventilas hidrotermales; y por el otro, en el complejo lagunar, los eventos de surgencias, aporte de fosforita de la cuenca de drenaje (Formación San Gregorio) y desde el océano adyacente, además de depósitos minerales. Con respecto a las macroalgas, las especies comunes en las tres áreas de estudio fueron *Laurencia pacifica*, *Pterocladia capillaceae*, (División Rhodophyta), *Colpomenia sinuosa*, *C. tuberculata*, *Dictyota dichotoma*, *Padina durvillaei*, *Sargassum sinicola* (División Phaeophyta), *Codium cuneatum*, *Enteromorpha intestinalis* y *Ulva lactuca* (División Chlorophyta) y el género *Gracilaria sp.* La comparación de los resultados en *C. tuberculata*, *D. dichotoma*, *L. pacifica* y *P. durvillaei* de las tres localidades, permite identificar a las especies de Santa Rosalía como las de mayor contenido de Cu, Co, Zn, As, Ba y Ni debido al depósito de los desechos mineros en la zona costera y su biodisponibilidad, probablemente por acción de la constante remoción y acción de parámetros ambientales (pH, salinidad, temperatura, entre otros) sobre el material. Sin embargo, se encontró que el contenido promedio de Fe, Co, Sc, Cr, Sb y Sr fue semejante entre las localidades, algunos de estos representantes de la contribución terrígena en el ambiente marino adyacente (Fe y Sc) y de las características geológicas de la zona (Co, Cr, Sb).

ABSTRACT

South portion of Baja California Peninsula is rich by minerals that had been exploited some years, between more important are phosphoric rock, cuprite, magnetite, magnesite, hematite and others. Geochemical contribution in marine environment adjacent is evidente due that previous studies registred high values of Se, As and Sb, so Fe, P, Cu, Mn, Mg, Co and Cr in surficial sediments. However, reports of geochemical characterization in other zones is escasa, as Concepción Bay and Magdalena-Almejas lagoon complex, also is nule the information about levels in that is possible to find this elements in biota representative. For this reason, the aim was geochemical characterization of surficial sediments of Concepción Bay and Magdalena-Almejas lagoon complex, and comparative study of trace and majours elements in seaweeds of nule (Concepción Bay and Magdalena-Almejas complex) and high (Santa Rosalía) anthropogenic activity. The sample was secadas to 60°C. The sediment was fractioned to granulomethric and chemical analysis. Majours and trace elements was determined by instrumental neutronic activation (INAA) and atomic absorption spectrometry (AAS). The results indicated high concentration of organic components (carbonate 41% and organic carbon 2%), Fe, Ca, Sr, Sc, Co, Ni and others, in sediments of Concepcion Bay. While in Magdalena-Almejas were only Ba, Cr, As, Sb y U. Enrichment factor determined to Se, Cd, Sr, Pb, Ca and As as highly enrichment elements in Concepcion Bay, and in Magdalena-Almejas complex were Se, Sb, Cd and As (EF > 10). In both cases, Se, As and Sb destacaron. Spatial distribution of elements in Concepcion Bay differentia some zones by high concentrations: i) east portion (Rb, Cs, Ba, As, Sb, Th), (ii) central portion (Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Se, U, Br, Ta, Zr) and (iii) Mulegé, Punta Concepción, Punta Aguja, Santispac, Playa la Pasajera, adyacente a Santa Bárbara y al arroyo Cordeló (Sr, Cd, Pb). For, lagunar complex were: i) channels zone, coastal line of Magdalena Bay and Almejas Bay (Rb, Cs, Ba, Sc, Se, As, U, Ta, Zr), ii) adjacent to Magdalena and Margarita Bay (Fe, Ca, Sc, Co, Zn, Cu) and only iii) Margarita Island (Cr, Ni, Cd Pb y Br). This behavior of elements is associated to three components: a) terrigenous, derived from drainage basin by eventual pluvial precipitations, b) organic, derived of planctonic and benthonic productivity, and c) carbonate, that is derived of calcaerous fragments (molluscs, plancton, coralline algae and others) and action of chemical factors. However, each zone has particularity differentes, in Concepcion Bay high concentration of

carbonates, minerals deposit and contribution chemical by hydrothermal vents; while, in Magdalena-Almejas complex, events of upwelling, contribution of phosphorite from drainage basin (San Gregorio Formation) and ocean adjacent, also minerals deposits. With respect to seaweeds, the comun species in three localities were *Laurencia pacifica*, *Pterocladia capillaceae* (Rhodophyte), *Colpomenia sinuosa*, *C. tuberculata*, *Dictyota dichotoma*, *Padina durvillaei*, *Sargassum sinicola* (Phaeophyte), *Codium cuneatum*, *Enteromorpha intestinalis* y *Ulva lactuca* (Chlorophyte) and genus *Gracilaria sp.* The comparison of results of *C. tuberculata*, *D. dichotoma*, *L. pacifica* and *P. durvillaei*, showed that species of Santa Rsaolías obtained higher cncentration of Cu, Co, Zn, As, Ba and Ni, associated to deposite of mining waste in coastal zone and their biodisponibility, probably by action of continue remotion and environment parameters (pH, salinity, temperature and others) on the material. However, was possible to find elements with similar content as Fe, Co, Sc, Cr, Sb and Sr between the zones, some of this associated to terrigenous contribution (Fe, Sc) to adjacent marine enviroment and representatives of geologic characteristics (Co, Cr, Sb).

1. INTRODUCCIÓN

El litoral mexicano en los últimos años ha presentado un incremento en el desarrollo de las actividades antropogénicas que incluyen los asentamientos humanos, actividades agrícolas, pesqueras, comerciales, turísticas e industriales. Esto a ocasionado que la zona costera sea la mas afectada debido a los cambios en el entorno y a la descarga de desechos orgánicos e inorgánicos. Como ejemplo se tiene algunas localidades en el Golfo de México (Villanueva y Botello, 1998). Sin embargo, la presencia de elementos traza no esta únicamente asociado a la actividad antropogénica, tomando en cuenta que estos se encuentran ampliamente distribuidos de manera natural en el ambiente, a través de la interacción con los organismos vivos (biota), rocas continentales y suelos (medio ambiente) (geo) y las transformaciones, que comprenden la biogeoquímica de los elementos químicos (Schlesinger, 1997; Smil, 1997). Los elementos presentes en el ambiente marino pueden diferenciarse en mayoritarios y traza, considerando su concentración. Para los elementos mas abundantes su contenido se expresa en porcentaje (%) o 10 mg g^{-1} , tal es el caso de Na, K, Ca, Fe, Al; y por otro lado, los traza que son aquellos elementos químicos presentes en concentraciones menores de 0.1% o 1 mg g^{-1} (Pilson, 1998). Algunos de estos son: Mn, Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cr, Ni, As, La, Yb, Lu, U, Th (Schlesinger, 1997).

Actualmente, para describir el comportamiento ambiental o monitorear los niveles de los elementos traza ó algún contaminante se han usado las fases que interactúan en los ciclos biogeoquímicos, como son el agua de mar, el material sedimentario y la biota (Salomons y Förstner, 1984; Karez *et al.*, 1994). El comportamiento de los elementos traza disueltos en el agua de mar ha sido descrito entre otros por Bruland (1983), Libes (1992), Millero (1996) y Nozaki (1997) en los océanos del mundo, tomando en cuenta la actividad biológica, especiación, tipo de aporte (atmosférico, ríos, hidrotermal), tiempo de residencia y parámetros físicos y químicos del agua de mar. De acuerdo con la descripción realizada por estos autores, los típicos perfiles verticales de los elementos en el agua de mar son: conservativo, tipo nutriente, enriquecimiento de agua superficial, mínimo de profundidad media, máximo de profundidad media, mínimo o máximo de profundidad media dentro de una capa subóxica, o mínimo o máximo de profundidad media en una capa anóxica. Sin embargo, en otros casos debido a las particularidades de algunas distribuciones verticales, estos pueden reducirse a solo 4 categorías

(conservativo, tipo nutriente, tipo residuo, tipo controlado por condiciones redox) como Nozaki (1997) señala. Actualmente, en México son pocos los estudios registrados en los que se emplea al agua como portador de los elementos traza, debido a las dificultades para el análisis, las concentraciones bajas en que se encuentran y a que la información que se obtiene muy frecuentemente refleja sólo las condiciones puntuales de una localidad y de un tiempo específico.

Por otro lado, el material sedimentario comprende otra fase importante para el estudio de los elementos en diversos ambientes, ya que su estudio abarca desde el material adyacente al continente (zona costera) como el de las zonas más alejadas y profundas (océano abierto). De ambas, la de mayor importancia es la zona costera, sobretodo para las lagunas costeras y estuarios (Yim, 1976), debido que son zonas de alta productividad primaria y con gran diversidad biológica por la acumulación de material orgánico e inorgánico (De la Lanza, 1987), que están sujetos a constantes modificaciones. A su vez, influyen en la adsorción y desorción de elementos, su dispersión (transporte facilitado) al océano abierto (Anikiyev *et al.*, 1985; Seyler y Martín, 1990; Millward, 1995), la transformación química (especiación) y sedimentación (Schlesinger, 1997). Es por ello, que la zona costera no es simplemente un cuerpo de agua que actúa como reservorio de los elementos, sino que comprende una zona de intensa reactividad interna por los procesos señalados (Chester, 2003).

Entre los elementos que llegan desde el continente al mar adyacente se encuentran Al, Fe, Ti, Mn, Zn, V, Cr, Ni, Cu, que derivan del material erosionado e intemperizado de las rocas características de la cuenca de drenaje por donde fluye el agua (Power y Chapman, 1992), y a la presencia de zonas mineras, donde algunos yacimientos minerales se caracterizan por elementos traza económicamente explotables, como Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Pb y Cr (Libes, 1992). Su acumulación en las partículas sedimentarias se relaciona a la presencia de diversos ligandos o sitios de unión que permiten su retención y transformación (especiación). Algunos de los más comunes son: i) sustancias orgánicas e inorgánicas (fosfatos, cloruros, sulfatos, aminoácidos, péptidos, lípidos y ácidos orgánicos) (Burkholder, 1996), y ii) fragmentos de roca, conchas y minerales ((Yen y Tang, 1977; Power y Chapman, 1992). De tal manera, que los sedimentos comprenden una matriz compleja de materiales de diferente origen que contribuyen a reflejar la calidad del agua y del ecosistema, y en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos.

La biota marina comprende otra de las fases del ciclo de los elementos traza, ya que contribuyen en la asimilación, transformación biogeoquímica, movilización geológica y química, y en la recirculación del material orgánico e inorgánico en interacción con los sedimentos y el agua (Valiela, 1984; Falkowski, 1999). Es por ello, que entender la naturaleza y funcionamiento de ecosistemas acuáticos es importante por dos razones: entender el destino químico y transporte de los elementos traza, y para reconocer los efectos potenciales de los elementos químicos en los organismos (Schwimer, 1974; Simkiss *et al.*, 1982; Hughes y Poole, 1989; Muse *et al.*, 1999; Hemond y Fechner-Levy, 2000). La acumulación de elementos traza por los organismos marinos es un fenómeno complejo que está afectado por la especiación, modalidades de entrada (pasiva y activa), la distribución entre y dentro de los tejidos, y su eliminación (Nott, 1998). Entre los mecanismos que contribuyen a la acumulación son: i) flujo del agua circundante por las paredes del cuerpo y superficies permeables (Riget *et al.*, 1997; Haritonidis y Malea, 1999; Muse *et al.* 1995, 1999), ii) la ingestión de partículas colabora con la adsorción y liberación en los diferentes órganos por cambios del pH (Cunningham, 1990), iii) flujo del agua poro (intersticial) de los sedimentos por organismos bentónicos y sésiles, y iv) filtración del agua (Rand y Petrocelli, 1985; Power y Chapman, 1992).

Entre los organismos bioindicadores (se refiere a aquellos en que uno puede medir cambios asociados a ciertos factores) mayormente empleados son los bentónicos, tal es el caso de invertebrados (Andersen, 1992; Jamil-Kaiser, 2001), algas (Riget *et al.*, 1997; Haritonidis y Malea, 1999, Muse *et al.*, 1999; Jamil-Kaiser, 2001) y pastos marinos (Nicolaidou y Nott, 1998; Ornes *et al.*, 1998; Luque *et al.*, 1999). Las algas como indicadores se han empleado en diversas regiones del mundo, con escasa y alta actividad humana, como es el caso de la Bahía Sepetiba en Brasil (Karez *et al.*, 1994), el Golfo de Termaikos, Grecia (Sawadis y Voulgaropoulos, 1986; Haritonidis y Malea, 1995, 1999), Hong Kong (Ho, 1999), Argentina (Muse *et al.*, 1995, 1999), Venecia (Caliceti *et al.*, 2002), España (Sanchiz *et al.*, 2000; Villares *et al.*, 2002) y otros. Su empleo ha permitido reflejar las condiciones en que se encuentra un área, región o localidad en particular (organismo bioindicador), la biodisponibilidad de los elementos en el ambiente (Morrison, 1989; Riget, 1997) y el nivel de respuesta (Brian-Genter, 1996; Jamil-Kaiser, 2001) y las variaciones espaciales, estacionales y entre especies.

En la actualidad, los estudios referentes a los elementos traza se han ampliado debido que son constituyentes esenciales en procesos metabólicos y enzimáticos de los organismos, y porque se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente. Sin embargo, ese interés se ha acrecentado en diversas regiones del mundo asociado a la actividad humana, por los asentamientos humanos y la contaminación, a través de la descarga de aguas residuales e industriales, en el ambiente costero pero sobretodo por los daños en la biota característica en los diferentes niveles tróficos. Aspecto que se vio reflejado en Japón, por la presencia de Hg (metil-mercurio) y de Cd (enfermedad Itai-Itai).

En México son pocos los estudios realizados para la caracterización geoquímica de los ambientes marinos costeros y que emplean alguna de las fases de los ciclos biogeoquímicos. Sin embargo, estos son relevantes y necesarios para dar a conocer las condiciones y establecer datos de concentración característicos de cada zona y región.

2. ANTECEDENTES

En el contexto geoquímico, los estudios abarcan el análisis de agua de mar, biota y los sedimentos marinos, que se han empleado en diversas partes del mundo. De estos, los dos últimos son entre los más estudiados debido a la facilidad de su manejo y procesamiento, al considerar la problemática que se tiene con el análisis del agua. Actualmente, se cuenta con diversos reportes del contenido de elementos de importancia ambiental (Fe, Ni, Zn, Cu, Co, Pb, Cd y otros) en el ambiente marino y costero de diferentes regiones a escala global.

2. 1. Sedimentos marinos

2. 1. 1. Estudios a nivel mundial

Los sedimentos de manera natural comprenden una matriz compleja de materiales de diferente origen que contribuyen a reflejar la calidad del agua y del ecosistema, y en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos. Sin embargo, esto se ha visto modificado por acumulaciones de partículas y elementos de origen antropogénico que interactúan con los procesos físicos, químicos y biológicos que ahí se realizan. Algunos de los estudios, como ejemplos se presentan a continuación.

Goldschmidt (1958) recopiló y publicó información de la geoquímica de elementos mayores y traza, que incluyen la descripción de sus propiedades químicas, minerales en que son comunes y característicos, su concentración y la especiación. Esto contribuyó en el conocimiento y generalidades de los elementos.

Goldberg y Arrhenius (1958) realizan un estudio sobre la química de los sedimentos pelágicos del Pacífico, donde se describe las relaciones de algunos elementos con algunos minerales del ambiente marino, como fue el caso de Ca y Sr con filipsita y la apatita biogénica, y de Y, Sc, Th y ETR con los óxidos de ferromanganeso y la apatita biogénica.

Yeng y Tang (1977) estudiaron los aspectos químicos de los sedimentos marinos, y señalaron que los compuestos orgánicos son importantes, porque poseen sitios reactivos para unión de elementos. El transporte, tanto de las partículas del sedimento como orgánicas, son el resultado de la adsorción, desorción, precipitación, difusión, reacción química, actividad biológica y una combinación de estos.

Holmes (1996) examinó por un periodo de 10 años la variación estacional de la concentración de Cd, Zn y Hg en los sedimentos marinos de Texas. Donde observa que los elementos son afectados por el clima y la estación del año, debido que condiciones de estratificación de las aguas en verano incrementan la actividad microbiana y la precipitación de Cd y Zn. Mientras, en invierno las condiciones climáticas cambian y los sulfuros de metal que formados son oxidados y removidos de la zona por las corrientes. La cantidad de sedimento en suspensión es un factor importante para el transporte de los elementos hacia otras áreas.

Loring (1991) realizó la normalización de datos de metales pesados de sedimentos costeros y estuarinos, donde manifiesta es una forma que compensa la variabilidad natural de los elementos traza de las contribuciones antropogénicas. La normalización geoquímica se basa en emplear un elemento conservativo (Al, Fe, Sc, Cs y Li) para reducir el tamaño de grano en las distribuciones de los elementos. Este aspecto también fue manejado por Daskalakis y O'connor (1995) que aplicaron la normalización para los datos de sedimentos contaminados de las costas de Estados Unidos. En este se manifiesta la importancia de Al y Fe, sin embargo encuentra coeficientes de correlación bajos con Ag, Cd, Hg Sb y Se, que les hace sugerir que algunos de estos se asocian mejor con el detritus orgánico.

Drude de Lacerda (1994) realizó una descripción de la biogeoquímica de los metales en lagunas costeras, donde señala que estos ambientes son importantes por la retención del material que aportan los arroyos, la atmósfera y el océano. Sin embargo, pone de manifiesto algunas de las vías (naturales y antropogénicas) en que los metales pesados llegan y los procesos a los que están expuestos, tanto físicos, químicos y biológicos, que controlan su especiación, distribución y tiempo de residencia en las lagunas.

Otros estudios examinaron los elementos en la materia particulada suspendida, entre estos los realizados por Demina *et al.* (1984) y Anikiyev *et al.* (1985). En el primer trabajo, se estudio el comportamiento de varios elementos, que se encontraron asociados a i) la fracción litogénica (Al, Li), ii) hidrogénica (Mn), iii) absorbido en partículas suspendidas y carbonatadas (Zn) y iv) coprecipitados con hidróxidos de Fe y Mn (Pb, Cu). En el segundo, se describieron tres principales procesos que alteran la concentración y especiación de los elementos en la materia suspendida, los cuales fueron: a) procesos

dinámicos, b) procesos físicos y químicos, y c) procesos biológicos. Por otro lado, Anikiyev *et al.* (1989) observó que las rocas sedimentarias son la fuente de Fe, Cr y Co, y las rocas básicas para Ba y Ta. Además de manifestar que el comportamiento de estos elementos en la materia suspendida, esta controlado por la mezcla física entre los cuerpos de agua, sedimentación erosión de los sedimentos, adsorción y desorción de los elementos en suspensión y la entrada de elementos disueltos desde el agua intersticial.

Otros elementos cuyo estudio va en aumento, son los lantánidos o elementos de las tierras raras (ETR). Goldberg *et al.* (1963) estudiaron las distribuciones de ETR en el ambiente marino donde comparó la concentración de La en la fosforita oceánica y en los nódulos de manganeso del océano Pacífico, este último con la mayor concentración. Además, encontró a Eu asociado a minerales de K, Sr y Pb, que influyen en su contenido.

Elderfield *et al.* (1981) llevaron un estudio de ETR en los nódulos de manganeso del Pacífico y señalaron que su fuente probable es el agua de mar, donde los elementos se asocian con oxihidróxidos o coloides que precipitan, o bien, coprecipitar con fases biogénicas (calcita, apatita o partículas inorgánicas); y además, por influencia del sedimento. En incremento en la concentración de ETR en los nódulos, se manifestó con una anomalía de Ce positiva mientras en los sedimentos es de tipo negativa.

De Baar *et al.* (1985) examinaron los lantánidos en los océanos Pacífico y Atlántico, y señalaron que Ce y Eu son de interés por las anomalías que pueden definirse bajo condiciones variables de pH y pO_2 . En el Océano Pacífico fue donde se encontró un incremento en el contenido de ETR con respecto al Océano Atlántico, especialmente de ETRP como Yb y Lu. Esto se asemeja con el comportamiento de los micronutrientes en los océanos y sugieren un ciclamiento biogeoquímico.

Jafri *et al.* (1993) realizaron la caracterización química en los cuatros tipos de depósitos de radiolarios del Cretáceo de las islas Andaman-Nicobar, donde se encuentran diferencias en la concentración de SiO_2 , Al_2O_5 y de lantánidos. A partir de los ETR identifico anomalías positivas y negativas de Ce y Eu que asocia al aporte de continental y de minerales concentradores de estos elementos, como los feldespatos. La influencia de este mineral, también fue señalado por Román *et al.* (1995), quienes estudiaron la geoquímica de los lantánidos en la cuenca del Río Manso en Argentina y

encuentran que su distribución esta controlada por la mineralogía de los sedimentos transportados. El patrón que los elementos manifiestan esta caracterizado por valor bajos de las tierras ligeras (ETRL) y una anomalía de Eu positiva. Este último aspecto, se asocia a la contribución de los feldespatos, debido a la sustitución de Eu (2+) por Sr (2+) en los lugares de Ca (2+), además que ejercen gran influencia en la circulación de los ETR.

Asimismo, este grupo de elementos se ha estudiado en las rocas fosfatadas de diferentes regiones de mundo. Aspecto que es relevante por las altas concentraciones en que se han encontrado. Entre los trabajos destaca el de McArthur y Walsh (1984), quienes determinaron la concentración de ETR en muestras de fosforita de diferentes regiones, cuya fuente se asocia directa o indirectamente al agua de mar. La variación de los datos permitió identificar cuatro patrones de distribución (lutita, agua de mar, intemperizado y ninguna de las anteriores), donde se llegó a observar el comportamiento Ce y Eu, que llegan a manifestar anomalías. Watkins *et al.* (1995) realizaron un estudio de los lantánidos en la fosforita y en los sedimentos de Namibia y en la plataforma continental de África. Este estudio reporta anomalías de Ce negativas en conglomerados y en rocas fosfatadas, los cuales hacen considerar que manifiestan un patrón agua de mar, caracterizado por una marcada anomalía de Ce y el enriquecimiento de los elementos de tierras pesadas (ETRP). Aunque la mayoría presentó un patrón típico de la lutita, sin manifestar la anomalía de Ce.

Estudios referentes a problemas por los niveles de metales pesados asociados a las actividades humanas son diversos y abarcan diferentes regiones del mundo. Algunos de reportes han sido señalados por Bryan y Langston (1992) que realizaron un estudio y recopilaron material bibliográfico de los metales presentes en estuarios de Inglaterra, esto con la finalidad de señalar la biodisponibilidad, acumulación y los efectos de los metales. Lacerda *et al.* (1993) determinan dos fuentes de aporte para Hg en el río Paraíba (Brasil): la actividad agrícola (funguicida) y a minería de Au (amalgación), Tkalin *et al.* (1996) para el Mar de Japón, encontraron que la concentración de elementos en algunas bahías esta afectada por la descarga de aguas residuales y por las características naturales de los sedimentos (tamaño de grano). Williams *et al.* (1997) reportaron para los sedimentos de Mombasia (Kenia) un incremento en la concentración de varios elementos con sincronía con el desarrollo urbano.

Otros elementos empleados para identificar los problemas de contaminación antropogénica son los lantánidos. Olmez *et al.* (1991) empleó a los lantánidos para identificar productos de petróleo refinado en los sedimentos. Se encontró altas concentraciones y el enriquecimiento de tierras raras ligeras en los sedimentos con respecto a las observaciones de otros depósitos, lo que contribuyó a señalar que los productos del petróleo son los responsables en el enriquecimiento de ERTL en la cuenca de San Pedro.

2. 1. 2. Estudios a nivel nacional

Básicamente los trabajos realizados se han enfocado a zonas con problemas de contaminación por el aporte de aguas residuales e industriales, depósitos minerales y otros, que son asociados a las actividades humanas. Este tipo de aspecto se han visto sobretodo en las costas del Golfo de México y en la zona que abarca el límite entre México-Estados Unidos.

Ortega (1991) y Gutiérrez-Galindo *et al.* (1994) realizaron estudios en los sedimentos de la concentración de metales pesados en la región noroccidental entre los límites de México-Estados Unidos. Dicha zona es de interés debido a problemas de contaminación por metales y de tipo orgánico por la descarga de aguas residuales provenientes de ambos países (San Diego, California y Tijuana, B. C.). Se observó que la distribución de los elementos esta controlada por el tamaño de grano, material orgánico natural y/o antropogénico y la relación de ambos.

García-Hernández (1998) examinó la bioacumulación del Se en la Ciénega de Santa Clara (Sonora, México), donde encontró concentraciones altas en agua (5 µg/l - 19 µg/l), sedimento (0.8 µg/g - 1.8 µg/g) y en tejido de peces. Los datos obtenidos llegaron a sobrepasar el límite máximo (5 µg/l) de la USEPA (agencia de protección al ambiente de los Estados Unidos) y al comparar con una muestra fuera de la Ciénega, que sugiere que el Se en los sedimentos y en el material biológicos proviene del suministro de agua y no del suelo.

Villanueva y Botello (1998) examinaron la problemática de la contaminación por metales en las áreas costeras de México. Aunque el enfoque es sobretodo para el Golfo de México, por las actividades industriales que se realizan de las refinerías de aceite, producción de fertilizantes, actividad minera y metalurgia. Se reportan contenidos elevados de Pb, Cd, Co, Cr, Cu, Ni y Zn en algunas de las lagunas y

zona de los ríos de los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, por la descarga urbana e industrial, las emisiones atmosféricas, desechos generados de las actividades del petróleo y otras. Influencia que también se manifestó en los valores encontrados en diferentes especies de moluscos.

En la Península de Baja California, un ejemplo de contaminación por metales pesados se registró en el área de Santa Rosalía. Shumilin *et al.* (2000) pone de manifiesto esta área es una zona impactada por la actividad minera de Cu, debido que la acumulación de los desechos mineros en la zona de playa a contribuido con la presencia de Cu, Zn, Co y Pb en altas concentraciones, desde muestras de arroyos, arenas de playa y en los sedimentos marinos costeros. La distribución que obtuvieron señala a la dársena o el puerto, como el punto principal de acumulación por el depósitos de escorias y la presencia de las minas.

Otro ambiente con menor grado de influencia por la actividad antropogénica es la Laguna de La Paz, localidad en que Méndez-Rodríguez *et al.* (1998), Rodríguez-Meza (1999) y Shumilin *et al.* (1998, 2001) señalan la presencia de elementos en los sedimentos de este ambiente, por un lado asociados a la actividad humana de la ciudad (Pb) y por el aporte natural de fosforita de la zona minera San Juan de La Costa (As, Sc, Th, Zn, U, lantánidos). Reportan la presencia de algunas asociaciones de elementos y de zonas comunes de acumulación en dicho ambiente.

Por otro lado, se cuenta con trabajos que reflejan las condiciones naturales de algunas localidades adyacentes a la península donde se señala el contenido de elementos, las fuentes de aporte y los factores que influyen en su distribución. Santiago-Pérez (1990) realizó un estudio químico y granulométrico de los sedimentos en una porción de la plataforma continental de Baja California Norte. Señaló que la distribución de Ti, Mn y Fe se encontraron asociados con la desembocadura del Río San Antonio, mientras el origen de Sr, Ba y Zn se deriva de las rocas ígneas y su distribución se encontró asociada a la presencia de minerales como feldespatos y ilmenita.

Martínez-Magaña (1995) observó a partir del factor de enriquecimiento (FE) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn en los sedimentos de Bahía de San Quintín, se acumularon en mayor proporción sobre los sectores de baja energía, como marismas y biodepósitos o en ambos (Cr, Ni, Cu). Mientras, las menores acumulaciones se encontraron en los sectores de alta energía a lo largo del canal principal (Cd, Fe).

Además que es posible definir asociaciones de elementos regulados por procesos orgánicos naturales e inorgánicos, lo cual demuestra una heterogeneidad en la distribución de los metales.

Shumilin *et al.* (1999) realizaron un estudio de las condiciones en que se encuentran diferentes ambientes marinos (Loreto y Coyote) a partir de observar las variaciones en la concentración de elementos mayores y traza en núcleos sedimentarios. La principal fuente de material es terrígena, sin embargo cada ambiente con particularidades como es Santa Rosalía y San Juan de La Costa. Ambas importantes zonas mineras. En Loreto y el Coyote, la concentración de Zn, Cr, Ni, As y Se reflejan condiciones de áreas prístinas, y para las otras localidades a ambientes afectados antropogénicamente.

Con referencia a los lantánidos, Daesslé-Heuser (1993) se enfocó a la geoquímica y sedimentología de los lantánidos en fosforitas de Bahía Vizcaíno. Los resultados indican para esta zona presentó una anomalía negativa de Eu que se manifiesta por los valores por debajo de la unidad (~ 0.5), además que no se encontraron evidencias de la anomalía para Ce, lo que hace considerar que los ETR provienen del detritos y de las arcillas asociadas al sedimento.

Rodríguez-Castañeda (2001) caracterizó los sedimentos de la Bahía de La Paz por el contenido de elementos mayores y traza, donde encuentra tres zonas principales de acumulación determinadas por i) aporte terrígeno, ii) material biogénico y iii) la mayor fracción fina del sedimento. Además con el factor de enriquecimiento destacó la presencia de Se, As y Sb en esta localidad.

Romero-Bañuelos (2003) examinó la presencia de elementos en la materia particulada suspendida de la porción sur de la Bahía de La Paz. Los resultado mostraron que el aporte de Al y Fe en el agua superficial es provocado por la resuspensión del material por los vientos de invierno, y el enriquecimiento de Mn y Cd fueron asociados a procesos de advección del agua del Golfo de California.

Los siguientes estudios corresponden básicamente a la porción sur de la península, donde manifiestan la importancia de las rocas fosfatadas de la Formación San Gregorio, en las características geoquímicas del ambiente marino adyacente. Entre estos destaca el trabajo realizado por Piper (1991), cuyo estudio se enfocó a la geoquímica de depósitos sedimentarios fosfatados, donde señala que la presencia de lantánidos en los sedimentos y en material continental se atribuyen a la productividad

elevada que caracterizó en épocas pasadas a la península, y a las condiciones redox del agua de mar bajo las cuales se deposita el sedimento.

Piper (1994) determinó la influencia del agua de mar como fuente de elementos menores en la lutita, fosforita y en otras rocas adyacentes a la Península de Baja California. El señala que las rocas de las formaciones geológicas Monterrey (California, E. U. A.) y San Gregorio (Baja California, México) están caracterizadas por un contenido alto de fosfato y algunos elementos traza (Zn, Cd, Cu, Mo y lantánidos). Dichos resultados los asocia al depósito de desechos biogénicos producto de la productividad biológica, precipitación y/o adsorción de los elementos desde el agua y eventos hidrotermales antiguos y actuales en la localidad.

Álvarez-Arellano (1995) realizó un estudio geoquímico de los sedimentos y de la procedencia de las arenas fosfáticas en el complejo Magdalena-Almejas, y reveló que las altas concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, V y Zn se asocian a los sedimentos ricos en fósforo, que puede provenir de la fosforita que aflora en la península y de las areniscas fosfáticas y paleodunas presentes en la línea de costa.

Otro aspecto de interés y relevante en la región, es el aporte de elementos por ventilas hidrotermales, que es una fuente natural de diferentes elementos. Esta actividad se ha observado y estudiado en Bahía Concepción por Greene y Forrest (2002), Prol-Ledesma *et al.* (2003, 2004), que son de los pocos estudios publicados. En la zona se detectaron dos ventilas cuya presencia se asocia a las fallas probablemente de la extensión tectónica del Golfo de California. Una se localizada en Santispac, cuya descarga es subaérea y esta afectada por la marea, la temperatura llega a ser de 62°C. Mientras, la otra se ubica más al sur a una profundidad aproximada de 15 m, en donde la temperatura oscila de 50°C en el agua de fondo a 87°C dentro del sedimento. El análisis químico del agua indica que el agua es mas diluida que el agua de mar circundante pero esta enriquecida en B, Ca, As, Hg, Mn, Ba, I, Cs, Fe, Li, Sr y Si. Se observó que estas ventilas están caracterizadas por precipitados que contienen principalmente oxihidróxidos de hierro.

Otro trabajo que hay que señalar, aunque no esta enfocado al ambiente marino, es el realizado por Carrillo y Drever (1998), cuyo estudio pone de manifiesto la importancia de los desechos mineros en la contribución de As en el agua de algunos pozos del área de San Antonio (B. C. S.), a partir de la

disolución y oxidación de la arsenolita (tipo de desecho). Estimó que se puede liberar de este material de 0.5 mg/l a 2.1 mg/l de As al agua subterránea, nivel que sobrepasa el límite permisible de 0.5 mg/l señalado por la Organización Mundial de la Salud.

2. 2. Algas marinas como organismos bioindicadores

2. 2. 1. Estudios a nivel mundial

Actualmente, el uso de organismos bioindicadores es común, con la finalidad de identificar cambios en el ambiente, aporte de sustancias o partículas extrañas y para el monitorio continuo por periodos largos de tiempo. El trabajo realizado por Jamil-Kaiser (2001) permite observar la variedad de organismos que son comúnmente empleados como indicadores en diversas regiones del mundo, que van de invertebrados a organismos superiores. Sin embargo, requieren cumplir con algunos requisitos que son señalados por trabajos que se indicaran a continuación, entre éstos ser sésiles, tolerantes a concentraciones altas de elementos y a los parámetros ambientales, abundantes y fáciles de capturar. Aspectos que cumplen los poliquetos, moluscos, las algas y los pastos marinos, que son de los más comunes y con amplia presencia en diferentes ambientes.

Entre los estudios que emplean las algas destacan los siguientes:

Seeliger y Edwards (1977) determinaron los coeficientes de correlación y el factor de concentración de Cu y Pb en cuatro especies de algas bentónicas y agua de mar. Se encontró mayor concentración de Cu que de Pb y las especies que mayor contenido presentaron fueron *Blindingia* y *Enteromorpha* que reflejan las condiciones del agua en que se recolectaron. Además de señalar la influencia que puede ejercer los metales asociados al sedimento en suspensión. *Blindingia* fue la especie donde se encontraron los factores de concentración más altos, debido a su capacidad para tomarlos del agua y la eficiencia en la unión de los metales con el tejido.

Crist *et al.* (1988, 1990) emplearon a las algas para describir el proceso de acumulación de metales, el cual esta representado por dos pasos: pasivo y activo. El pasivo fue descrito por interacciones electrostáticas de los metales con la superficie donde se pueden encontrar ligandos con oxígeno, nitrógeno y azufre. Mientras, el proceso lento es una combinación de difusión lenta en la pared celular

seguido por una reacción rápida con el citoplasma. Mecanismos que se ven afectados por el pH del medio que puede incrementar la velocidad. La importancia de estos procesos en la acumulación de metales, fue también señalado por Karez *et al.* (1994), quienes evaluaron la concentración de metales en algas de la Bahía de Sepetiba (Brasil). Ellos encontraron que las Pheophytas (*Padina gymnospora* y *Spatoglossum schroederi*) obtuvieron mayor contenido de Zn, Cd y Cr, que obtienen por los dos procesos antes descritos, además que la acumulación esta influenciada por parámetros físicos-químicos, pH, salinidad, temperatura, luz y materia particulada y orgánica.

Rajendran *et al.* (1993) examinaron diferentes especies de algas de la India para establecer los niveles de metales (Mn, Fe, Cu y Zn) en varias localidades que demostraron variación espacial asociada a la descarga de desechos domésticos e industriales. Observó mayor concentración de Fe y Zn en las algas verdes y rojas. Esto se atribuyó al contacto que tiene el alga con los sedimentos suspendido, además que el incremento en la concentración de metales en el agua influye para una bioacumulación mayor.

Caliceti *et al.* (2002) estimó la contaminación por metales pesados en diferentes especies de algas en la Laguna de venecia, entre las que destacan *Ulva rigida* C. Ag. y las especies del género *Fucus*, debido que son de las mas empleadas y se indicará mas adelante. Los datos señalan a *Ulva* como la especie con el mayor contenido de Fe, Cu, Pb y Cr, y además de Cd y Ni que también se observó en *Fucus*. Esto también permitió observar una disminución en los datos asociados a la actividad industrial y sugieren reducción en la contaminación de este ambiente.

Stengel *et al.* (2004) compararon las concentraciones de Zn en diferentes especies de algas del oeste de irlanda, para distinguir grupos funcionales morfológicos y funcionales. Los autores encontraron concentraciones intermedias-altas de Zn en las algas verdes y cafés.

En la División Pheophyta, *Fucus vesiculosus* es una de las especies para observar la acumulación de metales pesados. Louma *et al.* (1982) determinaron la concentración de Cu, As, Pb, Zn y Ag en el tejido y este se vio correlacionado con los valores en los sedimentos. Esto resultado del contacto de la superficie con el sedimento en suspensión y con el fondo durante marea baja. Muse *et al.* (1995) emplearon diferentes especies de algas cafés para evaluar el contenido de Cd, Pb y Al, debido a las características de la pared celular en donde destaca la presencia de los polisacáridos algales (fucoïdan y el

ácido algínico). Los resultados muestran la capacidad que tienen las algas para la acumulación de los metales que provienen de la influencia antropogénica.

Campanella *et al.* (2001) estimaron la concentración de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn en el alga café *Padina pavonica* (L.) y para otros organismos indicadores en las costas de Sicilia (Italia), que esta afectada por las emisiones de tráfico naval y la descarga de desechos domésticos. Se encontró alto contenido de Cd, Pb y Zn asociados a las fuentes antropogénicas, y se observó el siguiente orden de concentración: Zn > Cu > Pb > Cr > Cd.

Entre las especies de la División Chlorophyta, mejor utilizadas y con mayores estudios son *Ulva rigida* C. Agardh, *Enteromorpha linza* (Linnaeus) y *E. intestinalis* (Linnaeus) L. Ho (1990) empleó a *U. lactuca* L. como especie indicadora de la concentración de Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en varios sitios de Hong Kong. Las concentraciones altas de metales en el agua por efecto de las aguas residuales descargadas se vieron reflejadas en las concentraciones de las algas, con excepción de Ni y Cd. Esto indica la biodisponibilidad de los elementos y la capacidad que tiene el alga para tomarlos. Haritonidis y Malea (1995) examinaron la variación de Cr, Ni y Co en ambas especies para el Golfo de Termaikos (Grecia) y encontraron un orden de concentración similar al agua de mar (Ni > Cr > Co), que sugiere la influencia del agua para la incorporación de los elementos. Además encontraron que el contenido de los elementos es influenciado por la dinámica de crecimiento, la edad del tejido y la variación de los elementos en el ambiente.

Villares *et al.* (2002) estimaron en *U. rigida* y *E. intestinalis* el contenido de Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn, y los cambios estacionales para las costas de Galicia (España). Los resultados muestran mayor concentración en *Enteromorpha*, y las variaciones estacionales (valores mínimos en verano y máximos en otoño/invierno) que se encontraron asociados al efecto y/o interacción de factores ambientales y metabólicos.

2. 2. 2. Estudios a nivel nacional

La relevancia de emplear organismos bioindicadores en México, como sucedió con los sedimentos, solo es considerada para las zonas con influencia antropogénica. Los moluscos han sido los más

empleados por la facilidad en el manejo, la forma de vida y a la tolerancia a los metales. Gutiérrez-Galindo *et al.* (1991) estimaron la concentración de metales pesados en los tejidos y en los biodepositos sedimentarios de *Crassostrea gigas* (ostión) de la Bahía San Quintín. Pamplona-Salazar *et al.* (1992), estudiaron comunidades sujetas al impacto de contaminación orgánica en la Bahía de Todos Santos. Ambos estudios examinaron la contaminación que se ejercía al ambiente a través de la descarga antropogénica de material orgánica y elementos. Recientemente, Sobrino-Figueroa (2001) realizó bioensayos con larvas, juveniles y adultos de *Argopecten circularis* de tres localidades de la región (Pichilingue, CICIMAR, Bahía Concepción) para probar el efecto de Cd, Cr y Pb. Entre los trastornos observados fue la reducción en el número de larvas fijadas, reducción de la tasa de crecimiento, aumento del consumo de oxígeno, apertura máxima de las válvulas y variaciones en el cierre de estas.

Para esta zona, son pocos los estudios que emplean a las algas como indicadores, entre ellos destacan los de Rodríguez-Castañeda (2001) y Sánchez-Rodríguez *et al.* (2001), realizados en la Bahía de La Paz y Bahía Loreto, respectivamente. El primero trabajo identificó 12 especies, 5 pertenecientes a la División Rhodophyta, 3 a la Phaeophyta y 4 a Chlorophyta. A partir de la concentración de elementos, destacó *Enteromorpha intestinalis* (Linnaeus) Link 1820 por la concentración de Rb, Th, Sc, U, Hf, Ta, Cr y Zn; y en *Sargassum sinicola* Setchel and Gardner 1924, *Padina mexicana* Dawson 1944 y *Codium cuneatum* Setchell and Gardner 1924 se encontraron valores altos de Se, As y Sb. Con respecto a Bahía Loreto, se determinó la concentración de elementos mayores y traza en 7 especies de algas pertenecientes a las tres divisiones algales. Se encontró que las algas cafés tuvieron mayor capacidad de acumular elementos que las algas rojas y verdes. Las correlaciones altas de Fe y Sc con otros elementos permiten señalar al material terrígeno como una fuente de los elementos.

3. JUSTIFICACIÓN

La escasa información de carácter geoquímico para ciertos ambientes adyacentes de la Península de Baja California es evidente, a pesar que en algunos los asentamiento humanos y las actividades turísticas y comerciales van en aumento. Es por ello, que es necesario realizar estudios de prospección para dar a conocer las condiciones en las que se encuentran los ambientes, identificar las fuentes de aporte y las concentraciones características de los elementos. Aspectos que son relevantes, si se considera que en la región hay varias fuentes naturales de aporte de elementos al ambiente marino, que contribuyen a encontrarlos en concentración alta y que han sido escasamente estudiados. Entre ellos destaca la presencia de depósitos minerales (cuprita, magnesita, magnetita, fosforita) en las cuencas de drenaje de algunas localidades que contribuyen con el aporte de elementos en altas concentraciones, eventos de surgencia que aportan aguas ricas en nutrientes y diversos componentes que actúan como ligandos para los elementos disueltos en el agua de mar y, recientemente investigadas, las ventilas hidrotermales cuya contribución en las características geoquímicas de los sedimentos de Bahía Concepción se están dando a conocer. Además que poco se conoce de los niveles en que los elementos llegan a encontrarse en la biota, ya sean moluscos, algas o algún otro organismo para la porción sur de la península.

Por tal motivo, se planteó el siguiente estudio para establecer las características geoquímicas en las que se encuentran las zonas de Bahía Concepción, el complejo lagunar Magdalena-Almejas y Santa Rosalía, tomando en cuenta que la actividad antropogénica en dichas localidades oscila de bajo a alto impacto, respectivamente. Además para establecer las concentraciones de elementos, identificar sitios con contenidos anómalos, patrones de distribución, fuentes de aporte. Asimismo se consideró a las algas como indicadores para identificar los elementos disponibles, determinar la variación espacial, zonas de mayor concentración, especies susceptibles de emplearse como bioindicadores de la concentración de elementos traza.

4. HIPÓTESIS

El material continental de la Península de Baja California se encuentra enriquecido por algunos elementos traza (As, Co, Cu, Zn, Cd, Eu, Sb, Se) debido a procesos naturales (vulcanismo antiguo, actividad hidrotermal, alta productividad primaria, diagénesis, asociación granulométrica, entre otros) que han caracterizado a la región y contribuyeron al depósito de minerales de importancia económica (cuprita, fosforita, magnetita y otros). Sin embargo, la explotación de algunos de estos recursos puede incrementar la concentración y dispersión de los elementos en el ambiente marino adyacente.

Dicho lo anterior, se considera que la acumulación y la concentración de los componentes y elementos en los sedimentos superficiales y macroalgas esta determinada por las características que predominan en cada área de estudio, entre ellas la geología, hidrodinámica, la ausencia o presencia de la actividad antropogénica. Probablemente, esto es resultado de la exposición continua al material aportado desde la cuenca de drenaje y al agua circundante, que son algunas de las principales formas de esparcimiento de estos componentes inorgánicos.

5. OBJETIVO GENERAL

interpretar las características geoquímicas de los sedimentos superficiales y las macroalgas de algunos ambientes marinos costeros adyacentes a la Península de Baja California (Bahía Concepción, complejo lagunar Magdalena-Almejas y Santa Rosalía).

Objetivos particulares

- Conocer las concentraciones y la distribución espacial de los componentes mayores (carbonatos, carbono orgánico), elementos mayores (Fe, Ca, K) y traza en los sedimentos superficiales (complejo lagunar Magdalena-Almejas y Bahía Concepción),
- Caracterizar las asociaciones geoquímicas entre los componentes mayores, elementos mayores y traza en los sedimentos de las áreas de estudio,
- Conocer las concentraciones de elementos mayores y traza en macroalgas del área de Santa Rosalía (zona minera) y de las áreas no impactadas (complejo lagunar Magdalena-Almejas y Bahía Concepción),
- Definir las especies de macroalgas susceptibles de emplearse como bioindicadoras para identificar zonas naturales y con impacto antropogénico, y para observar la variación espacial y temporal del contenido de los elementos,
- Aplicar diferentes formas de normalización de los datos con el objeto de identificar la variabilidad de los elementos con respecto a los datos de referencia, definir posibles fuentes de aporte, disminuir el efecto del factor diluyente en los sedimentos (carbonatos) para una mejor interpretación de los resultados,
- Comparar los resultados obtenidos en los sedimentos y macroalgas de las tres áreas de estudio, para definir las áreas sin y con impacto humano, elementos que las caracterizan, las especies comunes de las macroalgas y los niveles de elementos,
- Caracterizar las tres áreas de estudio comparando los resultados con otras localidades de la región y con respecto a otras áreas a nivel mundial.

6. ÁREAS DE ESTUDIO

El estudio comprende la caracterización geoquímica de tres ambientes marinos costeros. Por un lado, la determinación de elementos traza en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas, influenciado por rocas de tipo sedimentarias marinas (Formación San Gregorio) con

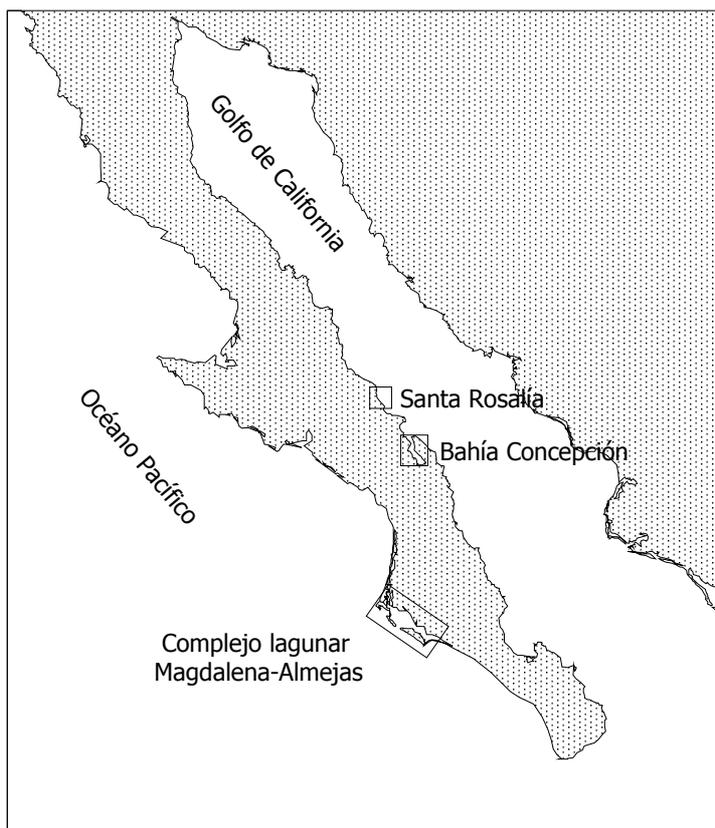


Figura 1. Localización de las áreas sujetas a estudio

presencia de rocas fosfáticas ricas en metales y de rocas metamórficas. Bahía Concepción comprende un área compuesta de rocas principalmente volcánicas y volcanoclásticas pertenecientes a la Formación Comondú (Consejo de Recursos Minerales, 1999) (Figura 1).

Otra de las áreas bajo investigación fue el área de Santa Rosalía, donde únicamente se extrajeron algas ya que los sedimentos fueron examinados por Shumilin *et al.* (2000).

6. 1. Santa Rosalía

6. 1. 1. Ubicación geográfica

Santa Rosalía pertenece al distrito minero El Boleo y se encuentra localizada en la porción central de la Península de Baja California, dentro de las coordenadas 27° 18' 26" - 27° 23' 10" de latitud norte y 112° 16' 16" - 112° 18' 49" longitud oeste (Arellano-Morales, 1997) (Figura 2).

6. 1. 2. Clima

Esta zona se caracteriza por ser muy seco y extremadamente árido (temperatura media anual 25°C y máxima 45°C). La ocurrencia de precipitaciones torrenciales se encuentra determinada por la presencia de huracanes tropicales. No existen ríos ni arroyos permanentes, solo algunos arroyos intermitentes registrados en la zona son El Boleo, La Soledad, El Purgatorio, Providencia, El Montado y Santa Águeda, que corren en dirección casi perpendicular a la costa (Corporación Ambiental de México, 1996).

En el Golfo de California los vientos del norte, que prevalecen durante los meses de invierno, provocan surgencias a lo largo de la costa este, mientras que durante los meses de verano, los vientos prevalecientes del sur causan surgencias a lo largo de la costa peninsular (Moser *et al.*, 1974; citado en Peguero-Icaza, 2000). En el área de estudio se manifiestan mareas mixtas semidiurnas con una amplitud de 0.36 m.

6. 1. 3. Relieve

El relieve del área está conformado de una acumulación de rocas sedimentarias y volcánicas cenozoicas que sepultan parcialmente una topografía preexistente labrada en rocas sedimentarias, intrusivas y metamórficas mesozoicas (INEGI) (Figura 2). La zona presenta 4 tipos de ambientes marinos litorales (1) ambiente rocoso (canto rodado), (2) arenoso-rocoso (grava y arena gruesa), (3) ambiente impactado (arena mezclada con escoria), (4) pendiente de acantilado rocoso (canto rodado y rocas grandes, algunas zonas con arena gruesa) (Corporación Ambiental de México, 1996).

6. 1. 4. Geología

Esta incluida en la subprovincia geológica de la Sierra de La Giganta, que esta representada por el basamento Pre-terciario de 78 a 144 m.a. (McFall, 1968; Gastil *et al.*, 1978 citado en Rodríguez-Figueroa, 2004), Formaciones marinas del Terciario Temprano y un grueso complejo volcánico y volcanoclástico, denominado "Formación Comondú" (Heim, 1922; citado en Rodríguez-Figueroa, 2004). La cuenca de Santa Rosalía esta limitada al norte y noroeste por el sistema volcánico plio-cuaternario de las Tres

Vírgenes-La Caldera-La Reforma y al sur y suroeste por la Sierra de Santa Lucia. Las Unidades litoestratigráficas existentes son El Boleo (secuencia vulcanosedimentaria transgresiva con capas de areniscas y limolitas y argilitas combinadas con material tobáceo) (Arellano-Morales, 1997), Tirabuzón (sedimentos de grano fino a medio, con la presencia de un basamento conglomerático y lutitas intercaladas) e Infierno (areniscas compactas con intercalaciones de de conglomerado basal), así como el volcanismo Plio-Cuaternario de Tres Vírgenes y de la Caldera La Reforma, terrazas pleistocénicas y materiales aluviales Holocénicos (Romero-Rojas *et al.*, 1997 en Monografía Geológico-Minera del Estado de Baja California Sur, 1999) (Figura 2).

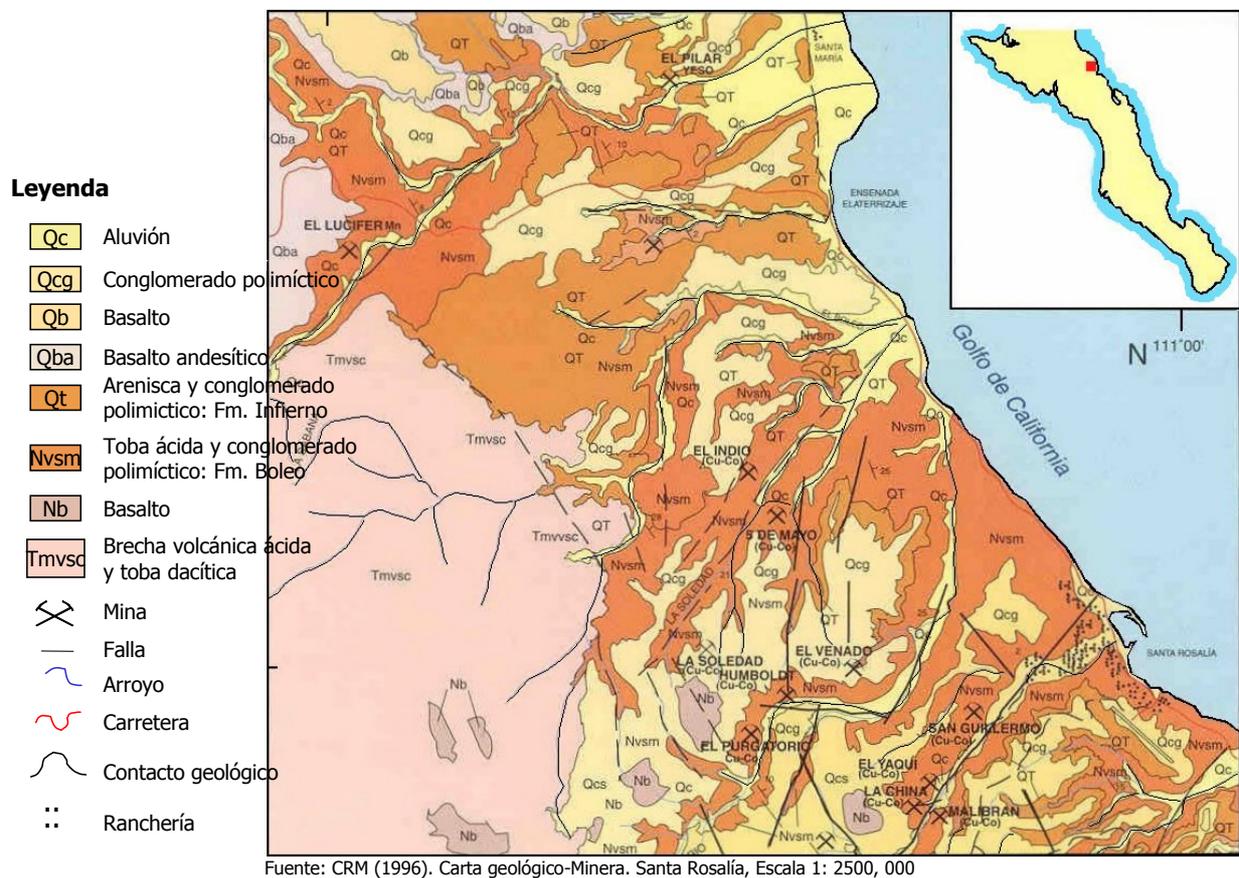


Figura 2. Mapa geológico del área de Santa Rosalía, B.C.S. (Tomado de Consejo de recursos minerales, 1999).

Esta área comprende parte de la región mineralizada de Santa Rosalía que se extiende desde la Isla San Marcos y el poblado de Santa Rosalía hasta las cercanías del paralelo 28° longitud norte, cuenta

con importantes depósitos de Cu-Co-Zn, manganeso-yeso que se localizan dentro del distrito El Boleo (Consejo de Recursos Minerales, 1999). Una característica geomorfológica de esta área es la formación del abanico-deltas, que se forman por la erosión de las rocas características de la cuenca de drenaje y su subsecuente transporte y depositación a la zona de descarga al mar. A lo largo del litoral dominan las playas de pendiente fuerte a moderada, alimentadas por los abanico-deltas.

6. 1. 5. Situación ambiental

Los estudios realizados para esta zona son escasos. Sin embargo, dada la importancia de los recursos minerales que ahí se explotaron por empresas mineras el interés se ha incrementado. En 1996, Se realizó un estudio básico ambiental titulado "Proyecto Minero El Boleo. Santa Rosalía, Baja California Sur"(Corporación ambiental de México, 1996), en el cual describen varios aspectos del medio natural (rasgos físicos, climatología, geología, geomorfología, suelo, hidrología, oceanografía), rasgos biológicos (vegetación, fauna, caracterización del área, pesquerías) y el medio socioeconómico (rasgos sociales, población, servicios públicos). En este trabajo se señalaban algunos cambios en el ambiente como resultado de la actividad minera que se realizó para la extracción de Cu. Santa Rosalía es, sin duda, un área importante tomando en cuenta los recursos minerales explotables (Cu, Co, Zn, Ni) dados a conocer por estudios geológicos y geoquímicos.

6. 2. Bahía Concepción

6. 2. 1. Ubicación geográfica

Bahía Concepción es un cuerpo de agua bien definido que se localiza en la costa occidental del Golfo de California y se encuentra orientado en dirección noroeste-sureste entre los paralelos 26° 33' y 26° 53' de latitud norte y 110° 42' y 112° 56' de longitud oeste.

6. 2 .2. Clima

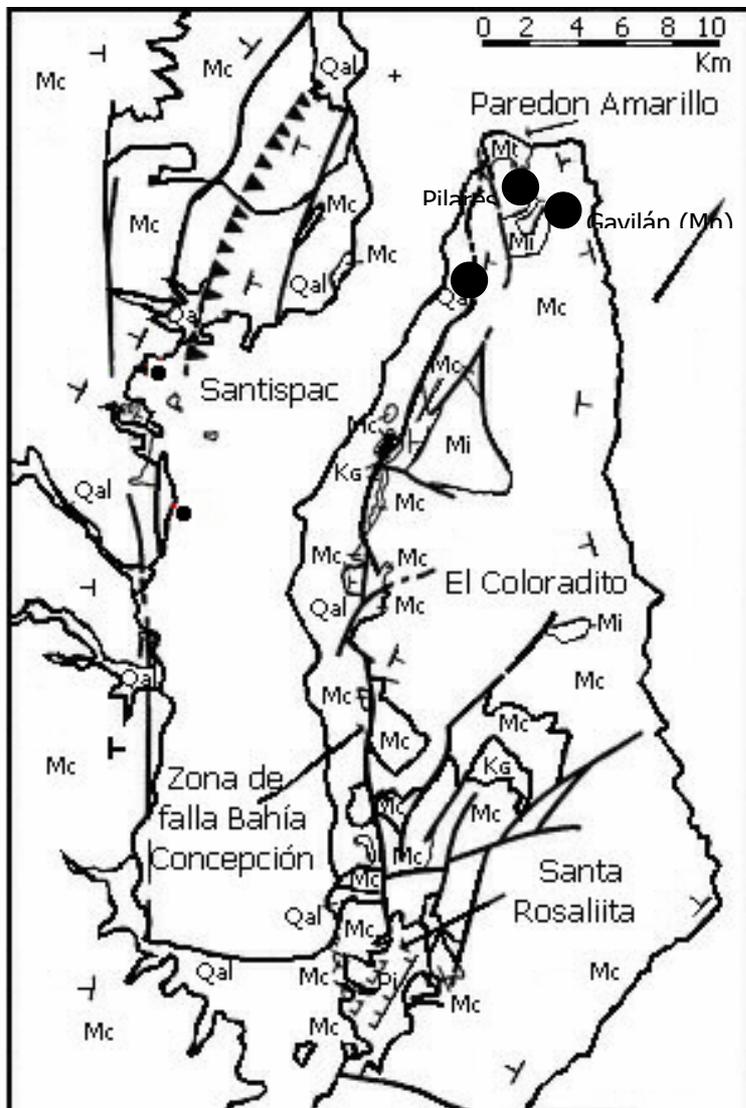
La bahía se encuentra en una región desértica árida, donde la temperatura en los meses de verano oscila de 32°C a °C, mientras en los meses de invierno la temperatura decrece hasta 6°C (Mateo-

Cid *et al.*, 1993). La precipitación pluvial es escasa alcanza pocos centímetros. La lluvia comúnmente es torrencial y se asocia con *chubascos*, los ciclones tropicales que se mueven de las costas del Océano Pacífico en los meses de agosto y septiembre (McFall, 1968).

6. 2. 3. Geología e hidrología

Mide aproximadamente 40 km de largo y 9 km en su parte más ancha. En la región de Bahía Concepción afloran rocas volcánicas y volcanoclásticas pertenecientes a la Formación Comondú, rocas

subvolcánicas asociadas, apófisis graníticas, escasas rocas sedimentarias marinas y flujos de lava, domos y rocas piroclásticas relativamente recientes (Figura 3) (Consejo de recursos minerales, 1999; Ledesma-Vazquez y Johnson, 2001). El material que llega al interior de la bahía es drenado por 25 cuencas de drenaje que incluyen 51 arroyos del lado este y en el oeste por 46 arroyos y un río



Leyenda

- Qal Aluvión del cuaternario. Arena volcanoclástica y conglomerados de abanicos aluviales, terrazas de abrasión
- Mt Formación Tirabuzón Mioceno
- Mc Grupo Comondú Mioceno
- Pi Formación Infierno Plioceno
- Mi Intrusión indiferenciada Mioceno. Tonalita y gabro
- Kg Basamento Cretácico. Granodiorita y monosita con intrusiones de esquistos
- Ventila gasohidrotermal
- Depósito mineral
- Zona de falla

Figura 3. Mapa geológico de Bahía Concepción, B. C. S. (McFall, 1968; citado por Ledesma-Vázquez y Johnson, 2001)

(Figura 4), que aportan un volumen aproximado de sedimento drenado anualmente de 14, 777.57 m³ (Pérez-Soto, 1995).

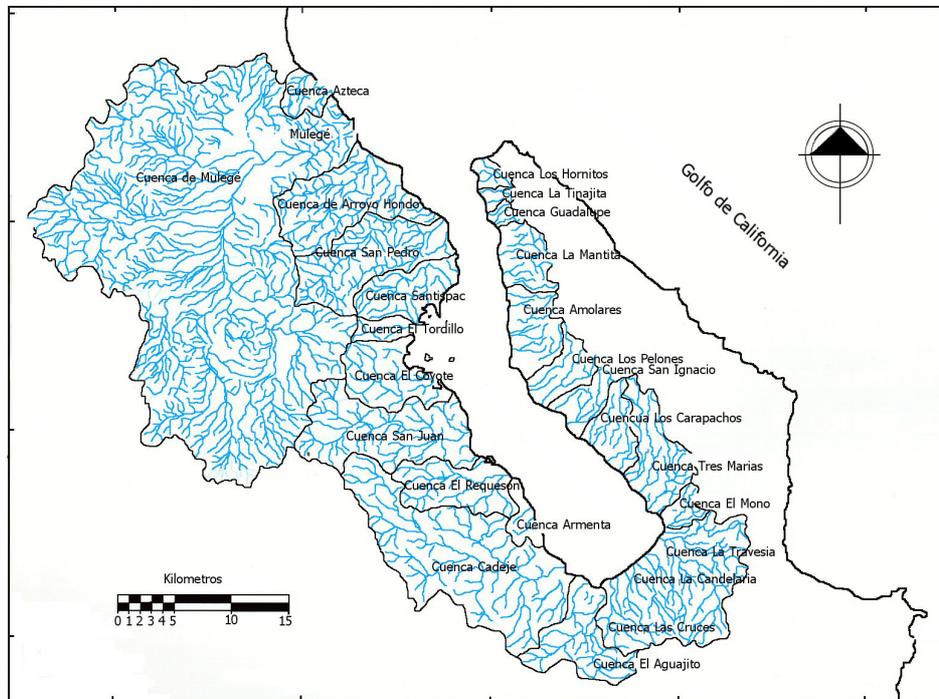


Figura 4. Sistema de drenaje de Bahía Concepción (tomado de Pérez-Soto, 1995)

Dos tipos principales de sedimento han sido señalados para la bahía: arena y lodo (Motolín-Hidalgo, 1996). La arena gruesa y arena media predominan cerca de la Playa Santispac y en las partes suroeste, este y noreste adyacentes a la línea de costa (Shumilin *et al.*, 1996). Mientras los limos y la arena muy fina se encontraron en la parte profunda, localidad al sur de la bahía.

6. 2. 4. Batimetría y oceanografía

La profundidad media es de 17 m y la máxima se localiza al sur de la bahía (parte central), con aproximadamente 30 m (Santa María-Gallegos, 1996). En la Figura 5 se presenta la batimetría del área (mapa proporcionado por CICESE). Las características del fondo son influenciadas por el intercambio de masas de agua entre el golfo y la bahía por efecto del viento (Dressler, 1981) y en su totalidad por las mareas (Obeso-Nieblas *et al.*, 1996). La modelación del flujo de la marea muestra 2 flujos y 2 reflujos

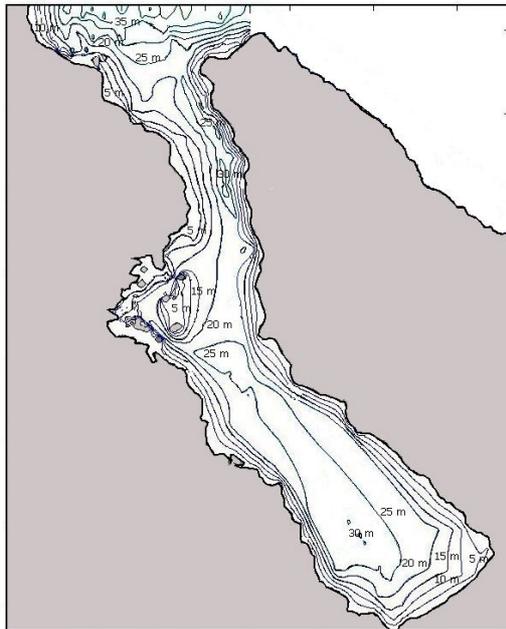


Figura 5. Batimetría de Bahía Concepción (fuente CICESE, 2002)

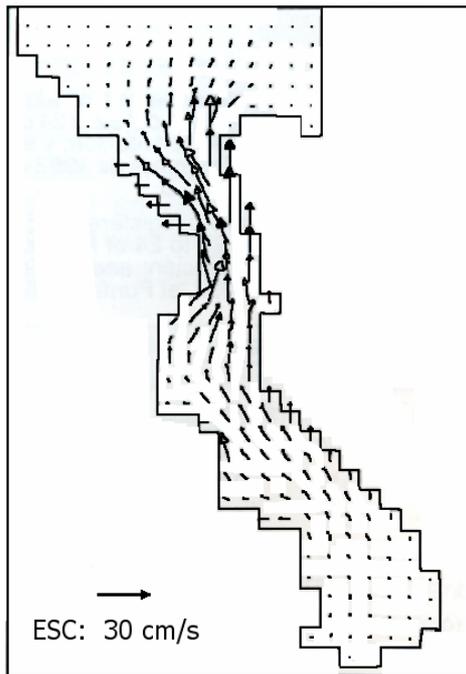


Figura 6. Distribución de las velocidades modeladas durante el flujo para Bahía Concepción (tomado de Obeso-Nieblas *et al.*, 1996)

diarios puesto que el tiempo de marea es mixto, con una desigualdad diurna en las bajamares (Figura 6). El transporte de sedimentos hacia el Golfo en la región de Bahía Concepción se realiza en menor proporción por los escurrimientos peninsulares, mientras que el viento y la circulación costera son responsables de la carga sedimentaria en la zona costera.

Las características químicas del agua son influenciadas por aportes subterráneos de agua dulce y fuentes termales litorales, procesos físicos (estratificación y homogenización), químicos (fuerte oxidación de materia orgánica, producción de N y P, generación de fondos anóxicos y emisiones de sulfuro de hidrógeno) y biológicos (crecimiento de dinoflagelados tóxicos, ficotoxinas en moluscos) (CONABIO). López-Cortés *et al.* (2003) indican la presencia de 3 condiciones hidrográficas: mezcla en otoño-invierno, estratificación en primavera-verano y dos periodos de transición que varían según la intensidad y dirección de los vientos.

6. 2. 5. Situación ambiental

Estudios realizados en Bahía Concepción se enfocan a diversos organismos como los crustáceos, peces, algas y pastos marinos, debido a su gran importancia en el ecosistema como productores primario y consumidores.

El estudio realizado por Shumilin *et al.* (1996) fue uno de los primeros trabajos de prospección para conocer las características e indicó que los niveles son representativos de un ambiente prístino.

Recientemente, el estudio químico de las ventilas hidrotermales dan otro panorama para continuar su estudio debido al aporte de elementos disueltos y que precipitan alrededor de los flujos.

6. 3. Complejo lagunar Magdalena-Almejas

6. 3. 1. Localización geográfica

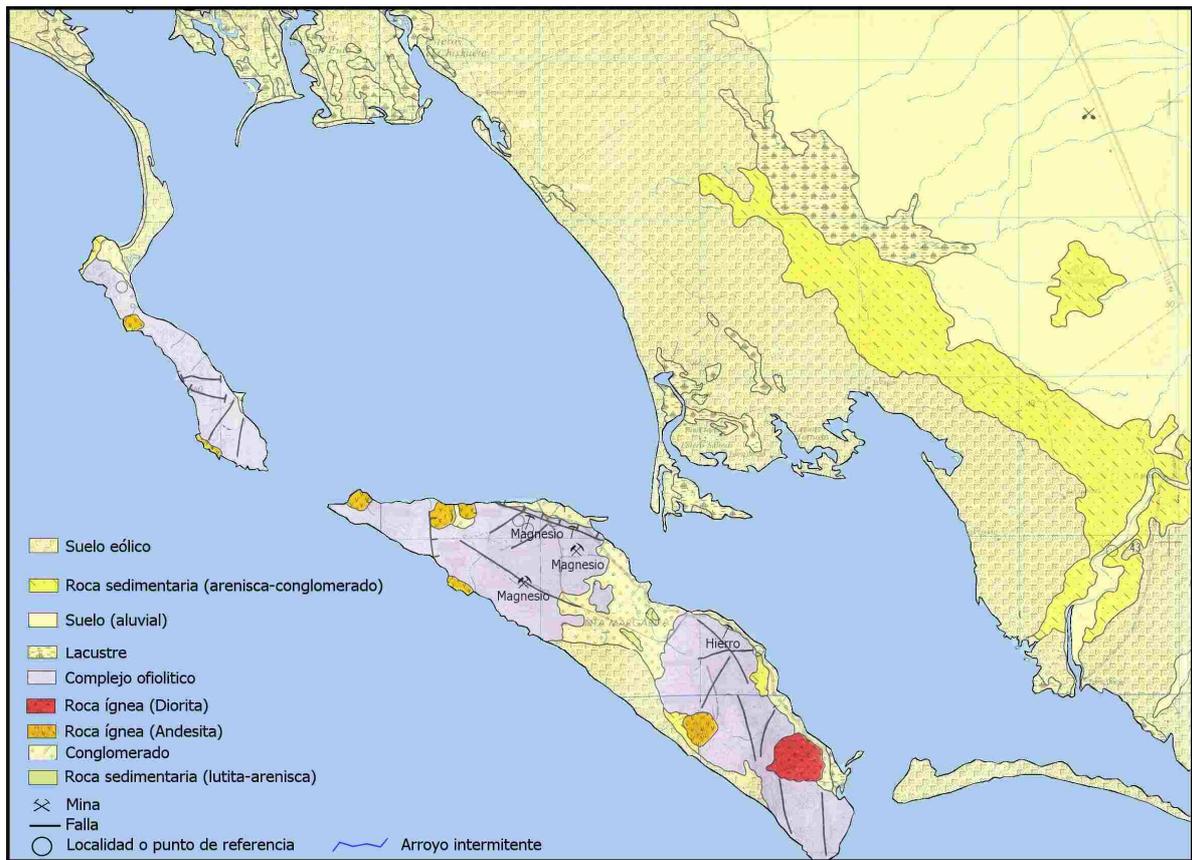
El complejo lagunar se localiza en 24° 15´ y los 25° 20´ de latitud norte y 110° 30´ y 112° 15´ de longitud oeste. Se ubica en la margen costera suroeste de la península en colindancia con las aguas del Océano Pacífico.

6. 3. 2. Clima

El clima en la región es muy seco, semicálido a muy cálido (INEGI, 1982). La temperatura anual promedio oscila entre los 22° y 24°C. La mayor precipitación pluvial en la zona ocurre en el verano, asociado a los fenómenos meteorológicos, como huracanes.

6. 3. 3. Geología

Estratigráficamente en la cuenca de drenaje del complejo lagunar se presentan algunas formaciones geológicas: la Formación Tepetate (Paleoceno a Eoceno) constituida por arenisca y arcilla turbidítica de sedimentos medios a finos; Formación San Gregorio (Oligoceno superior a Mioceno inferior) que presenta sílice (diatomita), sedimentos fosfáticos, calcáreos y tobáceos; Formación San Isidro (Mioceno medio) constituida por un miembro inferior de lutita y unas capas gruesa de arena; Formación Comondú (Mioceno superior) formada por areniscas y conglomerados con fragmentos volcánicos (Álvarez-Arellano, 1995). La Isla Margarita (superficie de 220 km²) esta constituida por rocas de afinidad ofiolítica, de edad Triásico Superior-Jurásico y una cubierta metasedimentaria de sedimentos turbidíticos de probable edad Cretácica (Consejo de Recursos Minerales, 1999). Existen varias localidades con pequeños depósitos de magnesita y magnetita (Figura 8).



Fuente: Carta geológica, escala 1: 250 000. La Paz G12-10-11.

Figura 8. Mapa geológico del complejo lagunar Magdalena-Almejas, B.C.S. (Tomado de Consejo de Recursos minerales, 1999)

6. 3. 4. Hidrología

El régimen del drenaje es controlado por las cuencas de drenaje Hiray, La Presa (115 km) y El Datilar (Murillo de Nava, 1997) (Figura 7). La descarga de agua por la cuenca Hiray es dentro de un área de inundación, para la cuenca La Presa el flujo es a través del Estuario Puerto Chale e incluye un área aproximada de 1300 km².

6. 3. 5. Batimetría

La superficie total del complejo lagunar se puede dividir en tres zonas: a) la zona noroeste que comprende una gran cantidad de esteros, lagunas y canales con una profundidad promedio de 3.5 m; b) parte central (Bahía Magdalena) que se comunica con el Océano Pacífico por medio de un canal profundo de hasta 38 m y c) la zona sureste denominada Almejas que está conectada con el océano por un canal

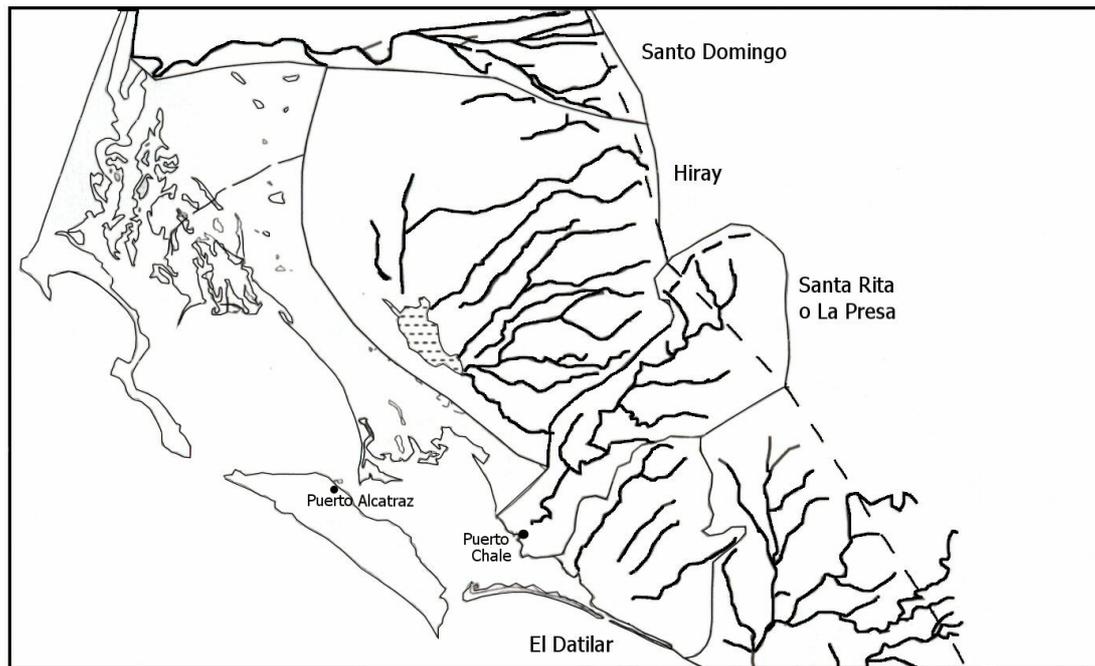


Figura 7. Mapa hidrológico de la porción central de la cuenca Magdalena Purísima-Iray (tomado y modificado de Murillo de Nava, 1997)

somero (Figura 9) (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975; Saldierna-Martínez *et al.*, 1987; Castañeda y Contreras, 1993). La batimetría irregular de esos sistemas junto con zonas de bancos superficiales y la existencia de canales de transporte, provoca que se observen zonas de agua con distintas características físicas-químicas, debido esencialmente a las variaciones de calentamiento y evaporación (Acosta-Ruíz y Lara-Lara, 1978).

6. 3. 6. Oceanografía

Resultados de los estudios hidrológicos de Álvarez-Borrego *et al.* (1975) en la columna de agua de este complejo lagunar muestran que la temperatura y salinidad elevadas se encontraron en la zona de canales y esteros (noroeste); mientras en las aguas de la zona sureste, las temperaturas fueron altas pero su salinidad fue casi tan baja como en la zona central debido que la evaporación no hace sentir su efecto en forma tan pronunciada como en la zona noroeste. Hay que añadir que la variación de la salinidad esta correlacionada con los cambios de marea, los valores máximos se observaron durante el reflujó y los mínimos durante el flujo; siendo estas características las de un sistema antiestuarino (Acosta-Ruíz y Lara-

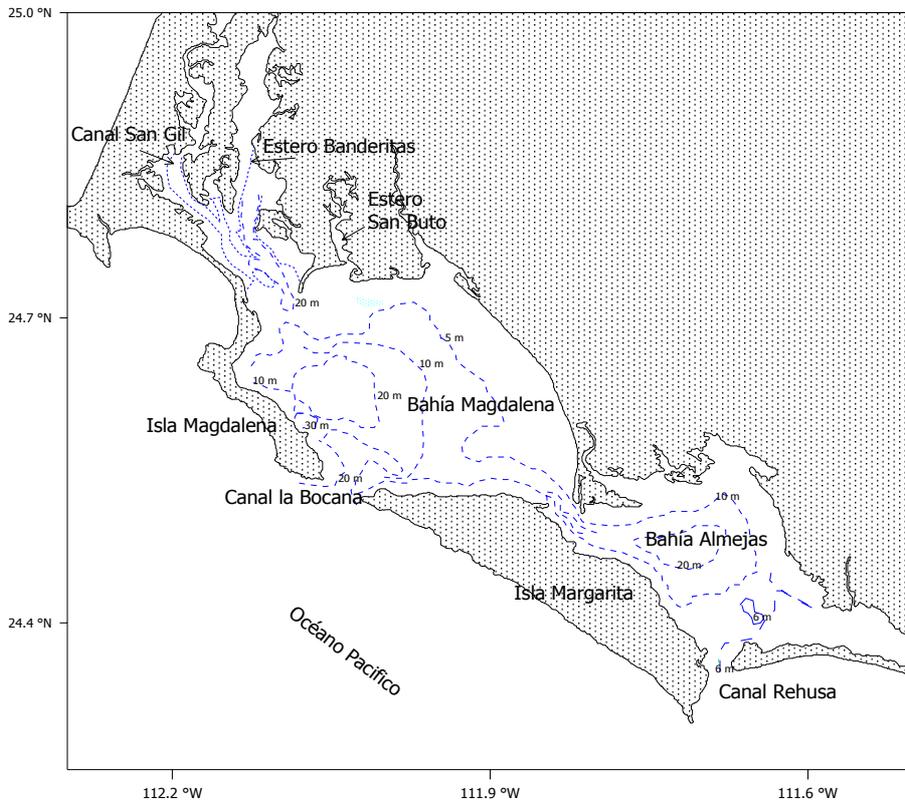


Figura 9. Batimetría del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Lara, 1978). El área oceánica adyacente al sistema lagunar Magdalena-Almejas es una zona típica de surgencias estacionales (Zaitsev *et al.* 2003), que inyecta nutrientes al sistema durante el flujo de la marea. Se estima que la intensidad máxima de la actividad de las surgencias se presenta durante la primavera

con variaciones en el rango de estos eventos, como consecuencia de los vientos dominantes y la pendiente batimétrica en el declive continental.

En el interior del complejo lagunar, las velocidades de la corriente registradas durante un ciclo de marea han sido de 22.5 cm/s durante el flujo máximo y de 20 cm/s en el reflujó (Acosta-Ruíz y Lara-Lara, 1978). En Puerto Alcatraz (Figura 10) y Canal Rehusa, la marea tiene un comportamiento semidiurno con un rango de 1.06 m y 1.01 m. Después de la modelación realizada por Obeso-Nieblas *et al.* (1999), se encontró que la velocidad máximo del flujo de la corriente fue de 1.09 m/s en Boca Entrada (Canal La Bocana) (Figura 10). Mientras en el Canal la Gaviota se registró 0.52 m/s con dirección noroeste-sureste y en el Canal Rehusa de 0.50 m/s.

6. 3. 7. Situación ambiental

Estudios previos señalar a esta zona como una de las mas importantes del noroeste mexicano, no sólo por su considerable extensión sino por su alta productividad, que la convierte en el centro de varias pesquerías importantes para la región (Lluch-Belda, 2000). En esta zona las investigaciones se han enfocado a los recursos marinos con la finalidad de describir los estadios de vida, las asociaciones con otros organismos, la distribución y abundancia. Aspectos que se han visto en estrecha relación con los cambios de manera estacional de la temperatura superficial del agua, el patrón de circulación de las aguas en el sistema, el recambio de agua con el océano Pacífico y el aporte de nutrientes por los eventos de surgencias oceánicas.

Álvarez-Arellano (1995) examinó los sedimentos de esta zona y encontró concentraciones altas de elementos asociados a las rocas fosfatadas. Sin embargo, no se ha reportado la presencia de estos en la biota.

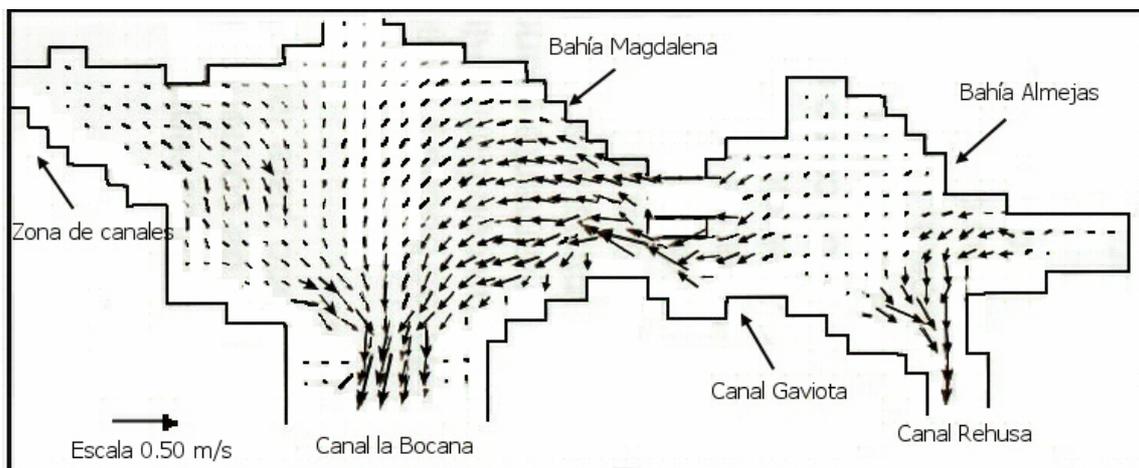


Figura 10. Velocidades modeladas durante el máximo refluo en el complejo lagunar (tomado de Obeso-Nieblas *et al.*, 1999)

7. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio comprendió el análisis de sedimentos superficiales y macroalgas marinas de las zonas de Bahía Concepción y complejo lagunar Magdalena-Almejas. En Santa Rosalía únicamente se consideraron las macroalgas debido que Shumilin *et al.* (2000) en un estudio previo caracterizó a los sedimentos superficiales de esta localidad.

En Bahía Concepción se colectaron un total de 129 muestras de sedimentos marinos del interior, 29 muestras en la boca y 24 muestras de material terrígeno (superficial) de las zonas de descarga de arroyos (Figura 11). La colecta del material se realizó de 18 de noviembre al 20 de noviembre de 1997, mediante buceo libre y con draga Van Veen teniendo cuidado de tomar el sedimento de la parte menos expuesta a las paredes de la draga. Las estaciones fueron geoposicionadas con un GPS (Global Position System) marca Magellan y

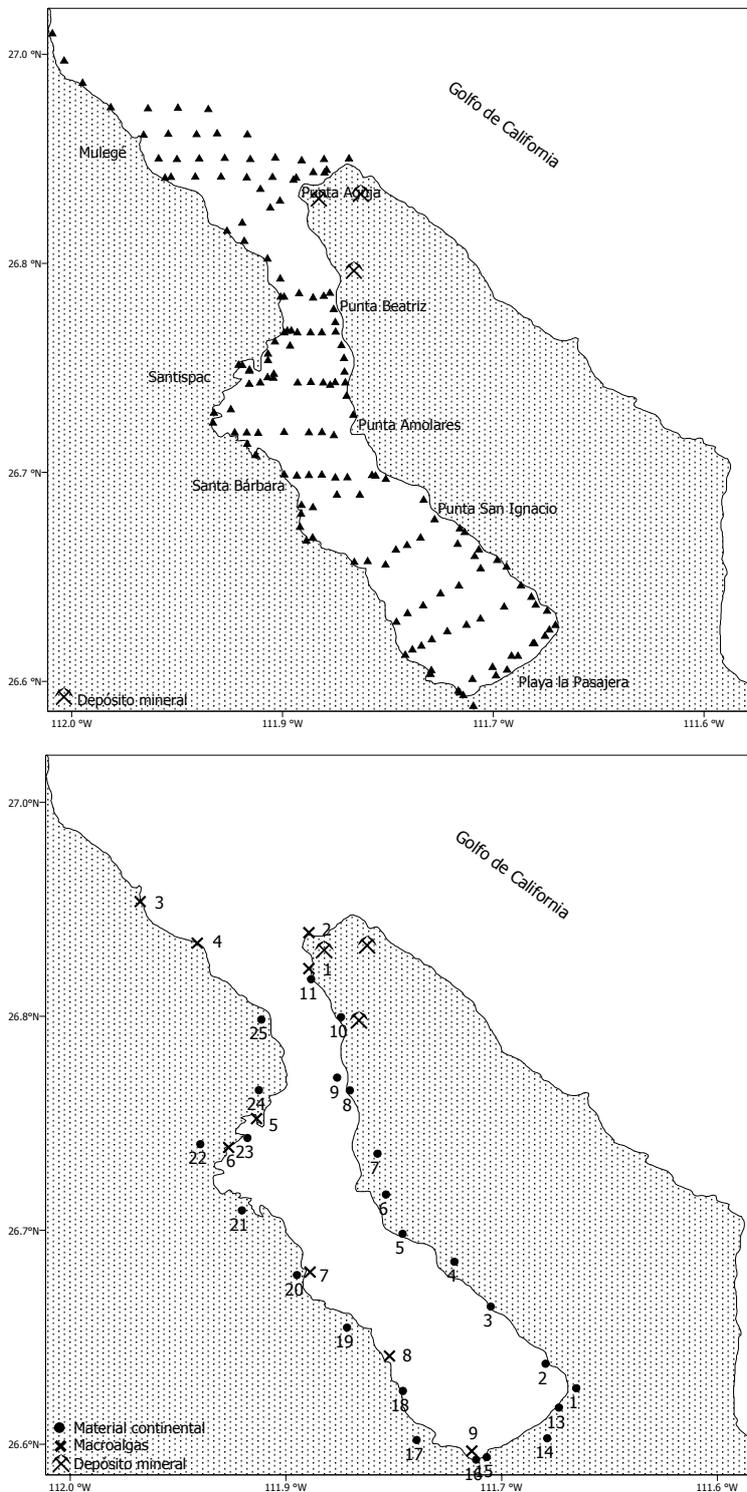


Figura 11. Localización de las estaciones de muestreo en Bahía Concepción: (a) sedimentos superficiales y (b) material continental y macroalgas

las muestras se guardaron en bolsas de plástico etiquetadas.

Se obtuvieron muestras de macroalgas de 9 estaciones de colecta en el mes de marzo del 2002 debido que estudios previos en XX (localidades adyacentes a la península) muestran a este periodo con el mayor florecimiento de las especies y diversidad. En la Tabla 1 se indican las coordenadas geográficas de las estaciones de colecta del sedimento superficial y en la Tabla 2 para las macroalgas en Bahía Concepción. Las algas se recolectaron manualmente, se guardaron en bolsas de plástico, se mantuvieron en frío en hieleras hasta su separación y lavado. Cada especie se guardó en bolsas de plástico marcada con los datos de la estación. Los puntos de colecta se presentan en la Figura 6. Durante los muestreos se tomó nota de la hora de colecta, la temperatura del agua superficial, la profundidad en la que se tomó la muestra y el tipo de sustrato en el que se encontró.

En el complejo lagunar Magdalena-Almejas se colectaron 110 muestras de sedimentos superficiales, del 31 de agosto al 4 de septiembre de 1998 (Figura 12). El material fue colectado de la misma manera como se indico para Bahía Concepción. Por otro lado, se obtuvo material terrígeno de la cuenca de drenaje y en las islas Margarita y Magdalena. Cada estación fue geoposicionada (Tabla 2) y el material se guardó para su procesamiento en el laboratorio. En 10 estaciones se recolectaron manualmente las macroalgas en marzo y junio del 2002, las cuales fueron preservadas como se indicó para Bahía Concepción (Figura 12, Tabla 3) De la misma manera que en Bahía Concepción, se tomaron macroalgas. Las estaciones para el complejo lagunar fueron 10 y se presentan en la Figura 12. El tratamiento de las muestras fue el mismo que se siguió en Bahía Concepción. En la Tabla 2 se muestran las coordenadas de las estaciones de colecta para las macroalgas y en la Tabla 3 la ubicación para el sedimento superficial y material terrígeno.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de colecta de los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción

Estac.	Longitud	Latitud	Estac.	Longitud	Latitud	Estac.	Longitud	Latitud	Estac.	Longitud	Latitud
Sedimento			35	111° 43.04W	26° 37.85N	70	111°50.65W	26° 38.64N	105	111° 45.99W	26° 36.03N
1	111° 49.92W	26° 53.44N	36	111° 43.94W	26° 38.02N	71	111° 50.65W	26° 38.64N	106	111° 45.3W	26° 36.52N
2	111° 50.37W	26° 53.45N	37	111° 43.77W	26° 38.28N	72	111° 48.74W	26° 37.78N	107	111° 44.56W	26° 36.83N
3	111° 51.16W	26° 53.14N	38	111° 44.60W	26° 39.13N	73	111° 48.20W	26° 37.81N	108	111° 43.70W	26° 37.52N
4	111° 51.70W	26° 52.29N	39	111° 45.97W	26° 40.28N	74	111° 47.49W	26° 37.67N	109	111° 44.62W	26° 38.51N
5	111° 52.09W	26° 52.02N	40	111° 47.48W	26° 41.12N	75	111° 47.08W	26° 38.27N	110	111° 48.03W	26° 41.27N
6	111° 52.48W	26° 52.77N	41	111° 53.02W	26° 42.98N	76	111° 46.64W	26° 38.46N	111	111° 49.01W	26° 41.18N
7	111° 53.20W	26° 51.42N	42	111° 53.50W	26° 42.98N	77	111° 46.09W	26° 38.76N	112	111° 49.49W	26° 41.17N
8	111° 53.81W	26° 51.09N	43	111° 54.37W	26° 43.38N	78	111° 44.53W	26° 39.13N	113	111° 50.03W	26° 41.29N
9	111° 53.12W	26° 50.68N	44	111° 54.33W	26° 43.78N	79	111° W	26° N	114	111° 50.54W	26° 41.27N
10	111° 52.20W	26° 49.97N	45	111° 53.65W	26° 43.92N	80	111° 47.89W	26° 41.25N	115	111° 51.03W	26° 41.25N
11	111° 51.68W	26° 49.17N	46	111°51.67W	26° 48.44N	81	111° 48.52W	26° 40.48N	116	111° 52.92W	26° 44.94N
12	111° 52.17W	26° 46.15N	47	111° 50.93W	26° 48.58N	82	111° 49.42W	26° 40.48N	117	111° 52.49W	26° 44.99N
13	111° 51.53W	26° 48.44N	48	111° 50.37W	26° 48.41N	83	111° 50.38W	26° 39.98N	118	111° 51.96W	26° 45.19N
14	111° 51.40w	26° 47.07N	49	111° 49.95W	26° 48.47N	84	111° 50.84W	26° 40.07N	119	111° 50.99W	26° 44.99N
15	111° 51.24W	26° 47.07N	50	111° 49.71W	26° 48.59N	85	111° 44.39W	26° 32.43N	120	111° 50.47W	26° 45.01N
16	111° 51.3W	26° 46.48N	51	111° 49.55w	26° 47.94N	86	111° 44.6W	26° 32.60N	121	111° 49.97W	26° 44.99N
17	111° 51.94W	26° 45.34N	52	111° 49.49W	26° 47.42N	87	111° 44W	26° 32N	122	111° 49.50W	26° 45N
18	111° 52.20W	26° 45.21N	53	111° 49.49W	26° 47.03N	88	111° 44.03W	26° 33.07N	123	111° 49.09W	26° 44.99N
19	111° 52.91W	26° 45.51N	54	111° 49.25W	26° 46.49N	89	111° 43.22W	26° 33.56N	124	111° 50.03W	26° 47N
20	111° 52.92W	26° 45.47N	55	111° 49.14w	26° 45.97N	90	111° 42.47W	26° 34.01N	125	111° 50.48W	26° 47N
21	111° 53.19W	26° 45.70N	56	111° 49.12W	26° 45.42N	91	111° 41.61W	26° 34.50N	126	111° 51W	26° 47N
22	111° 53.35W	26° 45.70N	57	111°49.70W	26° 44.90N	92	111° 40.96W	26° 35.06N	127	111° 51.52W	26° 47N
23	111° 44.54W	26° 32.53N	58	111° 49.05W	26° 44.45N	93	111° 42.76W	26° 35.98N	128	111° W	26° N
24	111° 43.09W	26° 33.22N	59	111° 48.55W	26° 43.70N	94	111° 43.70W	26° 35.50N	129	111° 52.17W	26° 45.89N
25	111° 42.64W	26° 33.45N	60	111° 49.55W	26° 42.87N	95	111° 44.27w	26° 35.25N	130	111° 49.83W	26° 53.54N
26	111° 42.21W	26° 34.01N	61	111° 50W	26° 43N	96	111° 45.02W	26° 34.99N	131	111° 51.05W	26° 53.22N
27	111° 41.56W	26° 34.52N	62	111° 50.54W	26° 42.99N	97	111° 45.64W	26° 34.67N	132	111° 52W	26° 53.25N
28	111° 41.13W	26° 34.81N	63	111° 51.53W	26° 43N	98	111° 46.06W	26° 34.41N	133	111° 53.02W	26° 53.24N
29	111° 40.72W	26° 35.25N	64	111° 52.57W	26° 42.96N	99	111° 46.42W	26° 34.26N	134	111° 54.05W	26° 53.26N
30	111° 41.05W	26° 35.81N	65	111° 53W	26° 42.52N	100	111° 46.70W	26° 34.05N	135	111° 55.07W	26° 53.27N
31	111° 41.50W	26° 36.06N	66	111° 52.82W	26° 41.86N	101	111° 45.70W	26° 33.28N	136	111° 56.04W	26° 53.26N
32	111° 41.68W	26°36.38N	67	111° 51.53W	26° 41.30N	102	111° 45.66W	26° 33.43N	137	111° 56.28W	26° 53.22N
33	111° 42.09W	26° 36.83N	68	111° 50.86W	26° 39.72N	103	111° 47.05W	26° 35.37N	138	111° 56.53W	26° 54N
34	111° 42.67W	26° 37.59N	69	111° 50.90W	26° 39.19N	104	111° 46.61W	26° 35.72N	139	111° 55.81W	26° 53.97N

Tabla 1 (continuación). Coordenadas geográficas de las estaciones de colecta de los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción

Estación	Sedimento superficial		Estación	Material terrígeno	
	Longitud	Latitud		Longitud	Latitud
140	111° 54.91W	26° 54N	1	111° 40.32W	26° 35.20N
141	111° 53.90W	26° 54.02N	2	111° 41.46W	26° 36.16N
142	111° 52.88W	26° 53.97N	3	111° 43.62W	26° 38.41N
143	111° 51.88W	26° 54.03N	4	111° 45.06W	26° 40.17N
144	111° 50.83W	26° 53.92N	5	111° 47.05W	26° 41.26N
145	111° 49.94W	26° 53.97N	6	111° 47.70W	26° 42.80N
146	111° 48.94W	26° 54N	7	111° 48.03W	26° 44.40N
147	111° 52.99W	26° 54.96N	8	111° 49.11W	26° 46.89N
148	111° 54.20W	26° 55.01N	9	111° 49.61W	26° 47.40N
149	111° 55.02W	26° 54.97N	10	111° 49.46W	26° 49.77N
150	111° 56.15W	26° 54.98N	11	111° 50.62W	26° 51.25N
151	111° 57.13W	26° 54.95N	13	111° 40.97W	26° 34.44N
152	111° 58.44W	26° 56.05N	14	111° 41.43W	26° 33.24N
153	111° 59.56W	26° 57.03N	15	111° 43.78W	26° 32.49N
154	112° 0.3W	26° 57.93N	16	111° 44.19W	26° 32.40N
155	112° 0.77W	26° 59.02N	17	111° 46.51W	26° 33.17N
156	111° 56.96W	26° 56.01N	18	111° 47.04W	26° 35.09N
157	111° 55.77W	26° 56.04N	19	111° 49.23W	26° 37.58N
158	111° 54.56W	26° 55.98N	20	111° 51.17W	26° 39.64N
			21	111° 53.32W	26° 42.18N
			22	111° 54.94W	26° 44.78N
			23	111° 53.10W	26° 45.03N
			24	111° 52.66W	26° 46.90N
			25	111° 52.56W	26° 49.67N

Tabla 2. Localización geográfica de las estaciones de recolecta de las macroalgas de Bahía Concepción, complejo lagunar Magdalena-Almejas y en Santa Rosalía

Bahía Concepción			Complejo lagunar			Santa Rosalía		
Estac.	Longitud	Latitud	Estac.	Longitud	Latitud	Estac.	Longitud	Latitud
1	111° 50.72W	26° 51.30N	1	112° 08.72W	24° 48.26N	1	112° 15.31W	27° 20.37N
2	111° 50.68W	26° 52.94N	2	112° 04.83W	24° 35.26N	2	112° 15.74W	27° 19.91N
3	111° 57.21W	26° 54.15N	3	112° 05.58W	24° 36.17N	3	112° 15.76W	27° 20.14N
4	111° 54.99W	26° 52.66N	4	112° 08.20	24° 37.90N	4	112° 16.21W	27° 20.61N
5	111° 52.83W	26° 45.51N	5	112° 05.52W	24° 46.70N	5	112° 16.21W	27° 21N
6	111° 53.84W	26° 44.58N	6	112° 03.24W	24° 44.65N	6	112° 17.14W	27° 21.07N
7	111° 50.93W	26° 39.55N	7	112° 06.60W	24° 31.87N	7	112° 17.35W	27° 21.98N
8	111° 47.80W	26° 36.29N	8	111° 57W	24° 31.68N	8	112° 17.16W	27° 22.57N
9	111° 44.55W	26° 32.47N	9	111° 44.28W	24° 25.62N	9	112° 12.23W	27° 23.41N

Tabla 3. Coordenadas geográficas de las estaciones de colecta de los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Est.	Longitud	Latitud	Est.	Longitud	Latitud	Est.	Longitud	Latitud	Est.	Longitud	Latitud
Sedimento			36	111° 55.92W	24° 34.05N	72	112° 6.55W	24° 46.74N	108	111° 48.01W	24° 30.69N
1	112° 5.76W	24° 46.00N	37	111° 55.93W	24° 35.97N	73	112° 6.28W	24° 46.51N	109	111° 49.41W	24° 30.43N
2	112° 5.74W	24° 44.01N	38	111° 56.01W	24° 37.99N	74	112° 1.65W	24° 49.78N	110	111° 48W	24° 28.03N
3	112° 5.95W	24° 41.92N	39	111° 55.95W	24° 39.99N	75	112° 2.26W	24° 47.97N	Material	terrígeno	
4	112° 6.03W	24° 39.96N	40	111° 56.01W	24° 42.03N	76	112° 2.29W	24° 45.51N	1	111° 43.89W	24° 25.08N
5	112° 6.52W	24° 37.94N	41	111° 55.99W	24° 43.93N	77	111° 34.17W	24° 24.03N	2	111° 30.24W	24° 23.72N
6	112° 6.87W	24° 37.38N	42	111° 53.91W	24° 42.09N	78	111° 36.01W	24° 25.56N	3	111° 46.60W	24° 37.40N
7	112° 4.06W	24° 34.27N	43	111° 54.03W	24° 40.08N	79	111° 36.52W	24° 23.97N	4	112° 01.55W	24° 53.56N
8	112° 3.60W	24° 36.01N	44	111° 54W	24° 37.99N	80	111° 36.85W	24° 23.17N	5	111° 44.02W	24° 32.61N
9	112° 3.61W	24° 38.05N	45	111° 54.01W	24° 35.95N	81	111° 38.04W	24° 22.89N	6	112° 05.14W	24° 46.76N
10	112° 3.93W	24° 40.2N	46	111° 54W	24° 33.99N	82	111° 37.95W	24° 2.4N	7	112° 03.11W	24° 46.52N
11	112° 3.96W	24° 42.12N	47	111° 54W	24° 31.96N	83	111° 38.31W	24° 26.01N	8	112° 02.61W	24° 45.24N
12	112° 3.96W	24° 44.016N	48	111° 54W	24° 31.09N	84	111° 38.89W	24° 28.02N	9	111° 56.08W	24° 45.22N
13	112° 1.92W	24° 44.08N	49	111° 51.99W	24° 32.50N	85	111° 37.95W	24° 30.01N	10	111° 48.11W	24° 49.43N
14	112° 1.99W	24° 41.97N	50	111° 51.99W	24° 33.99N	86	111° 40.02W	24° 33.27N	11	111° 53.44W	24° 41.73N
15	112° 1.87W	24° 40.03N	51	111° 52.05W	24° 36.03N	87	111° 39.99W	24° 31.8N	12	111° 53.44W	24° 41.73N
16	112° 1.99W	24° 37.99N	52	111° 51.67W	24° 37.81N	88	111° 40.02W	24° 30N	13	111° 44.80W	24° 42.18N
17	112° 1.99W	24° 35.97N	53	111° 51.97W	24° 39.33N	89	111° 40.00W	24° 27.96N	14	111° 46.60W	24° 37.40N
18	112° 2.01W	24° 33.99N	54	112° 7.96W	24° 37.87N	90	111° 39.99W	24° 25.99N	15	111° 48.12W	24° 35.31N
19	112° 2.02W	24° 31.98N	55	112° 7.98W	24° 39.40N	91	111° 40W	24° 23.98N	16	111° 48.02W	24° 34.74N
20	112° 0.01W	24° 31.42N	56	112° 7.98W	24° 44.19N	92	111° 40.02W	24° 22.48N	17	111° 40.98W	24° 35.03N
21	112° W	24° 33.99N	57	112° 7.95W	24° 46.02N	93	111° 42.06W	24° 23.04N	18	111° 32.70W	24° 45N
22	111° 59.91W	24° 35.97N	58	112° 7.96W	24° 48.45N	94	111° 41.98W	24° 24.04N	19	111° 38.70W	24° 32.67N
23	111° 59.97W	24° 38.02N	59	112° 7.71W	24° 50.01N	95	111° 41.98W	24° 25.99N	20	111° 36.78W	24° 29.21N
24	111° 0.04W	24° 39.99N	60	112° 9.51W	24° 48.27N	96	111° 41.97W	24° 28.03N	21	111° 37.10W	24° 28.33N
25	111° 59.85W	24° 42.03N	61	112° 11.22W	24° 49.60N	97	111° 42W	24° 30N	22	111° 14.85W	24° 30.75N
26	111° 59.86W	24° 44.02N	62	112° 10.77W	24° 51.99N	98	111° 42.01W	24° 32.02N	23	111° 31.29W	24° 24.20N
27	111° 57.39W	24° 44.61N	63	112° 10.17W	24° 54.03N	99	111° 44.02W	24° 32.31N	24	111° 23.75W	24° 18.62N
28	111° 57.99W	24° 42.09N	64	112° 5.61W	24° 47.38N	100	111° 43.98W	24° 30.01N	25	111° 19.64W	24° 24.38N
29	111° 57.99W	24° 39.99N	65	112° 5.52W	24° 46.57N	101	111° 43.98W	24° 27.97N	26	111° 13.18W	24° 25.60N
30	111° 57.99W	24° 38.01N	66	112° 6.18W	24° 46.63N	102	111° 44.01W	24° 26.01N	27	111° 29.60W	24° 20.80N
31	111° 57.99W	24° 35.98N	67	112° 6.45W	24° 46.92N	103	111° 44.02W	24° 24.93N	28	111° 34.30W	24° 22.10N
32	111° 57.99W	24° 33.97N	68	112° 6.82W	24° 47.25N	104	111° 45.39W	24° 26.37N	29	111° 38.93W	24° 22.50N
33	111° 57.99W	24° 31.99N	69	112° 7.29W	24° 47.31N	105	111° 46.03W	24° 27.34N	30	111° 41.60W	24° 21.30N
34	111° 57.91W	24° 31.18N	70	112° 7.36W	24° 46.92N	106	111° 45.99W	24° 29.41N	31	112° 08.25W	24° 44.23N
35	111° 55.96W	24° 31.27N	71	112° 6.97W	24° 46.96N	107	111° 46W	24° 30.75N			

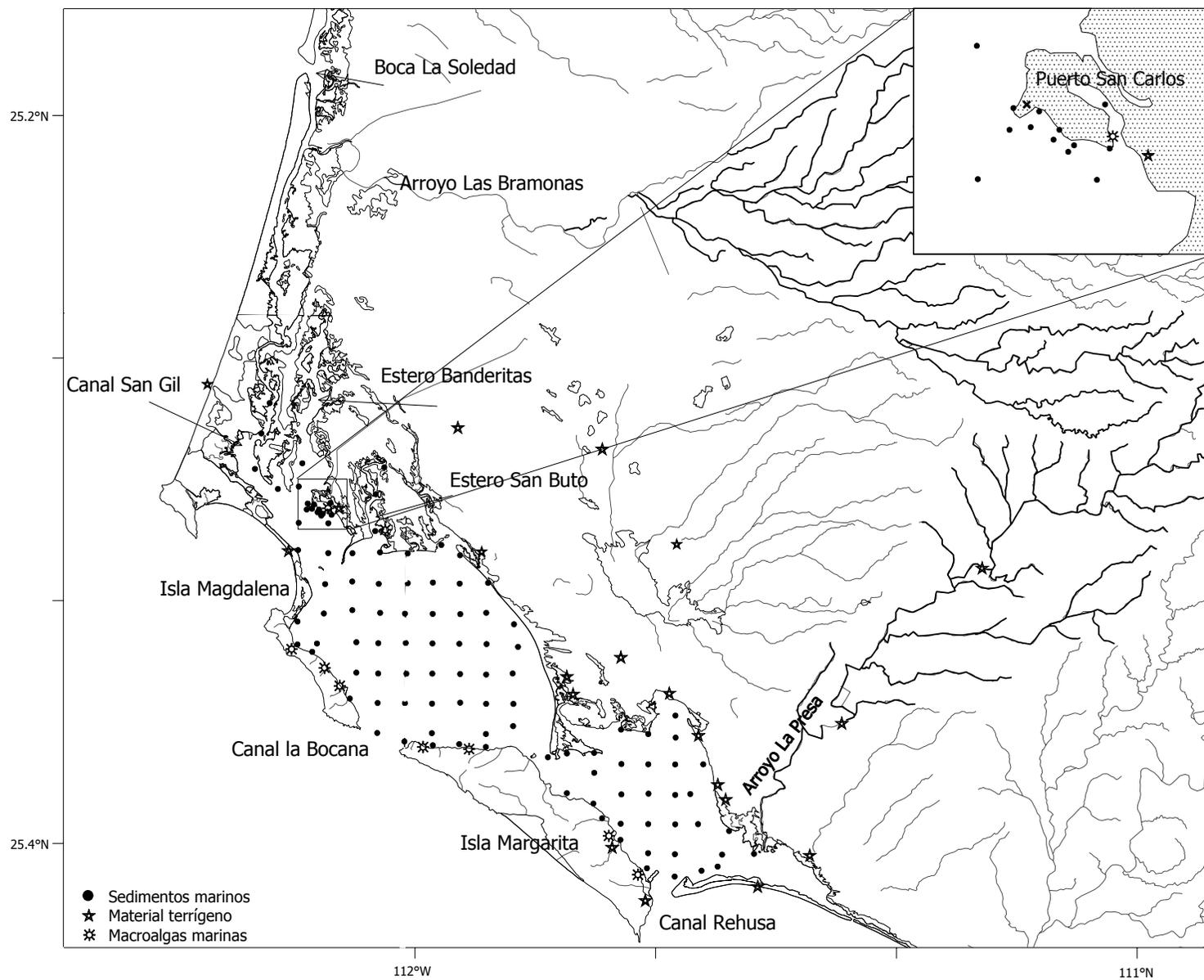


Figura 12. Localización de las estaciones de muestro de los sedimentos superficiales, material terrígeno y macroalgas en el complejo lagunar Magdalena-Almejas (mapa de INEGI, 1996)

Para Santa Rosalía se contó con los datos de referencia de Rodríguez-Figueroa *et al.* (1998), Shumilin *et al.* (2000) y Rodríguez-Figueroa (2004), sobre la presencia de elementos traza en los sedimentos, por lo que se recolectaron únicamente las macroalgas en las cuatro estaciones del año. El material se recolectó de marzo del 2000 a marzo del 2001 en 9 estaciones (Figura 13, Tabla 2), a través de buceo libre cubriendo un área aproximada de 10 m².

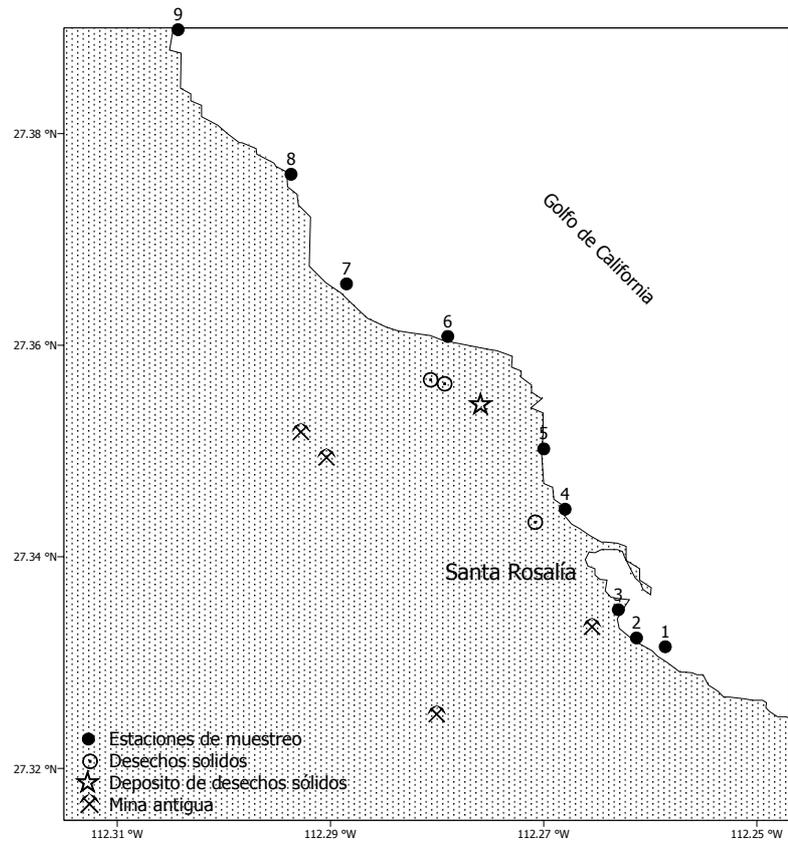


Figura 13. Localización de las estaciones de muestreo de las macroalgas en Santa Rosalía

El material se preservó como se mencionó anteriormente para Bahía Concepción.

7. 1. Análisis químico

Macroalgas. Las macroalgas fueron identificadas en el laboratorio de macroalgas, con ayuda de claves de taxonómicas en el Laboratorio de Microalgas Marinas de CICIMAR. Se secaron en un horno a una temperatura de 60°C y se homogenizaron en morteros de agata que fueron tratados con ácidos (HCl y HNO₃) entre cada muestra. El material homogenizado se cuarteo para el análisis por los métodos de activación neutrónica y espectrofotometría de absorción atómica. Para el método de activación neutrónica el material se pasó a través de una malla de 200 µm, secada de nuevo, guardada en recipientes de plástico y enviados para su análisis. Se les determinaron 34 elementos traza por el método de activación neutrónica en el Instituto de Geoquímica y Química Analítica de V. I. Vernadski de la Academia de Ciencias de Rusia; la descripción de este método se detalla mas adelante. Se obtuvo la concentración de

Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, Ni y Fe por medio de una digestión ácida de las muestras y su cuantificación a través de un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA). El método para la determinación de estos elementos se describirá mas adelante.

Sedimentos superficiales. El sedimento fue puesto a secar en un horno a una temperatura aproximada de 60°C. Este se subdividió al cuartear la muestra para el análisis granulométrico y químico (oxidación húmeda, espectrofotometría de absorción atómica y el análisis de activación neutrónica).

El tamaño de grano de la fracción arenosa de los sedimentos se determinó empleando la técnica de Folk (1974) utilizando tamices con un intervalo de 0.5 de phi. El sedimento fue homogenizado y cuarteado de donde se tomó una submuestra de 50 g. La fracción gruesa de los sedimentos se tamizó en un rango comprendido entre -2.5 y 4.0 Φ , el sedimento se tamizo por 10 min. en un Rotap (Sieve Shaker, Mod. RX86, serie 19042) para obtener la distribución del material en los diferentes tamaños de malla. Una vez finalizado el tiempo, cada fracción acumulada se pesó y se guardó. Con los resultados se determinó los parámetros granulométricos siguientes: media, desviación estándar, sesgo. Estos parámetros indican el tipo de sedimento (Tabla 1) su grado de clasificación o nivel de energía que actúa sobre el sedimento y predominio de grano. Con la fracción fina que fue mayor a 4 Φ , se saco la proporción de la muestra total que se empleo para conocer su distribución espacial y establecer los puntos de mayor presencia en los sedimentos de cada área de estudio.

Las ecuaciones para la extracción de estos parámetros granulométricos fueron las siguientes:

Media (1 ^{er} momento)	$X_{\Phi} = \frac{\sum fm}{n}$
Desviación estándar (2 ^{do} momento)	$\sigma_{\Phi} = \frac{\sqrt{\sum f(m - X_{\Phi})^2}}{100}$
Sesgo (3 ^{er} momento)	$S_{\Phi} = \frac{\sqrt{\sum f(m - X_{\Phi})^3}}{100 \sigma_{\Phi}^3}$

Donde:

f= peso en porcentaje (frecuencia) de cada una de las clases de tamaño

m= número de clases de tamaño

n= 100 cuando f está en porcentaje

7. 1. 1. *Determinación de carbono orgánico y carbonatos*

El contenido de carbono orgánico se obtuvo vía oxidación húmeda del sedimento (Loring y Rantala, 1992 en Soto, 2002), donde el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) con ácido (H_2SO_4), originan la formación de un agente oxidante (ácido crómico), el cual oxida al carbón de la materia orgánica para convertirlo en CO_2 (Hernández *et al.*, 1991). El proceso consistió en pesar de 0.5 a 1 g de la muestra de sedimento seco y tamizado a una luz de malla de 1 mm, para agregarle $K_2Cr_2O_7$ 1N y el ácido. Posteriormente, se tituló la solución con $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0.5 N hasta que el color cambiara, los mililitros gastados se emplearon para la cuantificación del carbono orgánico.

El contenido de carbonatos se realizó mediante la descomposición por un ácido. El procedimiento se basó en pesar 5 g del sedimento seco y homogenizado. El material se colocó en contenedores donde se añadió HCl 1M y se dejó reposar durante 3 h hasta sedimentación completa. La solución resultante se tituló con NaOH 0.5M hasta el cambio en la coloración (Rauret *et al.*, 1988 en Soto, 2002).

7. 1. 2. *Método del análisis de activación neutrónica*

Los elementos examinados por activación neutrónica fueron los siguientes: As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hf, Ho, K, La, Lu, Nd, Ni, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, Yb, Zn, Zr. Éste es un método analítico multielemental para la determinación de los contenidos de elementos mayores y traza en muestras de interés científico y técnico (Gluscock, 1997), y se basa en la detección y medición de la intensidad y frecuencia energética de los rayos gamma característicos de isótopos radiactivos producidos en la muestra irradiada con neutrones térmicos (James, 1998).

El análisis por activación neutrónica fue el mismo que empleó Gódinez-Orta *et al.* (1997) y se utilizó para el estudio de la composición de los sedimentos superficiales y de las macroalgas marinas. Este consistió en secar el material ($60^\circ C$) y homogenizarlo para trabajar con la fracción menor a $200 \mu m$. Las muestras junto con materiales de referencia estándar fueron empaquetadas en papel de aluminio e

irradiadas con los neutrones termales (flujo 2.8×10^{13} n/s cm^2). La radiactividad inducida de cada muestra fue medida 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 (^{152}Eu).

Algunos de los estándares empleados fueron de sedimento marino IAEA-356 (sedimento del Consejo de investigación Nacional de Canadá) y SD N-1/2 de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), cuyas concentraciones certificadas y obtenidas de los elementos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Intervalo y concentración promedio de elementos en el material de referencia SDN-1/2 y IAEA-356

Elemento	SDN-1/2		Recuperación (%)	IAEA-356		Recuperación (%)
	Valor obtenido	Valor certificado		Valor obtenido	Valor certificado	
Fe (%)	<u>3.5 - 3.7</u> 3.6	<u>3.53 - 3.78</u> 3.6	98.6	<u>2.6 - 2.8</u> 2.7	<u>2.25 - 2.51</u> 2.4	113.3
Ca (%)	<u>2.0 - 5.1</u> 4	<u>5.12 - 5.6</u> 5.3	75.2	<u>9.1 - 9.8</u> 9.3	<u>8.11 - 9.68</u> 8.9	104.9
K (%)	-	-	-	<u>0.7 - 1.1</u> 0.9	<u>0.94 - 1.39</u> 1.3	68.3
Rb (mg/kg)	<u>43.2 - 80.2</u> 65.5	<u>68.6 - 77</u> 74.4	88.2	<u>80.8 - 91.3</u> 86.9	<u>63.3 - 78</u> 71	122.4
Cs (mg/kg)	<u>3.2 - 5.6</u> 4.5	<u>4.1 - 5.4</u> 4.9	92.5	<u>5.3 - 5.7</u> 5.4	<u>4.13 - 7.47</u> 4.6	118
Sr (mg/kg)	<u>34 - 465</u> 232	<u>277 - 303</u> 291	79.7	<u>55 - 175</u> 131.7	<u>164 - 202</u> 170	77.5
Ba (mg/kg)	<u>200 - 395</u> 298.6	<u>276 - 310</u> 289	103.3	<u>555 - 650</u> 590	<u>457 - 594</u> 548	107.7
Sc (mg/kg)	<u>6.6 - 7.2</u> 7	<u>6.9 - 7.21</u> 7.1	98.4	<u>7 - 7.2</u> 7.1	<u>6.75 - 9.94</u> 6.9	102.9
Cr (mg/kg)	<u>99.7 - 144.4</u> 123.1	<u>125 - 161</u> 149	82.6	<u>66.8 - 72</u> 69.4	<u>62.9 - 74.4</u> 69.8	99.4
Co (mg/kg)	<u>11.1 - 22</u> 13.2	<u>11.2 - 12.7</u> 12.1	109	<u>13.9 - 15.3</u> 14.7	<u>14.1 - 16.4</u> 15	97.8
Zn (mg/kg)	<u>430 - 520</u> 461.4	<u>423 - 432</u> 439	105.1	<u>1110 - 1260</u> 1170	<u>936 - 1019</u> 977	119.8
Se (mg/kg)	<u>0.6 - 5.8</u> 3.3	<u>2.3 - 3.78</u> 2.9	115.2	<u>0.4 - 0.6</u> 0.5	<u>0.4 - 1.58</u> 0.8	68.4
As (mg/kg)	<u>51 - 90.3</u> 68.3	<u>42.4 - 60</u> 50	136.5	<u>33.5 - 38.9</u> 35.6	<u>22.6 - 30</u> 26.9	132.3
Sb (mg/kg)	<u>3 - 5.5</u> 3.7	<u>3.3 - 3.95</u> 3.6	103.1	<u>5.8 - 8.0</u> 7.2	<u>7.27 - 9.1</u> 8.3	86.3
Th (mg/kg)	<u>6 - 7.6</u> 6.8	<u>6.85 - 7.2</u> 7	97.1	<u>7.3 - 10.7</u> 8.5	<u>6.24 - 6.92</u> 6.6	127.9
U (mg/kg)	<u>2 - 7.2</u> 3.5	<u>2.27 - 2.53</u> 2.4	145.5	<u>2.1 - 4.9</u> 3.1	<u>2.4 - 3.5</u> 3.2	96
Br (mg/kg)	<u>0.3 - 3.3</u> 1.5	-	-	-	-	-
Hf (mg/kg)	<u>5.3 - 7.7</u> 6.6	<u>7.45 - 8.8</u> 8.4	78	<u>2.3 - 2.9</u> 2.6	<u>2.76 - 3.15</u> 3	88.1
Ta (mg/kg)	<u>0.3 - 1.2</u> 0.9	<u>0.83-1.2</u> 1.1	82.3	<u>0.4-0.7</u> 0.5	<u>0.59-0.81</u> 0.6	83.1
Zr (mg/kg)	<u>110 - 370</u> 190	<u>145-395</u> 327	58.1	<u>65-260</u> 143.3	<u>91-206</u> 117	122.5

Tabla 4 (continuación). Intervalo y concentración promedio de elementos en el material de referencia SDN-1/2 y IAEA-356

Elemento	SDN-1/2		Recuperación (%)	IAEA-356		Recuperación (%)
	Valor obtenido	Valor certificado		Valor obtenido	Valor certificado	
La (mg/kg)	<u>24.7 - 38.1</u> 30.4	<u>30.3 - 35.5</u> 31.9	95.4	<u>18.6 - 22.8</u> 20.1	<u>15.9 - 20.6</u> 19.3	104.1
Ce (mg/kg)	<u>44.7 - 68.5</u> 54.6	<u>58.2 - 65</u> 60.3	90.6	<u>33.5 - 41</u> 36.4	<u>38.3 - 49.8</u> 41.5	87.7
Pr (mg/kg)	<u>4.4 - 7.0</u> 5.8	-	-	<u>3.6 - 4.6</u> 3.9	-	-
Nd (mg/kg)	<u>14.7 - 24.6</u> 21	<u>28.4 - 35.4</u> 31.8	65.9	<u>13.1 - 17.2</u> 14.7	-	-
Sm (mg/kg)	<u>3.2 - 5.6</u> 4.9	<u>5.4 - 6.35</u> 5.6	87.7	<u>3.2 - 4.2</u> 3.6	<u>3.4 - 3.83</u> 3.5	102
Eu (mg/kg)	<u>1.1 - 1.3</u> 1.1	<u>1.12 - 1.3</u> 1.2	97.5	<u>0.5 - 0.9</u> 0.7	<u>0.63 - 0.86</u> 0.7	99.1
Gd (mg/kg)	<u>4.5 - 6.7</u> 5.9	-	-	<u>4.3 - 5.0</u> 4.5	-	-
Tb (mg/kg)	<u>0.7 - 1.0</u> 0.9	<u>0.8 - 0.92</u> 0.9	100.3	<u>0.6 - 0.7</u> 0.7	-	-
Dy (mg/kg)	<u>4.2 - 5.5</u> 5.0	<u>3.64 - 4.5</u> 4.1	121	<u>3.7 - 4.3</u> 3.9	-	-
Ho (mg/kg)	<u>0.9 - 1.2</u> 1.1	-	-	<u>0.8 - 0.9</u> 0.8	-	-
Er (mg/kg)	<u>2.6 - 3.1</u> 2.9	-	-	<u>2.2 - 2.4</u> 2.3	-	-
Tm (mg/kg)	0.4	-	-	<u>0.3 - 0.4</u> 0.3	-	-
Yb (mg/kg)	<u>1.9 - 2.2</u> 2.1	<u>2.06 - 2.55</u> 2.3	92.4	<u>1.7 - 1.8</u> 1.7	-	-
Lu (mg/kg)	<u>0.3 - 0.4</u> 0.4	<u>0.31 - 0.39</u> 0.4	101.2	0.3	-	-

El porcentaje de recuperación se calculó para cada metal y los resultados se presentan en la Tabla 4. La ecuación fue la siguiente:

$$\text{Recuperación} = \frac{\text{concentración obtenida}}{\text{concentración conocida}} * 100$$

7. 1. 3. Análisis por espectrofotometría de absorción atómica

El análisis de los sedimentos para la determinación de los metales pesados se realizó en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) en el laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA).

Antes de iniciar el procesamiento de las muestras, la cristalería, los contenedores de teflón y polietileno, se lavaron con jabón micro (SIP Brand MICRO, BAXTER DIAGNORTIC, Inc), se dejaron en ácido nítrico al 50% durante 3 días, se enjuagaron con agua desionizada y se dejaron secar.

Sedimentos superficiales. El tratamiento consistió en preparar agua regia 1:2 con HCl y HNO₃ (ácidos concentrados grado reactivo) que se dejó reaccionar por un lapso de 30 min. Se pesó 0.5 g de sedimentos en los contenedores de teflón y se les adicionó 5 ml de agua regia, teniendo cuidado para evitar pérdidas en aquellas muestras que presentaron abundantes carbonatos. La muestra con los ácidos se dejó reaccionar bajo una campana de extracción por un lapso de 30 min, posteriormente los contenedores se acomodaron en las placas de aluminio que se cerraron para calentarse en un horno (~120°C) de 3 a 4 h, después de ese tiempo se dejaron enfriar aproximadamente 24 h. La solución se aforó a 25 ml con agua desionizada y se colocó en botes de plástico para su almacenamiento.

La absorbancia de cada elemento se midió en un espectrofotómetro de absorción atómica (flama aire-acetileno), marca Buck Scientific, modelo 200A.

En cada digestión de un grupo de 15 muestras se añadió un blanco y se analizaron estándares certificados para validar la calidad del análisis. La validación de los métodos de análisis de los elementos es importante para determinar la efectividad del procesamiento de las muestras, desde el momento de la extracción hasta su medición en el laboratorio, la pureza de los ácidos empleados, así como el aforo de las muestras, entre otras cosas.

Los estándares certificados que se emplearon durante el análisis de los sedimentos fueron los siguientes: BCSS-1 (Sedimento marino, Consejo de Nacional de Investigación, Canadá), 1646^a (Sedimento estuarino, Departamento de Comercio E.U.A., Instituto Nacional de Estándar y Tecnología, Gaithersburg, M. D. 20899), PACS-2 (Sedimento marino, Material de referencia certificado, Consejo Nacional de Investigación, Canadá).

Macroalgas marinas. Durante el procesamiento de las macroalgas se incluyeron estándares certificados para la validación del método de análisis aplicado. Para determinar la concentración de metales pesados por el método de espectrofotometría se siguió la siguiente técnica: se tomó aproximadamente 5 g de la muestra seca y se homogenizó en morteros de ágata, el material se guardó en contenedores plásticos. Se pesó aproximadamente 0.5 g de cada muestra en contenedores de teflón y se añadió 5 ml de HNO₃ concentrado y 1 ml de H₂SO₄ concentrado para la disolución del material orgánico. La solución en los contenedores se dejó reposar por un lapso de 30 min en una campana de

extracción. Los contenedores se colocaron en soportes de aluminio, se cerraron y se siguió el proceso ya descrito para los sedimentos superficiales.

Durante la digestión de las macroalgas de las localidades de estudio se empleó TORT-2 (Hepatopáncreas de langosta, Consejo Nacional de Investigación, Canadá), como material de referencia para la determinación de metales pesados en material biológico, debido que no se contó con un estándar de macroalga.

La validación del análisis de las muestras se obtuvo comparando el contenido de los metales obtenidos con los registrados en los estándares de referencia certificados. El valor promedio y el intervalo de concentración de los estándares analizados para los sedimentos (1646a, PACS-2, BCSS-1) y el material biológico (TORT-2) se muestran en la Tabla 5. La concentración de los elementos en los estándares de sedimentos y se da en mg/kg, con excepción de Fe que el contenido se presenta en porcentaje (%) y en forma de óxido (Fe_2O_3). En cambio, para el estándar de la muestra biológica (hepatopáncreas de langosta) la concentración de Fe se da en mg/kg como el resto de los elementos.

Tabla 5. Concentración promedio e intervalo de concentración en mg/kg de los elementos, con excepción de Fe que se registra como Fe_2O_3 , en estándares certificados de sedimentos. Datos obtenidos por el método de espectrofotometría de absorción atómica.

Elemento	1646 ^a		PACS-2		BCSS-1	
	Valor obtenido	Valor certificado	Valor obtenido	Valor certificado	Valor obtenido	Valor certificado
Zn	38.0 ± 2.5	48.9 ± 1.6	388.8 ± 2.0	364 ± 23	87.9 ± 0.8	119 ± 12
Pb	10.99 ± 1.2	11.7 ± 1.2	162.9 ± 2.5	183 ± 8	27.5 ± 0.8	22.7 ± 3.4
Cd	Nd	0.15 ± 0.007	2.64 ± 0.04	2.11 ± 0.15	0.58	0.25 ± 0.04
Mn	-	234.5 ± 2.8	-	440 ± 19	-	229 ± 15
Cu	9.85 ± 0.5	10.01 ± 0.34	285.7 ± 14.	310 ± 12	15.9 ± 0.1	18.5 ± 2.7
Ni	25.1 ± 1.6	23 *	41.4 ± 2.1	39.5 ± 2.3	49.4 ± 0.4	55.3 ± 3.6
Fe_2O_3	2.67 ± 0.19	2.008 ± 0.04	5.02 ± 0.06	5.85 ± 0.08	3.9 ± 0.1	4.7 ± 0.1

* valor no certificado Nd. No se detectó

La concentración de los elementos en los sedimentos de Bahía Concepción y del complejo lagunar Magdalena-Almejas, se emplearon para obtener las distribuciones espaciales de cada uno de ellos. Se utilizó el programa SURFER 7.4 (Surface Mapping System, Golden Software, Inc.).

Tabla 5 (continuación). Concentración promedio e intervalo de concentración en mg/kg de los elementos. Datos obtenidos por el método de espectrofotometría de absorción atómica

Elemento	TORT-2	
	Valor obtenido	Valor certificado
Fe	92	105 ± 13
Zn	127	180 ± 16
Pb	-	0.35 ± 0.13
Cd	26.6	26.7 ± 0.6
Mn	12.4	13.6 ± 1.2
Cu	109.6	106 ± 10
Ni	3.4	2.5 ± 0.19

Análisis de mercurio. La concentración de mercurio (Hg) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción se determinó a través de la técnica descrita por Dumarey *et al.* (1987), la cual consistió en hacer digestiones en húmedo. Para lo cual fue necesario la limpieza del equipo siguiendo el procedimiento señalado por Sturgeon y Berman (1987). Las mediciones se realizaron con espectrofotometría de absorción atómica de flama (con vapor frío) en el Instituto de Problemas

ecológicos del Agua de la Academia de Ciencias de Rusia durante el procesamiento se emplearon soluciones estándar G50-3497-86 provenientes del Instituto de Físico-química de la Academia Nacional de Ciencias en Ucrania. La precisión de los análisis es de 0.01 mg/kg.

7. 2. Análisis de datos

Para una mejor descripción de los resultados se determinó la corrección de los carbonatos, factor de enriquecimiento (FE), la normalización de los lantánidos con la lutita norteamericana y el análisis a través de los componentes principales y de factores para identificar asociaciones geoquímicas y el comportamiento de los elementos en cada una de las localidades sujetas a estudio.

Corrección de los carbonatos (DQN). Este es un factor empleado particularmente para los sedimentos de ambientes marinos, con el fin de normalizar los datos sobre una base libre de carbonatos debido que se asume que la fracción carbonatada no contiene cantidades sustanciales de elementos traza de interés. Las correcciones de este tipo también se usan para eliminar el efecto dilución de otros materiales como son cuarzo, material orgánica (Thomas *et al.*, 1972; Horowitz *et al.*, 1988 citados en Horowitz, 1991).

El proceso de normalización de los carbonatos consistió en lo siguiente:

Estimar el factor de dilución $FD = 100/(100 - \text{porcentaje de carbonatos})$

Y la normalización química del dato.

$$NQD = (FD) * (\text{concentración química del elemento en mg/kg})$$

Factor de enriquecimiento (FE). La calidad de los sedimentos es frecuentemente valorada utilizando técnicas de normalización geoquímica (generalmente determinada mediante factores de enriquecimiento) (Posada-Ramos *et al.*, 1994). Las concentraciones de los elementos fueron normalizadas con un elemento conservativo, en este caso Sc dada la estrecha relación geoquímica con Al (Salomons y Förstner, 1984), para identificar los elementos cuya concentración fuera alta o baja en cada área e identificar posibles contribuciones antropogénicas para los sedimentos (Windom *et al.*, 1989). Además esto permitió inferir cuales factores químicos, mineralógicos o texturales controlaron la variabilidad de datos de metales en sedimentos de los ambientes marinos costeros (Martínez-Magaña, 1995). Para obtener los resultados se empleó la siguiente formula:

$$FE = \frac{\left(\frac{EI}{Sc}\right)_{\text{sedimento}}}{\left(\frac{EI}{Sc}\right)_{\text{corteza}}}$$

donde se considera la concentración de cada elemento en los sedimentos superficiales, así como el valor promedio reportado por Taylor (1964) para la corteza continental.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en los cálculos de este factor y los trabajos realizados por Salomons y Förstner (1984), Posada-Ramos *et al.* (1994) y Martínez-Magaña (1995), los elementos mayores y traza en los sedimentos de las localidades fueron clasificados como se indica en la Tabla 6.

Normalización de elementos de Tierras Raras. La concentración de los lantánidos en los sedimentos de las áreas estudiadas se normalizó con las concentraciones indicadas por Ross y McLennan (1985) para la lutita norteamericana, aplicando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{EI_{\text{sedimento}}}{EI_{\text{lutita}}}$$

donde $EI_{\text{sedimento}}$ representa la concentración del elemento en los sedimentos y EI_{lutita} corresponde a su concentración en la lutita norteamericana.

Tabla 6. Clasificación de los elementos de acuerdo al factor de enriquecimiento (FE)

Valor	Intensidad del enriquecimiento
< 1	Elementos diluidos
1-2	Elementos conservativos
2-10	Elementos enriquecidos
> 10	Elementos altamente enriquecidos

Índice de geoacumulación (I_{geo}). Este es una medida cuantitativa para cuantificar la cantidad de metal antropogénico en los sedimentos acuáticos, que fue desarrollado por Müller (1979) (citado en de Groot, 1982; Salomons y Förstner, 1984). Müller propone que el Índice de Geoacumulación (Índice-Geo), definido como:

$$I_{geo} = 2 \log \frac{C_n}{F * B_n}$$

donde, C_n es la concentración medida del metal en el sedimento (mg/kg); B_n es la concentración de referencia del metal (concentración basal, mg/kg) y F

el factor (1.5) que se introduce para compensar las variaciones de los valores de referencia que pueden ser atribuidos a las variaciones mineralógicas en los sedimentos. Los valores de este índice se interpretan como se explica en la Tabla 7.

Tabla 7. Interpretación del índice de geoacumulación (Müller, 1979)

I_{geo}	Clase de I_{geo}	Intensidad de contaminación
< 0	0	No contaminado
0 - 1	1	No contaminado a moderadamente contaminado
1 - 2	2	Moderadamente contaminado
2 - 3	3	Moderadamente a fuertemente contaminado
3 - 4	4	Fuertemente contaminado
4 - 5	5	Fuertemente a muy fuertemente contaminado
> 5	6	Muy fuertemente contaminado

Análisis de cluster y de factores. La exploración de variables geoquímicas para conocer asociaciones o interrelaciones de los elementos, decidir los componentes que afectan su distribución espacial y las características que reflejan mejor la varianza de las variables se determinó considerando los resultados del análisis de componentes principales y de factores. Por un lado, para reducir las

dimensiones de un conjunto de variables y la exploración de la relación entre ellas, se empleo el análisis de componentes principales con el objeto de identificar cuantos y cuales fueron los componentes (eigenvalores) que explican mejor la mayor variación dentro de los datos (Danielsson *et al.*, 1999), y contribuye a identificar las áreas principales de acumulación, materiales ambientalmente activos y con potencial tóxico (Anderberg, 1973; Bopp y Biggs, 1981; Basilevsky, 1994). Por otro lado, a partir de conocer cuantos eigenvalores explican mejor la varianza, se aplico el análisis de factores para identificar cuales son las variables que integran cada factor y que representan alguna particularidad en la geoquímica de los sedimentos de cada ambiente. Este análisis se refiere a una serie de modelos relacionados estrechamente para establecer la estructura de correlación entre las variables observadas al azar (Basilevsky, 1994). Para el tratamiento estadístico de los datos se usó el programa STATISTICA 6.1 (Statsoft, Inc.).

Para identificar la relación de la concentración de los elementos y de los componente biogénicos en los sedimentos se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson ($p < 0.05$), con el objeto de evaluar la influencia en la distribución de área de estudio. Además entre las especies de algas para identificar las especies con mayor afinidad a partir del contenido promedio de los elementos.

8. RESULTADOS

8. 1. Bahía Concepción

8. 1. 1. Composición de los sedimentos superficiales y material continental

8. 1. 1. 1. Granulometría

Se analizaron 89 muestras sedimentarias de esta bahía. Los resultados de la determinación de los parámetros texturales se indican en la Tabla 8 y en la Figura 14. El sedimento en Bahía Concepción osciló de arena muy gruesa a muy fina, con mayor predominancia de arena media y fina moderadamente clasificada con predominio de gruesos.

Tabla 8. Parámetros texturales de los sedimentos de Bahía Concepción

Est.	Media	Desviación estándar	Sesgo	Est.	Media	Desviación estándar	Sesgo
1	-0.6/AMG	1.46/PS	0.24/SF	50	1.02/AM	0.95/MS	-1.62/S
2	1.37/AM	1.7/PS	-0.86/S	52	1.30/AM	1.69/PS	-0.80/S
3	-0.90/AMG	1.43/PS	0.68/FSF	53	3.15/AM	0.84/MS	-2.62/S
4	-0.71/AMG	1.69/PS	0.84/FSF	57	2.15/AM	1.08/PS	-1.62/S
6	2.44/AM	0.86/MS	-2.30/S	58	1.56/AM	1.08/PS	-1.47/S
7	3.29/AM	1.19/PS	-1.98/S	64	2.10/AM	1.73/PS	-0.95/S
8	0.134/AG	1.50/PS	-0.21/S	65	0.84/AG	1.78/PS	-0.61/S
9	0.38/AG	1.75/PS	-0.23/S	66	2.70/AM	0.73/MS	-2.69/S
10	-0.98/AMG	1.35/PS	0.71/FSF	68	1.88/AM	0.99/PS	-2.06/S
11	2.08/AM	0.87/MS	-2.33/S	69	1.55/AM	1.36/PS	-1.19/S
12	2.80/AM	0.53/MBS	-3.10/S	70	1.23/AM	1.02/PS	-1.32/S
14	2.56/AM	0.82/MS	-2.26/S	72	-0.55/AMG	1.74/PS	0.59/FSF
15	2.48/AM	0.82/MS	-2.31/S	73	3.13/AM	1.01/PS	-2.31/S
16	2.83/AM	0.67/MBS	-3.43/S	75	1.85/AM	1.77/PS	-0.63/S
17	2.56/AM	0.82/MS	-2.26/S	78	1.96/AM	1.15/PS	-1.29/S
18	1.24/AM	1.37/PS	-1.05/S	79	3.09/AM	0.98/MS	-2.55/S
19	2.10/AM	1.25/PS	-1.23/S	84	1.09/AM	1.49/PS	-0.93/S
20	1.00/AM	1.80/PS	-0.57/S	85	2.81/AM	0.54/MBS	-1.53/S
23	1.26/AM	1.18/PS	-1.28/S	86	2.03/AM	1.03/PS	-1.72/S
24	2.86/AM	1.40/PS	-1.41/S	87	-0.34/AMG	1.60/PS	0.16/FSF
25	3.16/AM	1.14/PS	-1.71/S	88	2.27/AM	1.73/PS	-1.00/S
26	1.63/AM	1.60/PS	-0.61/S	89	2.30/AM	1.62/PS	-1.00/S
27	2.81/AM	1.37/PS	-1.31/S	91	2.12/AM	1.46/PS	-0.80/S
28	2.80/AM	1.0/PS	-1.40/S	92	2.57/AM	1.25/PS	-1.76/S
29	1.97/AM	1.46/PS	-1.08/S	95	2.68/AM	1.36/PS	-0.68/S
30	2.96/AM	0.77/MS	-3.20/S	96	2.66/AM	1.47/PS	-1.06/S
31	1.53/AM	1.22/PS	-1.77/S	99	1.19/AM	2.0/PS	-0.44/S
36	2.50/AM	0.75/MS	-2.16/S	101	2.54/AM	0.69/MS	-2.50/S

AG- Arena gruesa, AMG- Arena muy gruesa, AM- Arena media

BS- Bien seleccionada, MBS- Moderadamente bien seleccionada, MS- Moderadamente seleccionada, PS- Pobremente seleccionada

SF- Sesao a los finos. FSF- Fuertemente sesado a los finos. S- simétrica

Tabla 8 (continuación). Parámetros texturales de los sedimentos de Bahía Concepción

Est.	Media	Desviación estándar	Sesgo	Est.	Media	Desviación estándar	Sesgo
37	2.29/AM	0.82/MS	-1.66/S	103	2.74/AM	1.37/PS	-1.18/S
38	2.59/AM	0.86/MS	-1.84/S	113	1.73/AM	1.35/PS	-1.26/S
40	3.25/AM	1.03/PS	-1.86/S	116	2.20/AM	1.50/PS	-1.28/S
43	2.19/AM	1.44/PS	-1.33/S	117	3.19/AM	1.08/PS	-1.17/S
44	0.12/AG	1.83/PS	0.03/SF	119	2.51/AM	1.52/PS	-1.09/S
46	1.57/AM	0.99/MS	-1.84/S	125	3.15/AM	1.15/PS	-1.91/S
47	2.84/AM	1.27/PS	-1.70/S	126	2.84/AM	0.90/MS	-1.65/S
48	1.19/AM	1.60/PS	-0.81/S	128	3.09/AM	1.07/PS	-2.30/S
49	1.62/AM	1.40/PS	-1.19/S				

AG- Arena gruesa, AMG- Arena muy gruesa, AM- Arena media

BS- Bien seleccionada, MBS- Moderadamente bien seleccionada, MS- Moderadamente seleccionada, PS- Pobremente seleccionada

SF- Sesgo a los finos, FSF- Fuertemente sesgado a los finos, S- simétrica

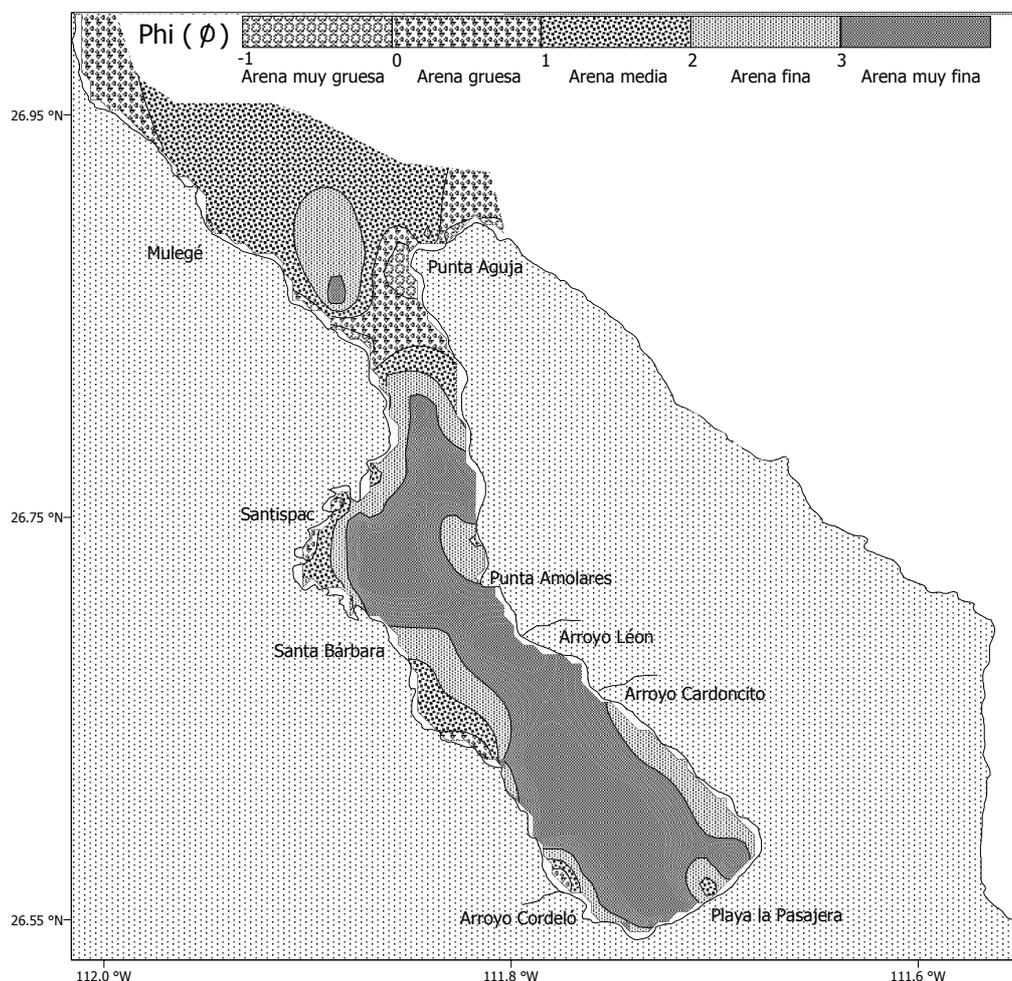


Figura 14. Distribución espacial del tamaño de grano de los sedimentos de Bahía Concepción

El intervalo de la media fue de $X_0 = -0.98$ (arena muy gruesa) a $X_0 = 3.28$ (arena muy fina), se

encontró a la arena fina a muy fina sobretodo en la porción central del cuerpo de agua donde ocurren las mayores profundidades (> 25 m) y baja velocidad del flujo de agua, aspectos que favorecen la depositación del material fino (Figura 14). Esto se ve corroborado por la distribución espacial del porcentaje de finos en la Figura 15, que muestra la presencia de estas partículas principalmente en la porción central de la bahía (> 20%) y que se ve favorecida por las características antes señaladas. Otro punto se encontró en la boca, quizás como resultado de la presencia de pequeñas cuencas profundas (~ 20 m) que permiten la depositación.

La arena gruesa a muy gruesa se observó en la boca de la bahía y en pequeñas zonas adyacentes a la línea de costa como resultado del aporte continental. A partir que en la región predominan las condiciones desérticas, la descarga de material ocurre principalmente en verano por las lluvias torrenciales asociadas a fenómenos meteorológicos (huracanes, tormentas tropicales) y la distribución

final del material introducido al ambiente marino es determinada por las corrientes marinas y la batimetría, con cierta aportación e influencia del material sedimentario del origen biogénico, generado por la biota. Otro factor que influye para esta zona es el aporte

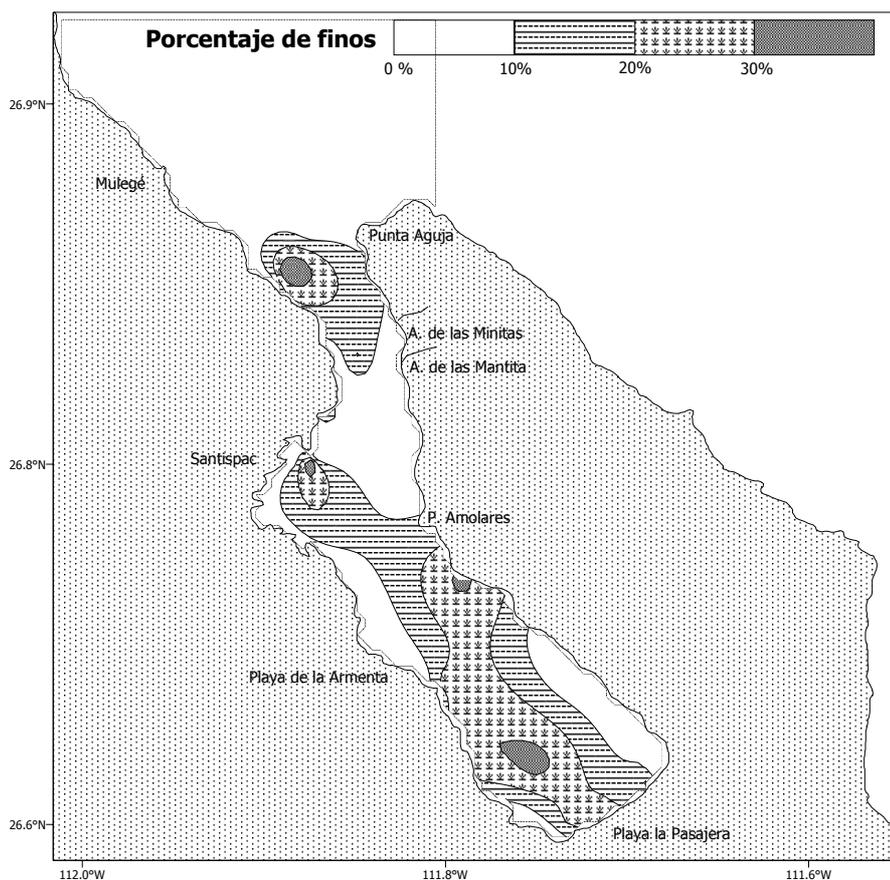


Figura 15. Variación del porcentaje de finos en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

eólico, que se ve favorecido por las condiciones desérticas que fragmentas las rocas de la cuenca.

Con respecto a la desviación estándar, los valores se encontraron en el intervalo de $\sigma_\phi = 0.53$ (arena muy bien seleccionada) a $\sigma_\phi = 2.0$ (pobremente seleccionada), la mayor predominancia fue de los sedimentos pobremente seleccionados debido a la variedad de tamaños que se encontraron. El sesgo en los sedimentos de Bahía Concepción fue predominantemente negativo e indica que el material depositado tiene una distribución simétrica, los valores oscilaron de $S_\phi = 0.83$ (fuertemente sesgado a los finos) a $S_\phi = -3.43$ (simétrica). De acuerdo, a estas características el tipo de grano que predominó en Bahía Concepción fue arena media y arena fina mal clasificada con predominio de gruesos.

La arena gruesa y media predominaron cerca de la Playa Santispac y en las partes suroeste, este y noreste adyacentes a la línea de costa; mientras las partículas de tamaño limo y de arena muy fina se observaron en la parte profunda.

8. 1. 1. 2. Concentración de componentes mayores y elementos traza

En la Tabla 9 se presenta la concentración promedio, desviación estándar e intervalo de concentración de los componentes mayores y elementos traza en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción, además de la concentración de referencia de Taylor (1964) para la corteza continental.

Los carbonatos fueron el componente biogénico con mayor concentración en los sedimentos, que alcanzó valores entre 0.2% a 64%, altos si se considera que para el carbono orgánico los datos oscilaron de 0.4% a 4%.

Al comparar los datos de concentración en la corteza (Taylor, 1964) con el contenido de elementos en los sedimentos superficiales, se observó que Se, Cd, Br, Sr, Ca, As, Pb y Sb destacaron por el incremento en la concentración. El aumento calculado fue de 48, 20, 8, 3.8, 2.4, 4.4, 2.5 y 2, respectivamente. Estas diferencias pueden observarse más a detalle con el factor de enriquecimiento (ver 8. 1. 1. 4). En el material terrígeno los elementos que destacaron fueron Se, As, Sb, Sr, Ba y Ni cuya diferencia se estimó en 20, 5, 2.5, 1.4, 1.4 y 1.2 ordenes de magnitud.

A partir de la concentración promedio los elementos se ordenaron de la siguiente manera: Ca> Sr> Fe> K> Ba> Cr> Zr> Pb> Ni> Zn> Br> Cu> Rb> Co> As> Sc> Cd> Se> U> Hf> Cs> Th> Sb> Ta> Hg. La abundancia de algunos de estos elementos se asocian a la presencia de abundante material biogénico (Ca y Sr) y al aporte continental (Fe, Cr, Zr y otros).

Tabla 9. Concentración promedio, desviación estándar e intervalo de concentración de componentes mayores, elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales (158 muestras) y material continental (25 muestras) de Bahía Concepción

Elemento	Sedimento superficial (con carbonatos)		Material continental		Corteza continental ¹
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio	
Carbonatos (%)	5 - 96	41 ± 28	-	-	-
C. orgánico (%)	0.1 - 5.0	2.0 ± 2.0	-	-	-
K (%)	0.1 - 3.0	1.0 ± 1.0	1.0 - 3.0	2.0 ± 1.0	2.09
Ca (%)	3 - 22	10.0 ± 6.0	3.0 - 7.0	4.0 ± 1.0	4.2
Fe (%)	0.1 - 6.0	3.0 ± 1.0	1.0 - 10.0	5.0 ± 2.0	5.6

¹Taylor (1964)

Tabla 9 (continuación). Concentración promedio, desviación estándar e intervalo de concentración de componentes mayores, elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales (158 muestras) y material continental (25 muestras) de Bahía Concepción

Elemento	Sedimento superficial (con carbonatos)		Material continental		Corteza continental ¹
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio	
Rb (mg/kg)	2 - 50	18.0 ± 10.0	3.0 - 56.0	22.0 ± 15.0	90
Cs (mg/kg)	0.02 - 6.0	2.0 ± 1.0	0.7 - 10.0	3.0 ± 3.0	3
Sr (mg/kg)	400 - 5040	1410 ± 843	155 - 805	529 ± 176	375
Ba (mg/kg)	4 - 665	314 ± 158	250 - 975	615 ± 170	425
Sc (mg/kg)	0.3 - 27.0	10.0 ± 5.0	5 - 37	17.0 ± 6.0	22
Cr (mg/kg)	2 - 305	71 ± 53	14 - 302	101 ± 81	100
Co (mg/kg)	0.1 - 500	17 ± 48	6.0 - 40.0	19 ± 7.0	25
Cu (mg/kg)	6 - 39	20 ± 11	-	-	55
Zn (mg/kg)	4 - 75	39 ± 21	10 - 140	54 ± 32	70
Cd (mg/kg)	1 - 8	4 ± 2	-	-	0.2
Pb (mg/kg)	14 - 58	31 ± 10	-	-	12.5
Ni (mg/kg)	14 - 48	30 ± 9	10 - 230	92 ± 56	75
Se (mg/kg)	0.3 - 11.0	2.4 ± 2.0	0.4 - 4.0	1.0 ± 1.0	0.05
As (mg/kg)	0.3 - 52.0	8.0 ± 7.0	0.3 - 46.0	9.0 ± 11.0	1.8
Sb (mg/kg)	0.01 - 1.0	0.4 ± 0.3	0.1 - 3.0	0.5 ± 0.7	0.2
Th (mg/kg)	0.05 - 6.0	1.0 ± 1.0	1.0 - 4.0	2.0 ± 0.7	9.6
U (mg/kg)	0.4 - 6.0	2.0 ± 1.0	0.4 - 5.0	1.0 ± 1.0	2.7
Br (mg/kg)	1 - 106	20 ± 21	0.002 - 2.0	0.2 ± 0.3	2.5
Hf (mg/kg)	0.04 - 5.0	1.8 ± 0.9	1.4 - 4.6	3.0 ± 0.8	3.0
Ta (mg/kg)	0.02 - 0.70	0.02 ± 0.13	0.04 - 1.0	0.4 ± 0.3	2.0
Zr (mg/kg)	3 - 305	64 ± 59	17 - 375	127 ± 89	165

8. 1. 1. 3. Distribución espacial de la concentración de componentes mayores en el sedimento total de Bahía Concepción

Carbonatos

La distribución espacial del contenido de carbonatos en los sedimentos de Bahía Concepción indicó una amplia dispersión con excepción de la porción central, en donde la concentración fue menor de 20% debido a la depositación de arenas finas y acumulación de carbono orgánico. Los valores de carbonatos por arriba del valor promedio (41%) se observaron en los sedimentos ubicados frente al Estuario Mulegé y en la línea de costa de la porción oeste de la bahía que abarca parte del canal, Santispac, Santa Bárbara y El Remate. En dichos puntos destacó la presencia de abundantes fragmentos

calcáreos y algunos de los materiales señalados por Shumilin *et al.* (1996) y Forrest *et al.* (2002) (Figura 16).

Carbono orgánico

La concentración promedio de carbono orgánico en los sedimentos de la bahía fue 2% con un intervalo de 0.1% a 5%. La distribución espacial de estos datos mostraron que la mayor acumulación de este componente (> 2%) ocurrió solo en la porción central, que se caracteriza por presentar la mayor profundidad (25 m a 30 m), con depositación de arenas finas con alta capacidad de adsorción de elementos traza y carbono orgánico (Figura 17). En los sedimentos de la entrada de la bahía y frente a la Playa la Pasajera el contenido de carbono orgánico fue menor de 1%, probablemente por la presencia de abundantes fragmentos calcáreos y a la dilución por el material terrígeno.

8. 1. 1. 4. Distribución espacial de la concentración de elementos mayores (Ca y Fe) en los sedimentos superficiales

La estimación de Ca en los sedimentos muestra una concentración que osciló de 3% a 22% con un contenido promedio de 10% que sobrepasa el valor de Taylor (1964) de 4.15 % para la corteza continental. El incremento fue casi del doble para la bahía. Los sedimentos con altos contenidos de Ca se observaron frente a Punta Aguja, Santispac y Playa la Pasajera, caracterizados por presentar abundantes fragmentos calcáreos al que se encuentra asociado el Ca (Figura 18). Los valores de Ca por debajo del promedio se encontraron frente al Estuario Mulegé donde probablemente ocurre mayor depositación de material continental (fragmentos de rocas, cantos rodados) que descarga el estuario durante las lluvias torrenciales. También existe otra zona con los sedimentos empobrecidos en Ca que fue la porción central de la bahía que se caracterizó por tener la mayor profundidad, las arenas finas y alto contenido de carbono orgánico. En el material terrígeno, el contenido de Ca no sobrepasó los 10% en ninguna de las estaciones debido que el Ca se asocia mayormente con el material biogénico de origen marino (carbonato de calcio).

La distribución espacial de la concentración de Fe en los sedimentos fue diferente a la presentada por Ca considerando que concentraciones menores de este elemento coinciden con las zonas de mayor contenido de carbonatos, tal fue el caso de Santispac, Santa Bárbara, Punta Aguja y en la Playa la Pasajera (Fe < 1.5%) (Figura 19). Las concentraciones más altas de este elemento (> 4.5%) se encontraron en las muestras de los sedimentos de la porción este de la bahía, frente a la desembocadura de los arroyos Beatriz y de las Tres Marías los cuales presentan minerales (hematita, limolita, magnesita, y otros) (Consejo de Recursos Minerales, 1999) ricos en Mn y elementos asociados, como Fe. Otra zona ocurrió frente al Estuario Mulegú donde importantes cantidades de material continental son descargadas anualmente, y además de la porción central de la bahía dada la presencia de limos y arcillas, ricas en los oxihidróxidos de Fe. Los niveles de Fe en el material terrígeno fueron altos sobretodo en la porción este donde se encuentran algunas zonas con depósitos minerales ricos en Fe y adyacente a la Playa la Pasajera donde el material terrígeno presentó más de 4.5%.

8. 1. 1. 5. Distribución espacial de la concentración de Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Cd, Pb, Se, As, Sb, Th, U, Br, Hf, Ta y Zr en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

En los sedimentos de Bahía Concepción la distribución espacial de cada elemento permitió identificar tres asociaciones principales y zonas de acumulación en común diferenciadas por su ubicación que se atribuyen a ciertas particularidades de la zona. Las zonas de manera resumida fueron las siguientes: i) la porción este de la bahía, en donde se localizan algunos depósitos minerales y arroyos, ii) la segunda incluye la porción central de la bahía y iii) la tercera zonas caracterizada por la presencia de abundantes fragmentos calcáreos (Santispac, Santa Bárbara, Punta Aguja). A continuación se describe la distribución espacial de los elementos y se incluyen algunos mapas para ejemplificar las zonas en comun de acumulación, las excepciones fueron Hf y Sc cuyos patrones fueron diferentes, de tal manera que su descripción se presenta hasta el final.

Distribución espacial de Rb, Ca, Ba, As, Sb, Th y Hf. Para el Rb los sedimentos con mas de 20 mg/kg se observaron frente al Estuario Mulegú, de Punta Beatriz a Punta Blanca, Punta San Ignacio a la

Playa la Pasajera (porción este), mientras en el material terrígeno los puntos importantes fueron cerca de Punta Beatriz, Punta Amolares y en el Arroyo de las Muertas que obtuvieron mas de 30 mg/kg de Rb. En el caso de Cs, la presencia fue notoria en los sedimentos de la porción central de la bahía sobre todo en aquellos adyacentes a los arroyos San Ignacio, Cardoncito y Color de Rosa donde la concentración osciló de 2 a 6 mg/kg, mismos puntos cuyo material terrígeno obtuvo mas de 5 mg/kg y los define como una fuente importante de Cs a la bahía a través del material descargado.

La distribución espacial del contenido de Ba indicó que los sedimentos con mayor concentración de este elemento ($Ba > 300$ mg/kg) se encontraron en la porción central, la boca de la bahía y adyacentes a los arroyos Minitas, Mantitas, Beatriz, Tres Marías, de Luis. Otros puntos importantes fueron el Estuario Mulegé y el arroyo Aguajito (Figura 20). La concentración de Ba en el material terrígeno indica que la mayor parte de las estaciones son fuentes importantes de aporte considerando que se determinó en estos puntos mas de 400 mg/kg. Con respecto al As, la concentración promedio en los sedimentos de la bahía fue de 8.3 mg/kg que llegó a sobrepasar el valor de referencia (1.8 mg/kg) en más de 4 veces, lo cual indica que es el As es abundante en este ambiente. La distribución muestra que concentraciones por arriba de 20 mg/kg, tanto en los sedimentos como en el material terrígeno se encontraron adyacentes a Punta Blanca (Arroyo León) y Punta San Ignacio (Arroyo Cardoncito) de la porción este de la bahía (Figura 21). El Sb fue otro caso, cuyo contenido en los sedimentos sobresalió con un incremento de 2 veces con respecto al valor de la corteza. La distribución espacial muestra que Sb fue un elemento asociado a la porción este de la bahía, donde los sedimentos con mas de 0.5 mg/kg abarcaron de Punta Aguja hasta el Arroyo Color de Rosa (incluyeron los arroyos Guadalupe, Minitas, Beatriz, Amolares y Cardoncito) (Figura 22). En esa misma zona el contenido de Sb en el material terrígeno fue mayor a 1 mg/kg. La distribución espacial de Th expone que en los sedimentos de la bahía prevalecieron concentraciones por debajo de 2 mg/kg, con excepción de las zonas adyacentes de Punta Beatriz a Punta Amolares y de Punta San Ignacio a la desembocadura del arroyo de Luis, donde Th fue mayor a 2 mg/kg. Dichos puntos coinciden con las zonas donde el material terrígeno obtuvo valores que oscilaron de 1 mg/kg a 3 mg/kg. Las zonas señaladas fueron Playa Buena Aventura, Playa de la Armenta, Punta Amolares y los arroyos Cordeló, Aguajito, de Luis, Beatriz, Minitas y Guadalupe.

Las distribuciones espaciales de Rb, Cs, Ba, As, Sb, Th y Hf en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción muestran que los sedimentos con la mayor concentración se encontraron adyacentes al Estuario Mulegú y a la porción este de la bahía, en donde destaca la presencia de depósitos minerales. La distribución de Fe en los sedimentos muestra algunas zonas semejantes con los anteriores elementos, destacó además su presencia en la porción central. Algunas peculiaridades en la distribución espacial de Hf permite considerarlo dentro de otro grupo, por lo que se describirá posteriormente.

Cromo, Co, Ni, Zn, Cu, Hg, Se, U, Br, (Hf), Ta y Zr. La distribución espacial de Cr muestra que concentraciones por arriba de 70 mg/kg se encontraron en los sedimentos frente al Estuario Mulegú, en el canal y en la porción central. Considerando estos puntos y la concentración en el material terrígeno, probablemente la presencia del Cr está influenciada por el material que proviene del Estuario Mulegú (boca de la bahía), del arroyo Cordeló (porción oeste) y de la Playa la Pasajera, cuyos sedimentos presentaron por arriba de 200 mg/kg (Figura 23). Para el caso de Co, la mayor parte de los sedimentos presentan una concentración menor a 20 mg/kg que es parecido al valor promedio de 17 mg/kg, y solo destacaron aquellos frente al Estuario Mulegú, centro del canal, Punta Amolares y cerca de las desembocaduras de los arroyos Minitas, Mantitas y Armenta cuyo contenido de Co osciló de 25 a 200 mg/kg. La concentración de Co en el material terrígeno de la mayoría de los puntos fue menor a 20 mg/kg con excepción de los localizados cerca de Punta Aguja y Playa la Pasajera con mas de 25 mg/kg. El Ni presentó una distribución similar a Co debido que los sedimentos obtuvieron menos de 60 mg/kg y solo en pequeñas zonas localizadas frente a Mulegú, parte central del canal y adyacente a la descarga de los arroyos Vinorama, Armenta y Cordeló el contenido osciló de 60 mg/kg a 180 mg/kg, principalmente. En el material terrígeno la mayoría de los puntos obtuvieron similar intervalo de concentración y solo destacaron dos puntos adyacentes al Arroyo Beatriz y frente a la Playa la Pasajera con mas de 180 mg/kg de Ni.

Para el caso de Zn, los sedimentos con mas de 60 mg/kg se observaron en la porción centro de la bahía y frente al Estuario Mulegú, aunque en esta última zona el contenido de Zn fue mayor de 90 mg/kg. Probablemente el Estuario Mulegú es una importante fuente de aporte de elementos dada la presencia en

esa zona de Zn, Sc, Co, Ni, Zn, U, Br, Hf, Ta y Zr. Mientras en el material continental los puntos con similar contenido ($Zn > 90 \text{ mg/kg}$) se encontraron adyacentes a la playa la Pasajera y los arroyos Santo Domingo, Minitas y León. En cambio, la distribución espacial de Cu muestra que los sedimentos de la porción central de este cuerpo de agua fue la zona principal de concentración del elemento y los valores oscilaron de 20 mg/kg a 40 mg/kg . Aunque no se cuentan con datos en el material terrígeno, probablemente el material descargado de la porción este contribuye con el aporte de Cu considerando los valores frente al arroyo de las Tres Marías ($Cu > 30 \text{ mg/kg}$) (Figura 24). Otro elemento cuya zona principal de acumulación fue la porción centro fue Hg, donde la concentración osciló de 0.05 mg/kg y 0.1 mg/kg y su presencia se asocia a la adsorción en las arenas finas con alto contenido orgánico (Figura 25).

La distribución espacial del contenido de Se muestra que la mayoría de los sedimentos en Bahía Concepción obtuvieron una concentración menor a 3 mg/kg . Considerando el contenido de Se en los sedimentos de la bahía y el de referencia (0.05 mg/kg ; Taylor, 1964), se encontró que el contenido en este cuerpo de agua presentó un incremento de 60 veces. En algunos casos el contenido de Se fue mayor y se observó en las zonas cerca de Punta Amolares y Playa la Armenta, abarcando la porción central de la bahía. Probablemente, la presencia de Se en estas zonas esta asociado al origen volcánico del material, así como a las partículas finas del sedimento, contenido orgánico y la descarga de material de los arroyos. En el material terrígeno la concentración de Se fue baja, destacando los arroyos las Cruces y Santa Rosallaita (3 mg/kg a 6 mg/kg Se) que se ubican cerca de los sedimentos cuyo contenido se encontró dentro del mismo intervalo (Figura 26).

Respecto al U, los puntos principales de acumulación se observaron frente al Estuario Mulegé y en la porción central de la bahía donde la concentración en los sedimentos osciló de 2 mg/kg a 4 mg/kg , aunque en Mulegé llegó a sobrepasar los 4 mg/kg . Valores altos de U en los sedimentos de la boca representan una fuente de aporte para el interior de la bahía a través de las corrientes marinas. En el material terrígeno solo 4 puntos destacaron, siendo localizados en los arroyos Beatriz y de Luis (2 mg/kg a 4 mg/kg), además del Color de Rosa y Santa Rosallaita ($U > 4 \text{ mg/kg}$).

Para Br, la concentración promedio (20 mg/kg) obtenida en los sedimentos fue 8 veces mas alta con respecto al valor de referencia de 2.5 mg/kg para la corteza continental (Taylor, 1964), a diferencia

de otros elementos (Cd, Pb, Se, As y Sb) no se tiene conocimiento de efectos toxicológicos que haya generado este elemento. La distribución del contenido de Br y Ta en los sedimentos de la bahía fueron similares a U. En el caso de Br, los máximos se encontraron en los sedimentos frente al Estuario Mulegé y en la porción central donde la concentración fue mayor a 50 mg/kg, mientras en el material terrígeno todas las estaciones presentaron menos de 30 mg/kg. Para el Ta, la concentración en la mayoría de los sedimentos osciló de 0.2 mg/kg a 0.4 mg/kg y se observaron frente al Estuario Mulegé, el canal y zona centro del cuerpo de agua. También fue posible observar en algunas porciones contenidos por arriba de 0.4 mg/kg. En el material terrígeno contenidos por arriba de 0.4 mg/kg de Ta se observaron adyacentes a los arroyos Guadalupe, Minitas y Mantita, Color de Rosa y Luis, Cordeló, y en la Playa la Pasajera. Como fue el caso de Co y Ni, la distribución de Zr muestra pequeñas zonas donde el sedimento obtuvo más de 100 mg/kg y estas se encontraron adyacentes a la línea de costa del Estuario Mulegé y en la porción central de la bahía. Para el material terrígeno contenidos por arriba de 200 mg/kg se ubicaron cerca de los arroyos Beatriz, Cardoncito, Aguajito y la playa la Pasajera.

En Bahía Concepción y sobre todo en la porción central (cuya profundidad oscila de 25 m a 30 m), la presencia de Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Se, U, Br, Hf, Ta y Zr está asociada a las arenas muy finas y al carbono orgánico (> 3.5%) que actúa como ligando y facilita su adsorción en las partículas del sedimento.

Estroncio, Cd y Pb. Tomando en cuenta la concentración promedio de Sr obtenida en los sedimentos de la bahía (1410 mg/kg) y el valor de referencia para la corteza (375 mg/kg), se observa un incremento del contenido por aproximadamente 4 veces. Este aumento se asocia al abundante material calcáreo en los sedimentos debido a la relación que mantiene con esta fracción biogénica (coeficiente de correlación mayor de 0.8). La distribución espacial de Sr muestra que los sedimentos superficiales con mayor contenido se encontraron en Punta Aguja, Santispac, Santa Bárbara y frente al arroyo San Pedro, los cuales fueron los puntos importantes de acumulación. Mientras en zonas como el Estuario Mulegé y las playas la Pasajera y Buena Aventura la concentración de Sr osciló entre 1000 mg/kg a 2000 mg/kg. En el material terrígeno el contenido de Sr fue bajo (< 1000 mg/kg) en todas las estaciones e indica probablemente una mayor asociación con el material biogénico marino.

El Cd y Pb fueron otros de los elementos cuya concentración en los sedimentos de la bahía sobrepasaron con 20 y 2.5 veces el valor de referencia en la corteza continental (0.2 mg/kg y 12.5 mg/kg, respectivamente) (Tabla 6). La distribución espacial de la concentración de ambos elementos en la bahía fue similar a Sr considerando que los sedimentos con un contenido de Cd mayor de 6 mg/kg se localizaron en Punta Concepción, Santispac, Santa Bárbara y una pequeña zona en la porción centro, que son las zonas en donde el contenido de carbonatos fue mayor de 80%. En el caso de Pb, los sedimentos con más de 30 mg/kg se localizaron en Punta Concepción, Punta Aguja, Santispac, Santa Bárbara, Playa la Pasajera y frente a los arroyos San Pedro y las Minitas (Figura 27).

Como se ha indicado, la distribución de la concentración de Sr, Cd y Pb siguen un patrón similar al comportamiento de los carbonatos en los sedimentos de la bahía, lo cual indica una estrecha relación sobretodo por la formación de carbonato de calcio y el intercambio iónico de Ca por Sr y Pb. Los carbonatos en este cuerpo de agua están representados por fragmentos de conchas que fueron abundantes en las zonas de Mulegé, Punta Concepción, Punta Aguja, Santispac, Playa la Pasajera, adyacente a Santa Bárbara y el arroyo Cordeló (Figura 11). Sin embargo, como se detallara más adelante para otros elementos este componente actúa como diluyente de la concentración, considerando que concentraciones bajas de Rb, Cs, Ba, Sc, Cr, Zn, Hg, Cu, As, Sb, Th, U, Br, Hf y Ta se encontraron en las zonas donde fueron abundantes los fragmentos calcáreos. La dilución por carbonatos es un factor geoquímico que afecta la química entre el elemento traza y el sedimento dando como resultado un enmascaramiento de la concentración real del elemento (Horowitz, 1991)

Hafnio y Sc como casos especiales. La distribución espacial del contenido de Hf fue diferente a las señaladas para los otros elementos, los sedimentos con una concentración mayor a 3 mg/kg se observaron principalmente frente al Estuario Mulegé, y con un intervalo de 1 mg/kg a 3 mg/kg en la porción central abarcando las costas de la porción este. En el material terrígeno la concentración fue variable destacando los puntos adyacentes a los arroyos Beatriz, Cardoncito, de Luis, Aguajito, Cordeló, Armenta, Playa la Pasajera y cerca de Santa Bárbara donde el contenido de Hf se encontró por arriba de 3

mg/kg (Figura 28). La diferencia con respecto a los otros elementos fue su acumulación en la porción central y adyacentes a las zonas de la costa este de la bahía.

Otro elemento con una distribución espacial diferente a los anteriores elementos fue Sc, los sedimentos con el mayor contenido ($Sc > 20$ mg/kg) se observaron frente al Estuario Mulegé, además de la porción central donde la concentración osciló de 10 mg/kg a 20 mg/kg. En el material terrígeno los puntos localizados en Punta Blanca y San Ignacio, Playa la Pasajera y en el arroyo Aguajito obtuvieron mas de 20 mg/kg, lo cual representa una fuente de aporte de material rico en Sc hacia los sedimentos marinos adyacentes (Figura 29).

8. 1. 1. 6. Factor de enriquecimiento (FE)

Tomando en cuenta, los datos de Taylor (1964) para la corteza continental como referencia y al Sc como elemento normalizador, debido que es análogo al Al, se obtuvo el factor de enriquecimiento para los elementos. Esto permitió minimizar los efectos del tamaño de grano, compensar la variabilidad natural de los elementos en el sedimento, para detectar y cuantificar contribuciones naturales o antropogénicas en la localidad (Loring, 1991). Los resultados se presentan de manera gráfica en la Figura 30, que corresponde a los datos resultantes de la relación entre la concentración del elemento y Sc en los sedimentos y en el material de referencia (corteza continental). Se presenta en forma logarítmica (log)

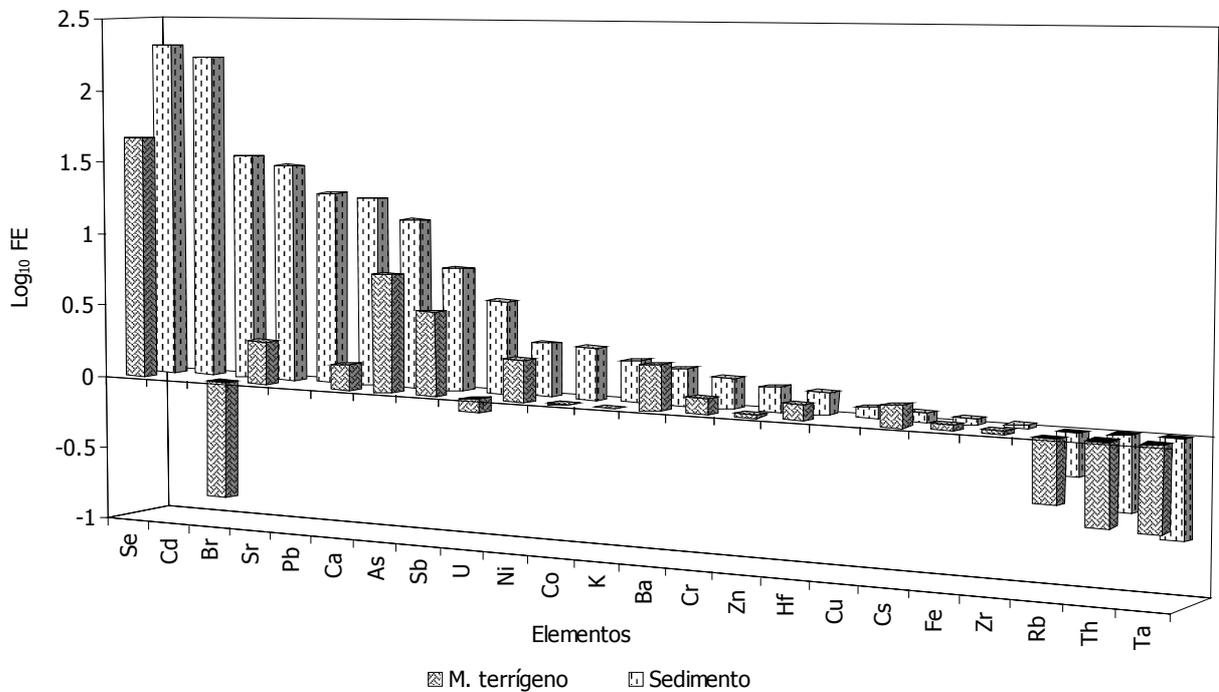


Figura 30. Factor de enriquecimiento de las concentraciones promedio de los elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción

para poder comparar los datos entre los elementos. Los elementos fueron ordenados de acuerdo a los trabajos realizados por Salomons y Förstner (1984), Posada-Ramos *et al.* (1994) y Martínez-Magaña (1995).

En los sedimentos superficiales destacó la presencia de Se, Br, Sr, Ca, As y Sb, debido que obtuvieron valores altos con respecto a los datos del material terrígeno de la zona de arroyos (Figura 30). El

orden que siguieron en los sedimentos considerando el valor obtenido del FE, fue el siguiente: Se (204) > Cd (170) > Br (35) > Sr (31) > Pb (20) > Ca (19) > As (14) > Sb (7). Mientras, en el material de los arroyos fueron únicamente los metaloides Se (47), As (6) y Sb (4), el resto de los elementos obtuvo valores menores. Los elementos se agruparon de acuerdo a la clasificación antes señalada:

a) *Selenio, Cd, Sr, Pb, Ca y As* fueron los elementos cuya concentración fue alta con respecto a lo reportado por Taylor (1964) para la corteza continental, de tal manera que los valores del factor de enriquecimiento fueron 204, 170, 31, 20, 19 y 14, respectivamente. Dichos resultados son altos y sobrepasan en todos los casos al 10 que es el límite máximo de la clasificación, el cual se considera para elementos altamente enriquecidos. A diferencia de los sedimentos marinos, en el material terrígeno únicamente se encontró a Se como un elemento altamente enriquecido con un FE promedio

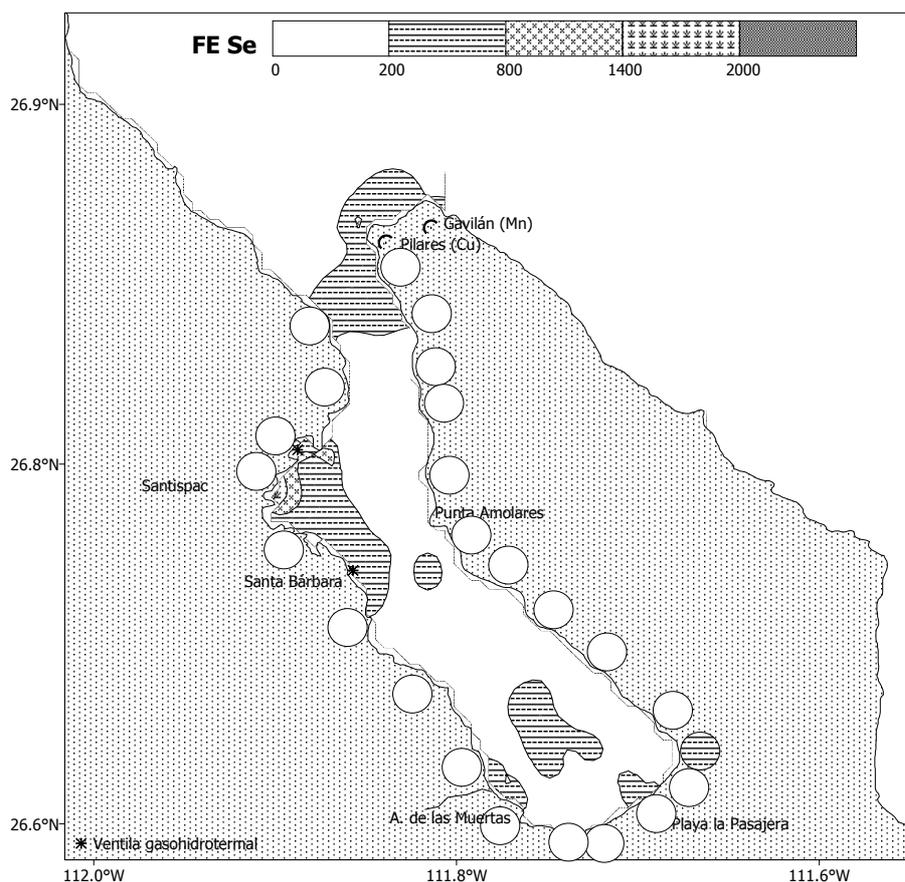


Figura 31. Variación del factor de enriquecimiento de Se en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción

de 47. Por ejemplo, la Figura 31 muestra la distribución espacial de los datos del FE para Se e indica que los sedimentos con FE alto (> 200) se encontraron adyacentes a los depósitos minerales cerca de la boca de la bahía, además frente a las playas de Santispac

y Santa Bárbara. Estas dos últimas zonas están caracterizadas por presentar abundantes fragmentos calcáreos (carbonatos > 50%) a los cuales se asocian Sr, Ca y Pb. Mientras, los otros elementos deben relacionarse a la presencia de minerales provenientes de la cuenca o del material transportado por las corrientes litorales.

b) *Antimonio, U, Co y Ni* fueron los elementos cuyo valor del factor de enriquecimiento en los sedimentos osciló de 2 a 7, de tal manera que este grupo de elementos es considerado como elementos enriquecidos. En el material terrígeno, se encontró a As, Sb y Ba cuyos datos fueron 6.3, 3.7 y 2.0, respectivamente. La procedencia de los elementos se asocia al aporte de material de la

cuenca de drenaje y, probablemente a los fluidos termales. Como ejemplo, se presenta la distribución espacial del FE de Sb (Figura 32) donde la mayoría de los sedimentos superficiales obtuvo valores por debajo de 10. Sin embargo, los datos altos se encontraron principalmente en Santispac y adyacente a la zona de Santa Bárbara.

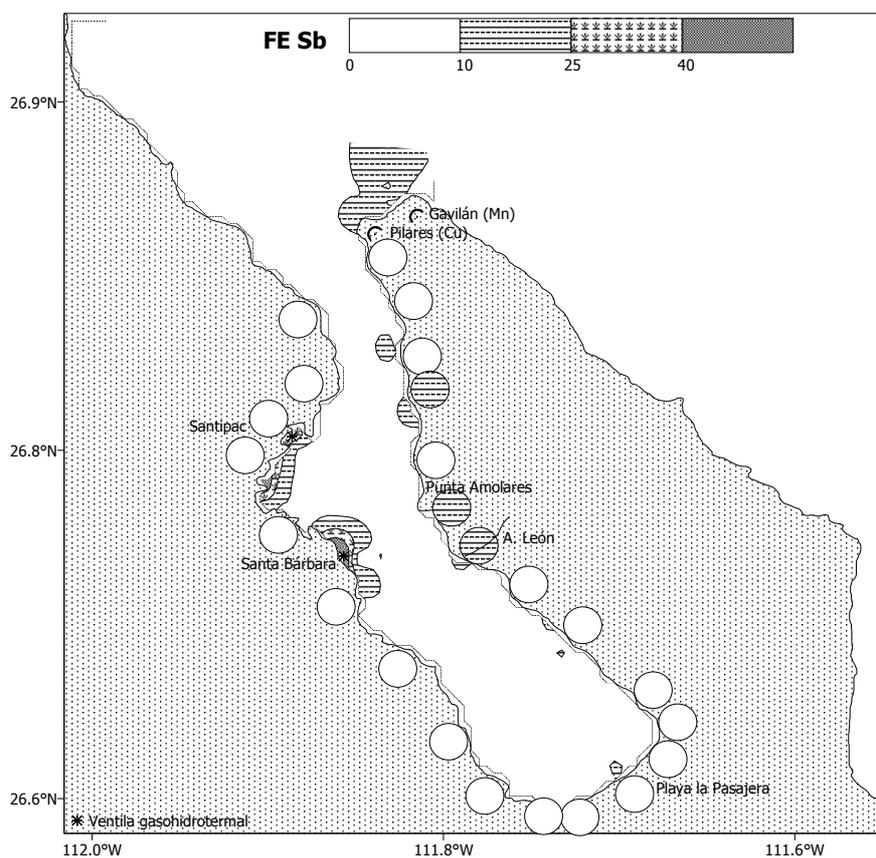


Figura 32. Valores del FE de Sb en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción

K, Ba, Cr, Zn, Hf, Cs, Cu, Fe y Zr fueron elementos que el valor obtenido del FE en los sedimentos superficiales osciló de 1 a 2. Mientras, en el material terrígeno fueron Sr, Ni, Ca, Cs, Hf, Cr, Fe, Zr, Zn, Co y K. Tomando en cuenta los resultados en el sedimento, se considera que los elementos proceden únicamente del aporte de material desde la cuenca de drenaje, y de acuerdo a la clasificación estos se

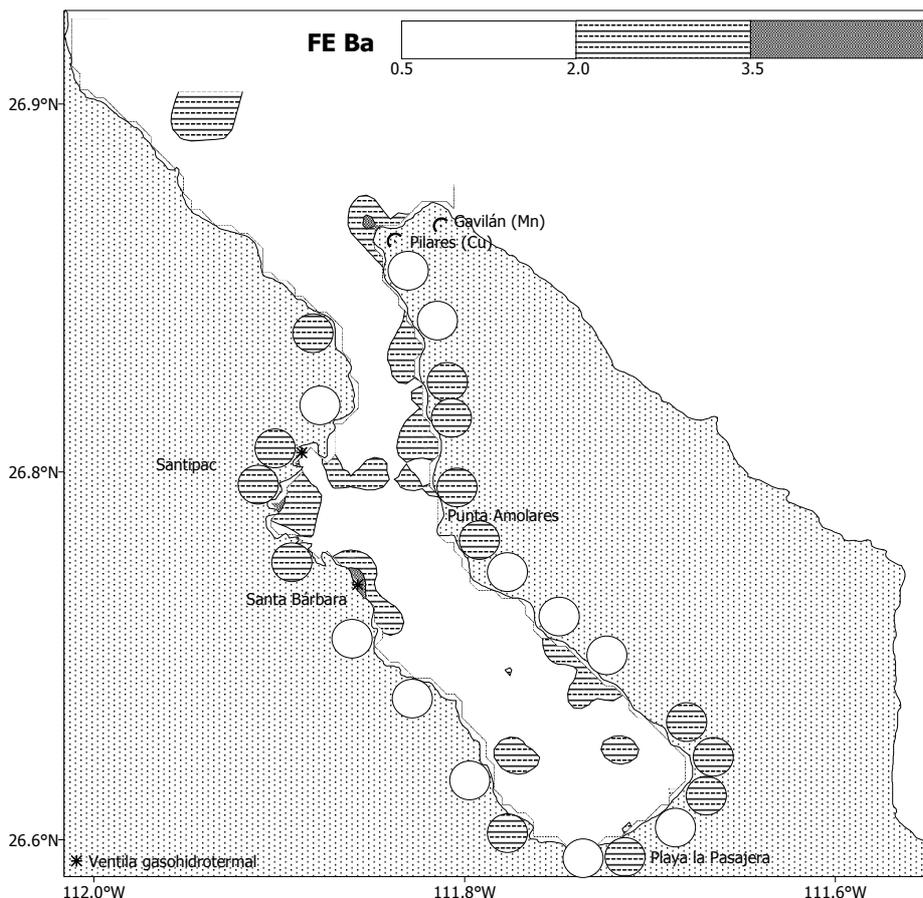


Figura 33. Valores del FE de Ba en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción

denominan como conservativos. Para el sedimento como para el material terrígeno, los elementos conservativos fueron Cs, Hf, Cr, Fe, Zr, Zn y K. En la Figura 33 se muestra la distribución espacial de los valores obtenidos del FE de Ba, donde se observó que la mayor parte de los sedimentos obtuvo datos menores a 2, lo que indica su cercanía con el valor de

referencia de la corteza.

c) *Rubidio, Th y Ta* fueron los que obtuvieron un valor por debajo de 1 en el FE de los sedimentos superficiales, y cuyos datos en promedio fueron 0.6, 0.3 y 0.2, respectivamente. En el material terrígeno se encontró a U (0.81), Rb (0.38), Th (0.29), Ta (0.29) y Br (0.16), algunos mencionados para los sedimentos superficiales de la bahía. La Figura 34 muestra la distribución espacial de los datos del FE para Rb, en donde se puede observar que la mayor parte de los sedimentos de la bahía

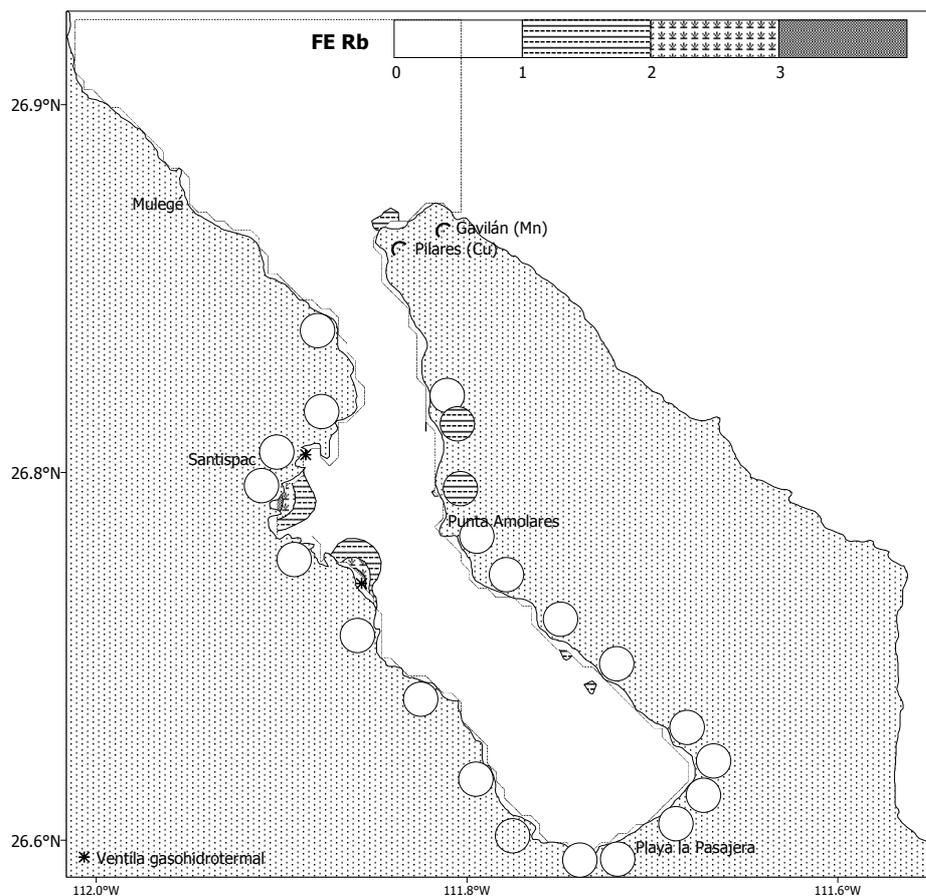


Figura 34. Variación espacial de los valores del factor de enriquecimiento de Rb en los sedimentos superficiales y material terrígeno de Bahía Concepción

obtuvieron valores menores a 1, dato que representan el nivel de referencia en el FE. De acuerdo, a los resultados del FE y a la clasificación estos elementos se clasifican como empobrecidos, debido a que son inferiores al nivel de referencia

(corteza continental).

8. 1. 1. 7. Lantánidos

Los elementos de las tierras raras o lantánidos se describieron de manera independiente debido a las particularidades propias, entre ellas predomina el estado de oxidación trivalente, similar comportamiento químico resultado de la estructura atómica (Clark, 1984; Román *et al.*, 1995). La concentración promedio e intervalo de concentración de los elementos en los sedimentos y el material terrígeno se presentan en la Tabla 10. Se incluyó la concentración que Ross y McLennan (1985) indican para la lutita norteamericana como datos de referencia y necesaria para llevar a cabo la normalización de los datos.

Tabla 10. Concentración promedio (mg/kg), desviación estándar e intervalo de concentración de los lantánidos en sedimentos superficiales y material continental de Bahía Concepción, y valor de referencia en la lutita norteamericana

Elemento	Sedimento superficial (con carbonatos)		Material terrígeno		Lutita Norteamericana ¹
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio	
La	0.5 - 33.0	10.0 ± 5.0	4 - 24	14 ± 5	32
Ce	1 - 56	19 ± 8	8 - 42	27 ± 8	73
Pr	0.1 - 5.0	2.0 ± 1.0	0.9 - 5.0	3.0 ± 0.8	7.9
Nd	0.6 - 20.0	8.0 ± 3.0	4 - 18	11 ± 3	33
Sm	0.2 - 5.0	2.0 ± 1.0	1 - 5	3 ± 1	5.7
Eu	0.03 - 2.0	0.8 ± 0.3	0.1 - 2.0	1.0 ± 0.3	1.24
Gd	0.3 - 5.0	3.0 ± 1.0	1 - 6	4 ± 1	5.2
Tb	0.04 - 1.0	0.4 ± 0.2	0.2 - 1.0	0.6 ± 0.1	0.85
Dy	0.1 - 4.0	2.0 ± 1.0	1 - 5	3 ± 1	5.8
Ho	0.05 - 1.0	0.5 ± 0.2	0.2 - 1.0	1.0 ± 0.2	1.04
Er	0.1 - 3.0	1.0 ± 0.5	0.6 - 3.0	2.0 ± 0.4	3.4
Tm	0.02 - 0.4	0.2 ± 0.1	0.1 - 0.4	0.3 ± 0.1	0.5
Yb	0.1 - 2.0	1.0 ± 0.4	0.5 - 2.0	1.0 ± 0.3	3.1
Lu	0.02 - 0.4	0.2 ± 0.1	0.1 - 0.4	0.2 ± 0.06	0.48

¹Ross y McLennan (1985)

Las concentraciones en los sedimentos superficiales de la bahía y en el material terrígeno muestran pocas diferencias en los niveles, con excepción de La, Ce, Tb, Ho y Tm, para los cuales, el mayor contenido se encontró en el material terrígeno y le menor en los sedimentos superficiales (Tabla 10).

El orden de concentración de lantánidos tanto en sedimentos como en el material terrígeno fue el siguiente: Ce> La> Nd> Gd> Dy> Pr> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu, donde predominaron los elementos de tierras raras ligeras sobre los elementos de tierras raras pesadas.

8. 1. 1. 7. 1. Distribución espacial de la concentración de lantánidos en los sedimentos superficiales y material continental

La distribución espacial de la concentración de este grupo de elementos en los sedimentos se describe de manera independiente debido a la semejanza en sus propiedades químicas. Las distribuciones permitieron identificar puntos en común de acumulación en donde las concentraciones fueron relativamente altas, y no se observó diferencias en el comportamiento. Las concentraciones obtenidas en los sedimentos fueron semejantes (La, Sm, Eu, Gd, Tb y Lu) y menores (Ce, Pr, Nd, Dy, Tm e Yb) al de la lutita norteamericana (nivel de referencia). En el material terrígeno se encontró un ligero incremento en Eu, Gd y Tb, pero el resto de los elementos mostró el mismo resultado que en los sedimentos (Tabla 9). La descripción de la distribuciones se realizó considerando algunos de los elementos pertenecientes a las tierras raras ligeras (La a Sm), intermedias (Eu) y pesadas (Gd a Lu).

La distribución espacial de la concentración de los elementos de las tierras raras ligeras muestra que los puntos principales y comunes de acumulación se encontraron en los sedimentos localizados frente al estuario Mulegé, adyacentes a la desembocadura del arroyo de las Tres Marías (porción sureste) y del arroyo Cordeló (porción noroeste), así mismo se observó que los contenidos menores ocurrieron en las zonas donde los carbonatos fueron abundantes (Figura 16) y esto se corrobora con coeficiente de correlación el cual fue de -0.80 entre carbonatos y lantano. En dichos puntos el sedimento fue sobretodo arena gruesa mezclada con fragmentos biogénicos calcáreos, que representan el aporte continental y la influencia biogénica marina. Por otro lado, los resultados en el material terrígeno de las zonas de arroyos fue diferente en todos los casos, pero se infirió que la zona de los arroyos de la porción oeste y en la sur fueron los que pueden estar aportando estos elementos.

Las distribuciones espaciales de los contenidos de La y Sm en los sedimentos superficiales de la bahía se presentan como ejemplos. El valor promedio de La en los sedimentos fue de 10 mg/kg, bajo con

respecto a la lutita pero puede ser semejante considerando el valor máximo del intervalo de concentración. Los datos de concentración por arriba del valor promedio se encontraron sobretodo en la porción central y en la boca de la bahía, donde el material sedimentario fue arena muy fina y de arena fina a media, respectivamente (Figura 35). Los contenidos por arriba de 20 mg/kg solo se presentaron en dos pequeñas zonas adyacentes a los arroyos de la Tres Marías y Cordeló, en este último punto el material terrígeno obtuvo similar resultado. En el material terrígeno otro punto que destaco se localizó adyacente al arroyo de Luis y cerca de la zona donde el sedimento obtuvo valor alto de La, el resto se caracterizo con valores por debajo de 20 mg/kg.

Con respecto a Sm el intervalo de concentración osciló de 0.2 a 5.0 mg/kg con un valor promedio de 2 mg/kg que no llega a sobrepasar a 5.7 mg/kg como el dato de referencia de la lutita norteamericana (Ross y McLennan, 1985). Las concentraciones que variaron de 2 mg/kg a 3 mg/kg abarcaron la mayor parte de la bahía cubriendo desde la boca (frente a Mulegé) y la porción central en el interior (Figura 36). De estos destacaron los sedimentos frente al estuario Mulegé, Punta Guadalupe y en la desembocadura de los arroyos de las Tres Marías y Aguajito, en donde se encontraron contenidos mayores a 3 mg/kg. En el material terrígeno los puntos con semejante valor fueron observados adyacentes a los depósitos minerales de la boca de la bahía y en la zona de los arroyos Cardoncito, de Luis, Aguajito, de la Armenta y en la Playa la Pasajera, los cuales probablemente contribuyen con el aporte de este elemento a los sedimentos contiguos.

En el caso de Eu, la concentración promedio tanto en los sedimentos superficiales como en el material terrígeno fue de 1.0 mg/kg. Las diferencias fueron notorias en el intervalo donde el material de los arroyos obtuvo valores de 0.1 mg/kg a 2 mg/kg que fue casi el doble de lo registrado en los sedimentos, así mismo al considerar el valor de referencia en la corteza continental (1.2 mg/kg). La Figura 37 muestra que la concentración con mayor predominancia en los sedimentos osciló de 0.5 mg/kg a 1 mg/kg, pero en las zonas donde fue notoria la presencia de los carbonatos (Punta Aguja, Santispac y Santa Bárbara) fue menor a 0.5 mg/kg. Los sedimentos cuyo contenido obtuvieron mas que el promedio se encontraron frente a Mulegé y los arroyos de las Tres Marías y Aguajito (> 1.0 mg/kg). En los arroyos,

el material principalmente presentó valores que oscilaron de 1 mg/kg a 1.5 mg/kg, con excepción de los arroyos Santo Domingo y de Luis, que registraron más Eu (> 1.5 mg/kg).

Con respecto a las tierras raras pesadas, Gd a Lu el comportamiento en los sedimentos fue similar que los anteriores elementos, los mayores puntos de concentración se localizaron notoriamente frente a Mulegé y en la porción este frente a la desembocadura de los arroyos de las Minitas, de las Tres Marías y de Luis, en algunos casos también Punta Amolares. Como elementos representativos se muestran las distribuciones de Gd y Lu.

Para Gd, la mayor parte de los sedimentos obtuvieron valores que oscilaron de 2 mg/kg a 3 mg/kg, destacando sobretodo aquellos frente a Mulegé, Punta Amolares y a la desembocadura de los arroyos de la porción este (Minitas, Mantitas, Color de Rosa, Tres Marías y de Luis) y sur (Aguajito), donde se encontró que Gd llegó a alcanzar valores por arriba de 3 mg/kg (Figura 38). En el material terrígeno la mayoría de las muestras obtuvieron similar contenido, lo que indica que es Gd es un elemento abundante en la cuenca y que probablemente contribuye a su presencia en los sedimentos de la bahía. En el caso de Lu, la concentración que predominó en los sedimentos osciló de 0.1 mg/kg a 0.2 mg/kg, con excepción de aquellas donde fueron abundantes los carbonatos cuyo valor fue mucho menor (< 0.1 mg/kg) (Figura 39). Para este elemento valores por arriba del intervalo solo se encontraron frente a Mulegé y los arroyos de las Minitas, de las Tres Marías y Aguajito, destacando sobretodo el sedimento de Mulegé por los niveles que puede llegar a alcanzar (> 0.3 mg/kg) probablemente por el volumen de material que llega a descargar durante la temporada de lluvias.

De esta manera, la distribución espacial de la concentración de este grupo de elementos fue muy similar y no se encontró diferencias entre los elementos de tierras raras ligeras (ETRL) (La, Ce, Pr, Nd, Sm), intermedias (Eu) y las tierras pesadas (ETRP) (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), lo cual contribuyó a definir puntos comunes de concentración en los sedimentos superficiales de la bahía. Estos fueron frente a Mulegé y a la desembocadura de los arroyos Las Minitas, la Mantita, de las Tres Marías, de Luis y Aguajito, que abarcan desde la boca de la bahía, la zona del canal y el interior (como ejemplo, Figuras 35 y 38).

8. 1. 1. 7. 2. Normalización de la concentración de lantánidos con lutita norteamericana

Otra forma de observar las diferencias entre los elementos fue a través de la normalización de los datos con los datos registrados por Ross y McLennan (1985) para la lutita norteamericana. La variación en el valor normalizado de este grupo de elementos, en los sedimentos y el material terrígeno de Bahía Concepción, se presenta en la Figura 40.

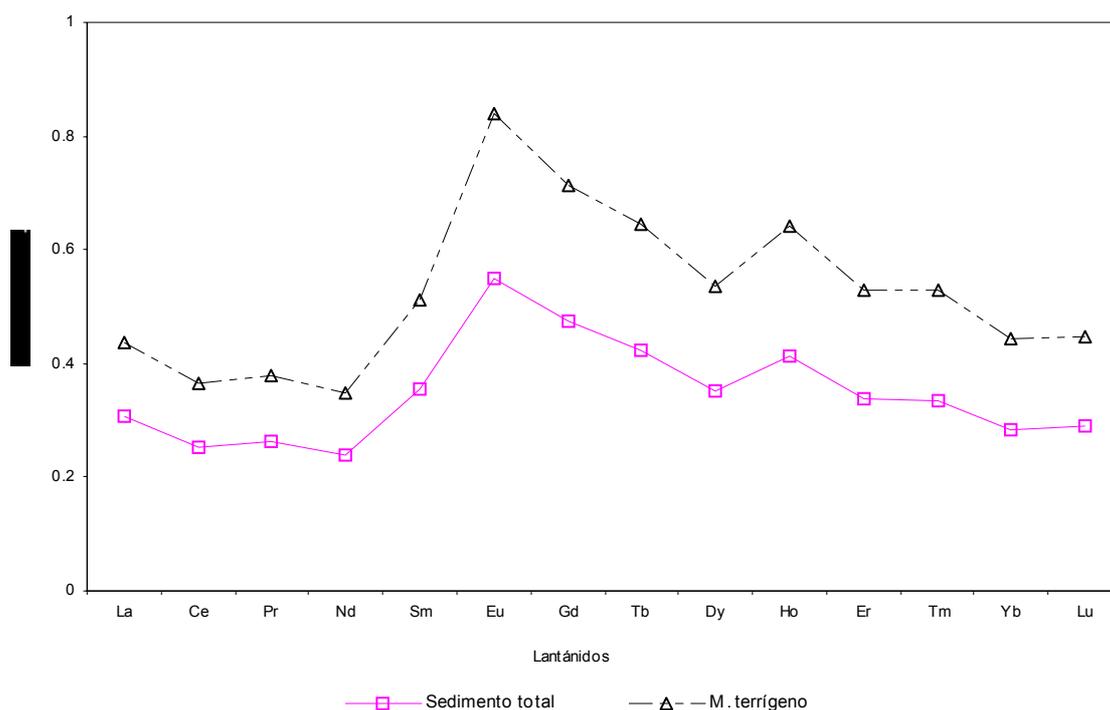


Figura 40 Valores normalizados de los lantánidos con la lutita norteamericana en los sedimentos superficiales y en el material continental de Bahía Concepción

En el material terrígeno fue donde se observaron los valores normalizados altos que oscilaron de 0.34 (Nd) a 0.84 (Eu), mientras en los sedimentos variaron de 0.24 (Nd) a 0.55 (Eu). En ambos casos, el valor mínimo se registró en Nd y el máximo con Eu.

Tomando en cuenta el comportamiento de los valores normalizados de lantánidos fue posible identificar cuatro patrones de variación en los sedimentos. Estos se definieron como (Figura 41):

- a) Tipo lutita, en donde los datos presentaron una tendencia lineal que indica una procedencia continental, para tal caso se presenta como ejemplo los resultados de la estación 10;

- b) Tipo agua de mar. La presencia de los lantánidos en los sedimentos se asocia directamente al agua de mar y que varia conforme a su fuente de aporte. Este tipo de comportamiento se demuestra con los valores de la estación 31, caracterizados por mayor presencia de ETRP y disminución en el valor de Ce;
- c) Tipo anomalía de Eu negativa, el cual se caracterizó por un decremento en el valor normalizado de Eu con respecto a las tierras raras ligeras (ETRL) y tierras raras pesadas (ETRP) (ej. estación 18). Este tipo de patrón refleja la escasa concentración o agotamiento de Eu en los sedimentos en la etapa de su formación que puede deberse a la movilización en las condiciones reductoras.
- d) Tipo anomalía de Eu positiva se definió por el incremento en el valor de Eu con respecto a los elementos vecinos. Como ejemplo se presenta el patrón con los datos normalizados en los sedimentos de la estación 69. El aumento del valor normalizado de este elemento se asocia a la oxidación de Eu(+2), producido por el cambio de valencia en un ambiente reductor que favorece la incorporación de Eu en exceso a la fase sólida y su consecuente enriquecimiento.

La variación del valor normalizado con mayor predominancia en los sedimentos del interior de

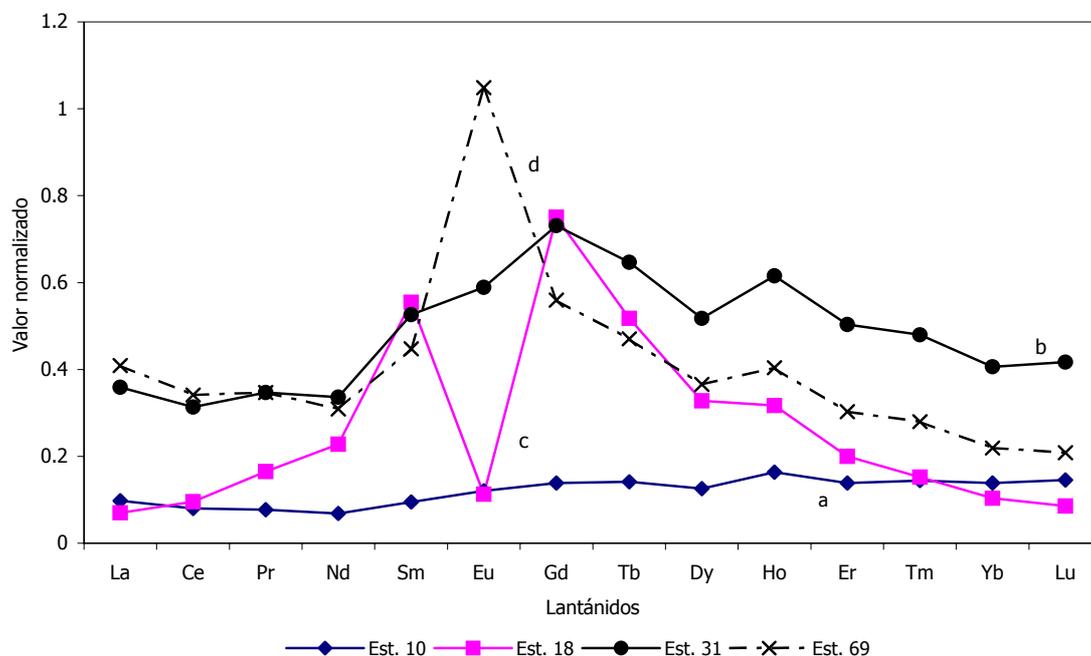


Figura 41. Variaciones del valor normalizado de Eu en sedimentos superficiales de diferentes estaciones en Bahía Concepción. Lutita o sedimentos marinos (a), agua de mar (b), anomalía de Eu negativa (c) y anomalía de Eu positiva (d).

Bahía Concepción fue de anomalía positiva de Eu, aunque también fue posible observar en algunas estaciones un comportamiento de tipo agua de mar y anomalía negativa de Eu.

Para determinar que tan significativo fue el enriquecimiento o empobrecimiento de Eu en los sedimentos de Bahía Concepción y si efectivamente el incremento en el contenido de Eu es una anomalía

positiva (Figura 34), se empleó la ecuación $Eu_{anom} = \frac{2 Eu_n}{Sm_n + Gd_n}$ señalada por Jafri *et al.* (1993) y Daesslé

Tabla 11. Estimaciones realizadas con los valores normalizados de los lantánidos en los sedimentos y material terrígeno de Bahía Concepción

	Sedimento superficial	Material continental
Eu_{anom}	1.4 ± 0.4 0.2 - 2.6	1.4 ± 0.3 0.2 - 1.7
Ce_{anom}^1	0.9 ± 0.02 0.81 - 1.0	0.9 ± 0.01 0.86 - 0.93
Ce_{anom}^2	-0.04 ± 0.009 -0.02 - -0.11	-0.04 ± 0.008 -0.03 - -0.07
La_n/Yb_n	1.10 ± 0.40 0.4 - 2.7	1.0 ± 0.2 0.6 - 1.4

¹Watkins *et al.* (1984), ²McArthur y Walsh (1984)

(1993), donde se consideran los valores normalizados de Sm, Gd y

Eu obtenidos en cada estación.

La Tabla 11 muestra los resultados promedio obtenidos de la anomalía de Eu y se puede observar que el valor fue similar tanto en los sedimentos como en

el material terrígeno con 1.4; sin embargo, considerando el intervalo de concentración se observa que los sedimentos pueden presentar una anomalía mayor con 2.7. La Figura 42 muestra que los valores de Eu_{anom} mayor de 2 se encontraron en los sedimentos frente a Mulegú; mientras, de 0.7 a 2 se localizaron en la boca de la bahía y en algunas porciones del interior, abarcando la porción oeste y centro de la bahía.

La Tabla 11 muestra otras de las estimaciones realizadas a partir de los valores normalizados de lantánidos, entre ellos determinar el tipo de anomalía que presentó Ce y la relación entre tierras raras ligeras y tierras raras pesadas en los sedimentos de Bahía Concepción. Ce es otro de los elementos que su comportamiento puede variar dependiendo de las condiciones del medio (oxidación-reducción), el medio reductor esperaríamos observarlo en la porción central donde hay gran cantidad de partículas finas con alto contenido orgánica y, probablemente de bacterias, que son aspectos característicos, además de las zonas de manglar (ej. Santispac), donde dichas características están presentes. La estimación de Ce_{anom} se obtuvo de dos maneras, la primera empleando la ecuación de Jafri *et al.* (1993) que considera los valores normalizados de La, Ce y Pr (ecuación 1); mientras, la otra emplea los valores normalizados de

La, Ce y Nd (ecuación 2) que fue señalada por Watkins *et al.* (1995) y McArthur y Walsh (1984). Las ecuaciones fueron las siguientes:

$$Ce_{anom} = \frac{2 * Ce_n}{La_n + Pr_n} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$Ce_{anom} = \text{Log} \left[\frac{3 * Ce_n}{(2 * La + Nd)} \right] \quad (\text{Ec. 2})$$

Las estimaciones de la anomalía de Ce a partir de lo señalado por Jafri *et al.* (1993), oscilaron de 0.8 a 0.96 en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción y en el material continental de 0.86 a 0.93, ambos con similares resultados.

Por otro lado, el valor promedio obtenido de Ce_{anom} con la ecuación de Watkins *et al.* (1995) y McArthur y Walsh (1984) fue -0.04 tanto en los sedimentos marinos como en el material de la zona de arroyos, sin embargo pequeñas diferencias se pudieron observar en los intervalos, en donde los sedimentos (-0.02 a -0.107) llegan a presentar valores altos con respecto al material terrígeno (-0.03 a -0.07).

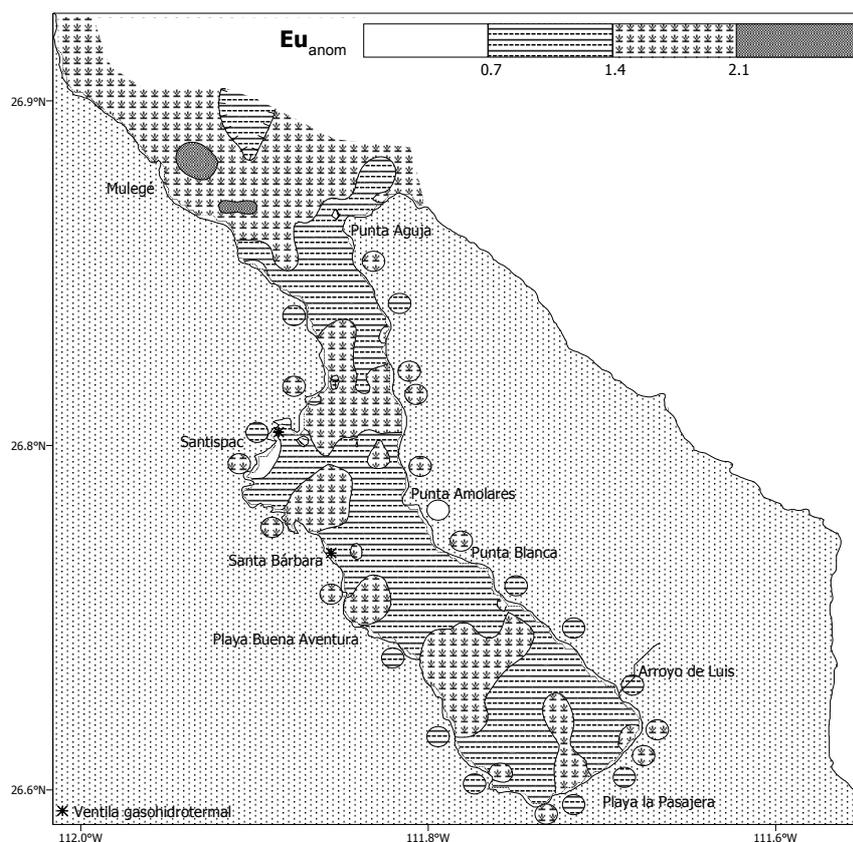


Figura 42. Distribución espacial de la anomalía de Eu en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

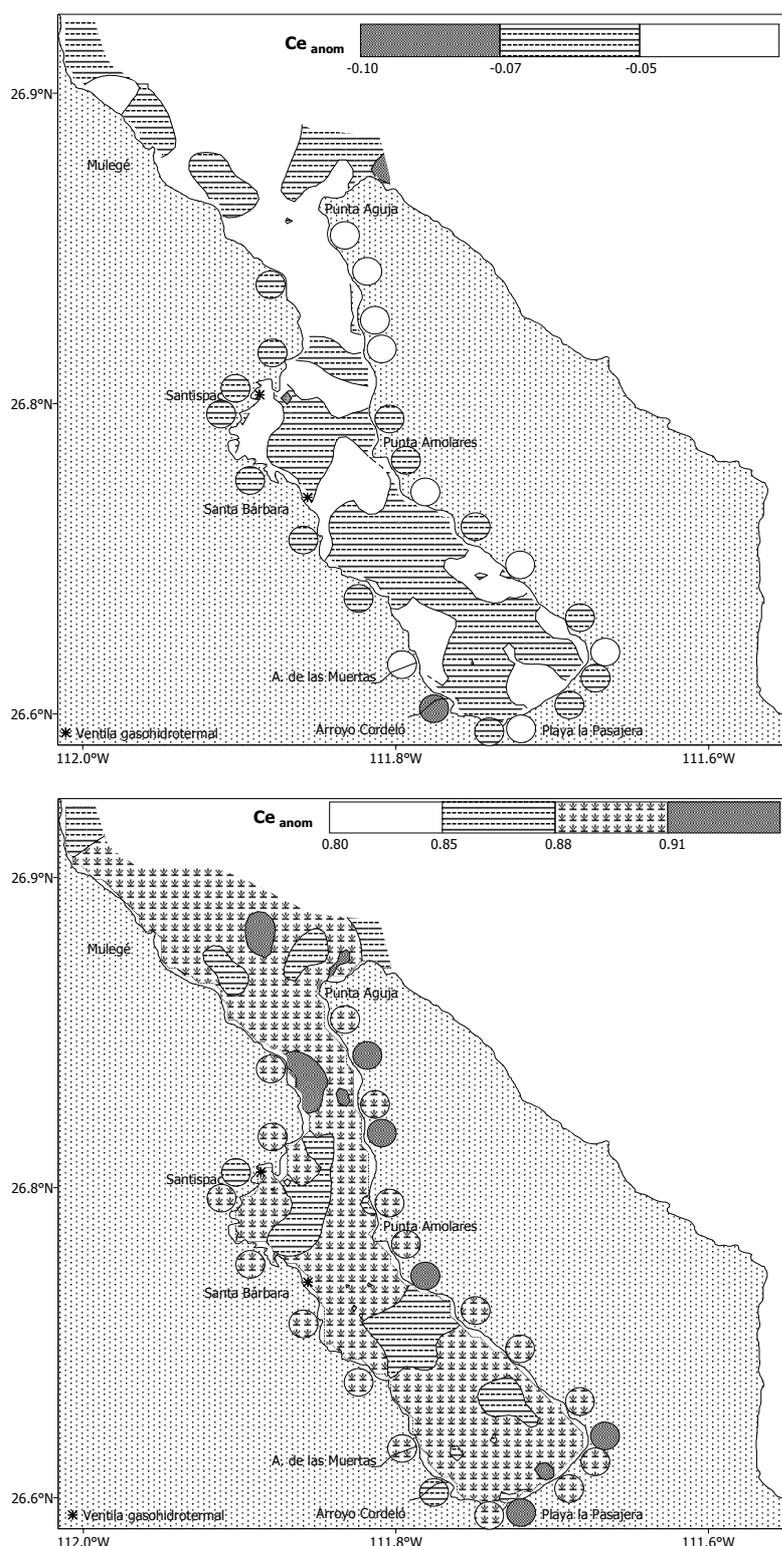


Figura 43. Variación de los valores de la anomalía de Ce en los sedimentos superficiales del complejo Magdalena-Almejas a partir de las ecuaciones de Watkins *et al.* (1995) (a) y Jafri *et al.* (1993) (b)

La Figura 43 muestra la variación de los valores obtenidos por ambas ecuaciones, donde se pudo observar que la tendencia de la anomalía de Ce fue positiva. Los resultados de la primera ecuación permitió observar que datos cercanos a 0 se encontraron principalmente en los sedimentos de la bahía, así como en el material terrígeno de la zona de los arroyos. Para el otro caso, solo en dos pequeñas zonas se encontró que los sedimentos obtuvieron valores de la anomalía de Ce por arriba de 0.9 mientras fue cercano a este valor, lo cual indica que el material presenta una anomalía de Ce ligeramente positiva, además que el material continental de la porción oeste puede contribuir con este resultado (Figura 43b).

Por otro lado, se obtuvo la relación La_n/Yb_n que representa el empobrecimiento o

enriquecimiento de las tierras raras ligeras con respecto a las tierras raras pesadas, a partir de los valores normalizados de La y Yb. En Bahía Concepción los datos registrados en los sedimentos superficiales oscilaron de 0.4 a 2.7 y en el material terrígeno de 0.6 a 1.4, que reflejan mayor presencia de los ETRL en los sedimentos.

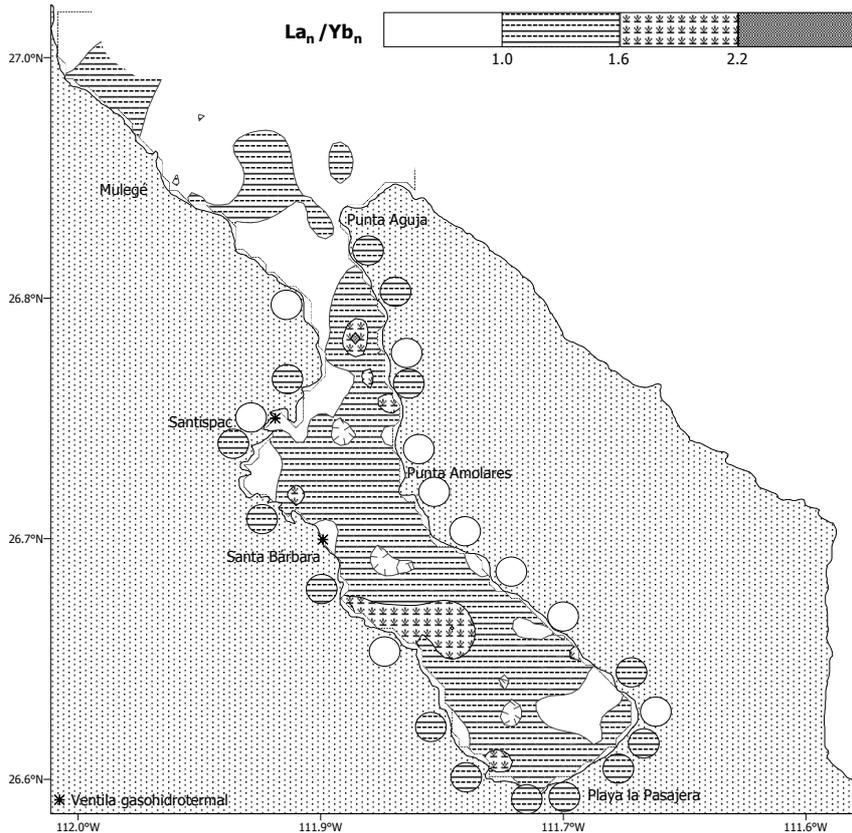


Figura 44. Variación de los datos obtenidos de la relación La_n/Yb_n en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

La Figura 44 muestra la distribución de los datos de la relación La_n/Yb_n en los sedimentos. Principalmente en el interior de la bahía predominaron los ETRL, tomando en cuenta que valores mayores a 1 reflejan mayor presencia de ETRL, quizás por la relación con las partículas finas (limo-arcillosas) y el contenido de carbono orgánico, debido que los valores mínimos se

observaron en los puntos donde el contenido de carbonatos fue alto.

8. 1. 1. 8. Análisis de componentes principales y de factores

Los resultados del análisis de componentes principales, de factores y el cluster permitieron establecer asociaciones o interrelaciones de los elementos, decidir que componentes afectan su distribución espacial y las características que reflejan mejor la varianza de las variables. El análisis de componentes principales (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 los sedimentos (Danielsson *et al.*, 1999). Las variables que integraron cada componente y que representan alguna particularidad en los sedimentos y material terrígeno de Bahía Concepción, 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 la concentración de los elementos en los sedimentos totales, se encontró que un 81% de la varianza fue explicada por tres componentes, el primero de ellos explicó un 56%, el segundo 17% y el tercero un 8% (Tabla 12). Las variables que caracterizan estos componentes se indican en la Tabla 13.

Tabla 12. Resultados del análisis de componentes principales aplicados en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

Valor	Eigenvalores	Varianza total	Eigenvalores acumulativos	Porcentaje acumulativo
1	22.8	55.6	22.8	55.6
2	6.9	16.8	29.7	72.4
3	3.4	8.3	33.1	80.7

En el primer factor se encontró que las variables que están correlacionadas fueron sobretodo las tierras raras con un valor por arriba de 0.7, así como Rb y As. En el factor 2, las variables con mayor contribución fueron elementos asociados con el carbono orgánico de los sedimentos, en este caso fueron Hg, Br, Cu, Ni, Cd, Hg cuyos datos se encontraron por arriba de 0.7. En el tercer factor las variables mejor correlacionadas fueron algunos de los elementos pertenecientes a las tierras raras (Pr, Nd, Sm) junto con Cs, Co y Ta, y cuyos datos oscilaron de 0.67 a 0.75. Otro aspecto a destacar en este último factor es la presencia de los carbonatos que influencia a Ca y Pb, entre estos el valor de la correlación fue mayor a 0.75.

Tabla 13. Resultado del análisis de factores para los datos de concentración de elementos en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

Variable	Factor 1	Variable	Factor 2	Variable	Factor 3
Rb	0.714	C. orgánico	0.980	Carbonato	-0.785
As	0.855	Cd	0.787	Ca	-0.829
La	0.744	Cu	0.740	Pb	-0.901
Ce	0.702	Cr	0.836	Co	0.720
Eu	0.767	Ni	0.924	Cs	0.750
Gd	0.757	Hg	0.835	Ta	0.721
Tb	0.830	Br	0.883	Pr	0.674
Dy	0.859			Nd	0.708
Ho	0.911			Sm	0.738
Er	0.912				
Tm	0.916				
Yb	0.868				
Lu	0.848				

A partir de conocer las variables y el coeficiente de correlación en cada factor, fue posible señalar algunas asociaciones entre los elementos que gráficamente se presentan en la Figura 45. Estas fueron las siguientes:

a) La primera asociación incluyó los elementos de las tierras

raras, Fe, Sc, Co, Se, As, Rb y Ta. Las correlaciones en algunos elementos fue menor a 0.7 por lo que no se incluyeron en la tabla 13 (Fe 0.67, Sc 0.67). A partir de las distribuciones espaciales se observó que la mayor concentración de los elementos ocurrió adyacente a los depósitos minerales de

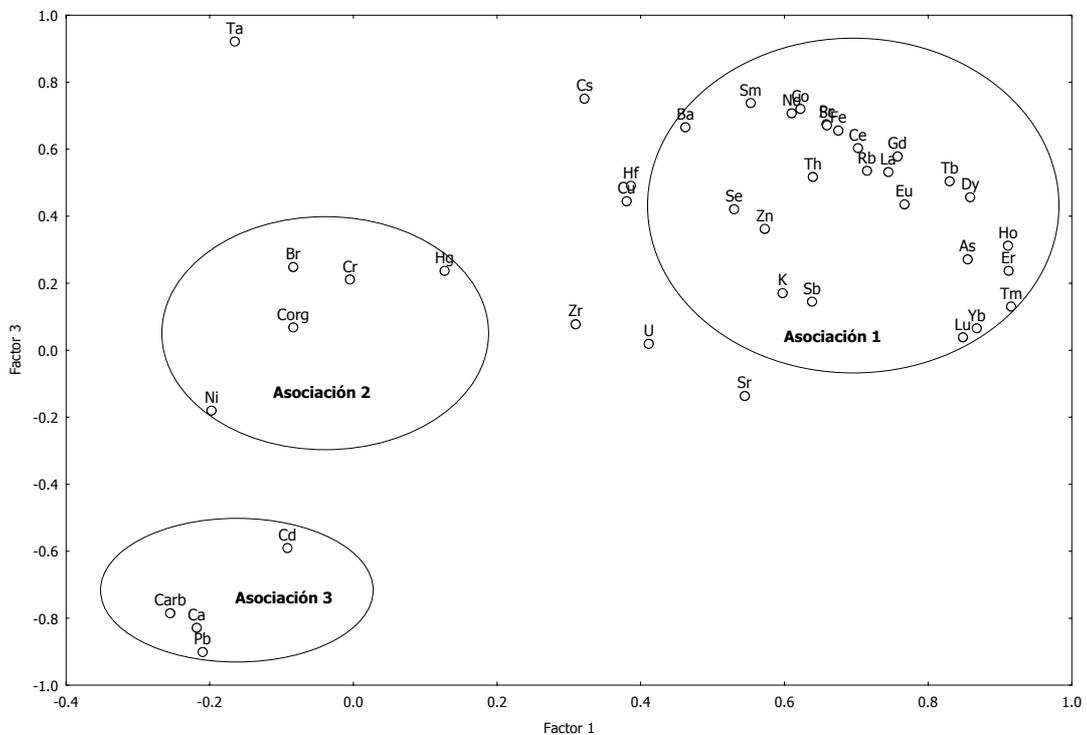


Figura 45. Relación entre los componentes y elementos mayores, y traza de los sedimentos de Bahía Concepción a partir de graficar los factores 1 y 3

oxihidróxidos de Fe, Mn y Cu (Consejo de Recursos Minerales, 1999) (porción este), y frente al estuario de Mulegé. En el material terrígeno fueron diversos los puntos con valores altos y variaron de elemento a elemento, aunque fue posible observar que puntos adyacentes a la descarga de pequeños arroyos señalados por McFall (1968), fueron los que obtuvieron valores altos, además de los ubicados en la porción este donde se localizan los depósitos de óxidos. La presencia de Fe también en esta zona indica la importancia de los oxihidróxidos de Fe como concentradores de elementos.

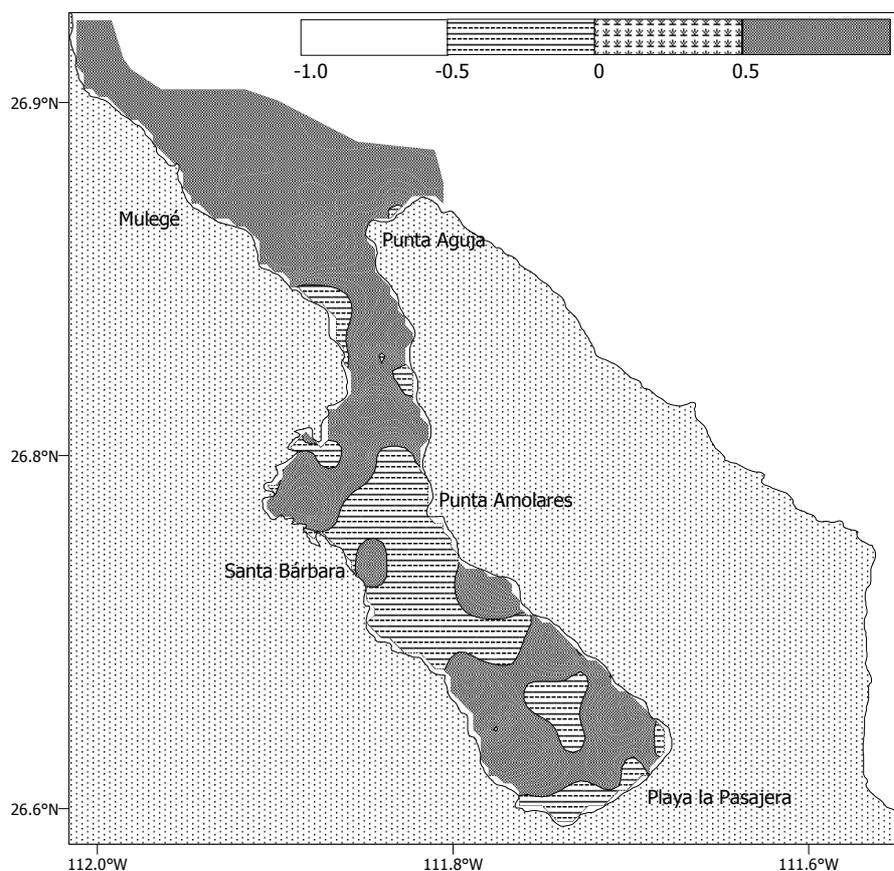


Figura 46. Variación espacial del factor 1 en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

La distribución espacial de estos elementos puede ser explicada con el factor 1 cuyo comportamiento en los sedimentos se presenta en la Figura 46, que es semejante a Fe y los otros elementos señalados, demostrando que las zonas importantes de concentración se encuentran en adyacentes a los

arroyos de la porción este y frente a Mulegé. También la porción central donde la presencia de arenas finas y el mayor porcentaje de finos es notoria, y se caracterizan por la alta capacidad de adsorción de elementos.

- b) La segunda asociación incluyó carbono orgánico, Co, Ni, Br y Hg. La mayor concentración del carbono orgánico y de los otros elementos se observó en las arenas finas de la porción central de la bahía. En

este caso, se reconoce la importancia del componente terrígeno y biogénico en la adsorción debido que son algunas de las fases principales en la concentración de los elementos en los sedimentos (óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, carbono orgánico y minerales arcillosos) (Horowitz y Elrick, 1987; Warren y Zimmerman, 1993; Chester, 2003). La influencia terrígena proviene de los alrededores y toma importancia debido a los depósitos de minerales Pilares, Guadalupe y Mantitas ricos en Fe y Mn (Consejo de Recursos Minerales, 1999).

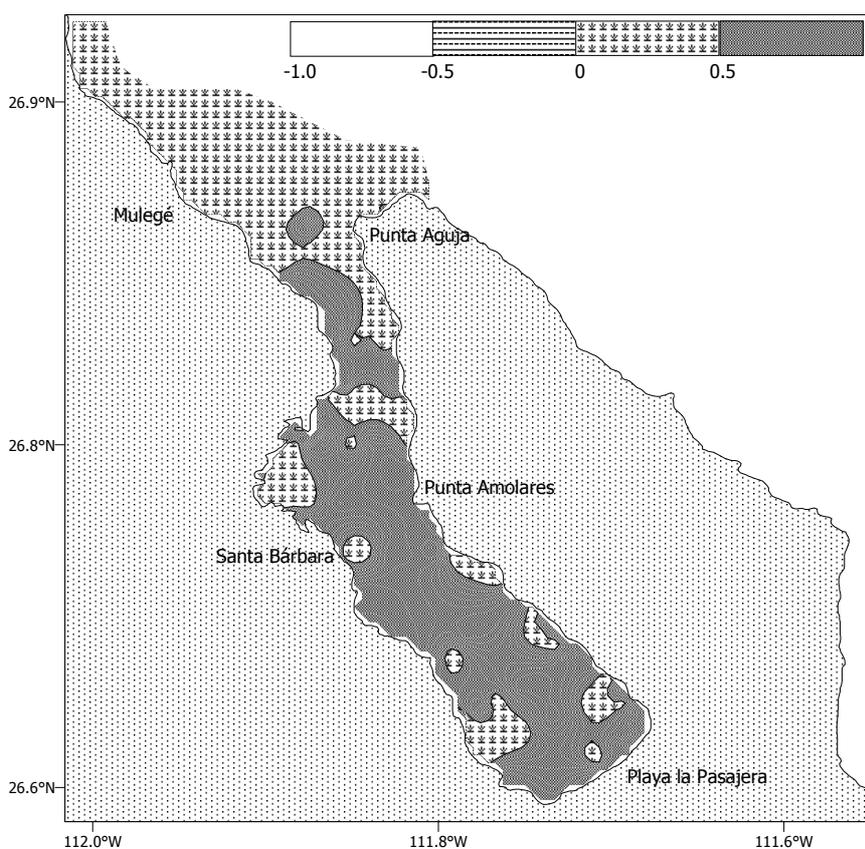


Figura 47. Variación espacial del factor 2 en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

La distribución espacial de estos elementos se representa con el comportamiento del factor 2 en el interior de la bahía (Figura 47). La distribución de este factor fue similar a la distribución del carbono orgánico y de los elementos como Co, Ni, Zn, Br y Hg en los sedimentos superficiales, donde se observa que la mayor presencia se

encuentra en la porción central de la bahía, debido a las características antes señaladas.

- c) La tercera asociación de elementos, incluye los carbonatos, Ca, Pb y Cd. La distribución espacial de los elementos en los sedimentos muestra un comportamiento similar a los carbonatos, que presentan algunos puntos en común de acumulación entre ellos Santispac, el área de Punta Gallito (oeste) a Ensenada Santo Domingo (este) y Playa La Pasajera (sur), que son zonas caracterizadas por la

presencia de abundantes fragmentos calcáreos y a la presencia de algas coralinas (Shumilin *et al.*, 1996; Forrest *et al.*, 2002) que contribuyen en la alta concentración de este componente biogénico.

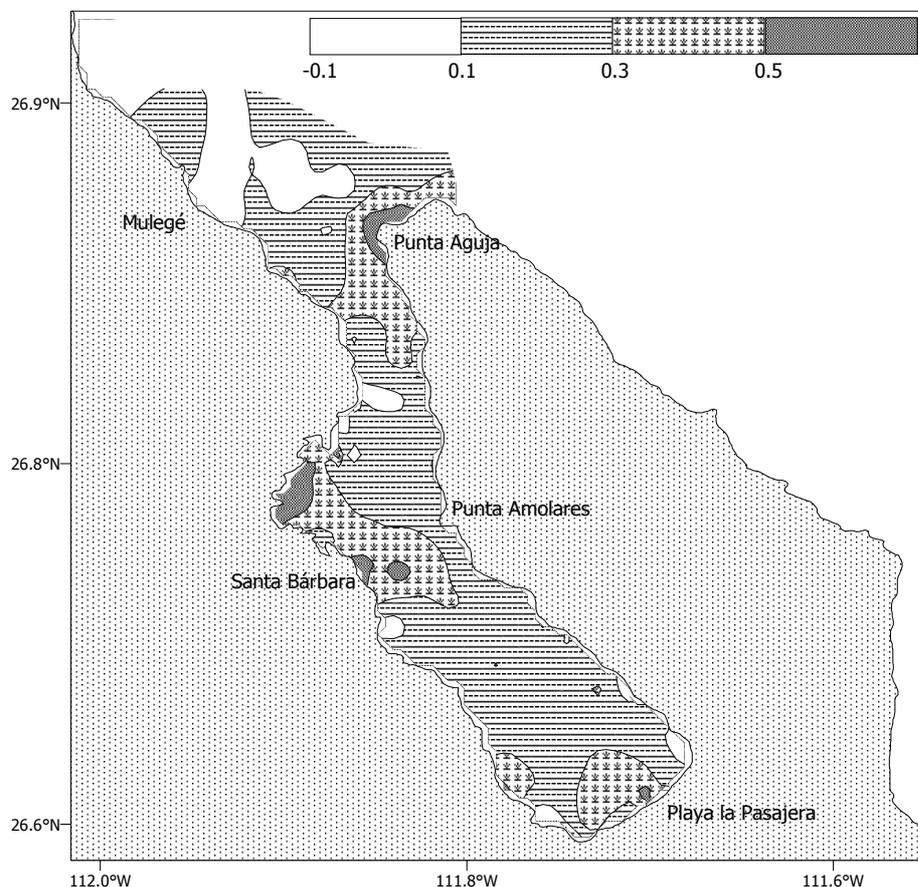


Figura 48. Variación espacial del factor 3 en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

La distribución de este grupo de elementos se explica con la distribución del factor 3 (Figura 48), que sigue un comportamiento similar a Sr, Pb y Cd.

Tomando en cuenta las características de Bahía Concepción, las asociaciones y la distribución espacial

de los elementos, se observó que en este ambiente son tres los factores o componentes los que determinan el comportamiento de los elementos mayores y traza en los sedimentos. Estos se diferenciaron de la siguiente manera: i) aporte de material continental proveniente de los depósitos minerales (óxidos de Fe y Mn), ii) el contenido de carbono orgánico junto con arenas finas en la porción central, y iii) la presencia de fragmentos calcáreos y de algas coralinas que contribuye a la presencia de Sr, Ca, Pb y Cd en los sedimentos.

8. 1. 1. 9. Índice de geoacumulación en los sedimentos de Bahía Concepción

Los resultados del índice de geoacumulación aplicado a la concentración de los elementos obtenidos en Bahía Concepción se presentan en la Tabla 14.

El valor promedio mínimo observado del índice de geoacumulación fue -9 para Hg y el máximo 18 en Sr. De acuerdo a la clasificación de Müller (1979) (citado en de Groot *et al.*, 1982; Salomons y Förstner, 1984), el primero corresponde a sedimentos no contaminados y el segundo a muy fuertemente contaminados. A partir del intervalo que obtuvo cada elemento fue posible observar que pueden ir de no contaminados a muy fuertemente contaminados, como fue el caso de Fe, As, Th, Br y Pr.

Sin embargo, al considerar el valor promedio y la clasificación señalada anteriormente fue posible ordenar a los elementos de la siguiente manera:

- No contaminados ($I_{geo} < 0$): K, Cd, Hg, Se, Sb, Ta, Eu, Tb, Ho, Tm, Yb, Lu
- Moderadamente contaminado ($I_{geo} 1 - 2$): U, Hf, Nd, Er
- Fuertemente contaminado ($I_{geo} 3 - 4$): Fe, Cs, As, Th, Br, Zr, Pr, Sm, Gd, Dy
- Muy fuertemente contaminado ($I_{geo} > 5$): Ca, Rb, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Zn, La, Ce

A pesar que se diferencian algunos elementos como fuertemente contaminados, la posible fuente no se asocia a un origen antropogénico sino natural, dada la escasez de industrias, asentamientos humanos, descargas domésticas, entre otras fuentes contaminantes. Lo anterior, dada la presencia de Fe y Sc entre los muy fuertemente contaminados, y cuya fuente se considera principalmente al aporte continental, además de la influencia por el material biogénico, como son los carbonatos, al cual se relacionan Ca y Sr.

De esta manera, el índice de geoacumulación representa no la influencia antropogénica sino las características naturales de la bahía como: el aporte continental y la productividad biológica (carbonatos y carbono orgánico).

Tabla 14. Datos del índice de geoacumulación para los elementos mayores y traza de los sedimentos de Bahía Concepción

Elemento	Min	Máx	Promedio ± desviación	Clasificación
Fe	-1	5	3 ± 1.2	Fuertemente contaminado
Ca	3	6	5 ± 0.7	Muy fuertemente contaminado
K	-3	2	0.3 ± 1.2	No contaminado
Rb	5	12	9.7 ± 1.0	Muy fuertemente contaminado
Cs	-4	4	1 ± 2	Moderadamente contaminado
Sr	17	20	18 ± 1	Muy fuertemente contaminado
Ba	10	18	16 ± 1	Muy fuertemente contaminado
Sc	2	9	7 ± 1.3	Muy fuertemente contaminado
Cr	7	14	12 ± 1.3	Muy fuertemente contaminado
Co	1	13	7 ± 1.6	Muy fuertemente contaminado
Cu	8	11	9 ± 1	Muy fuertemente contaminado
Pb	7	9	8 ± 0.4	Muy fuertemente contaminado
Cd	-3	0.1	-1 ± 0.7	No contaminado
Hg	-11	-7	-9 ± 1	No contaminado
Ni	9	11	10 ± 0.5	Muy fuertemente contaminado
Zn	8	12	10 ± 1.0	Muy fuertemente contaminado
Se	-7	-1.0	-4 ± 0.9	No contaminado
As	-2	6	3 ± 1	Fuertemente contaminado
Sb	-10	-3	-5 ± 1	No contaminado
Th	-2	5	3 ± 1	Fuertemente contaminado
U	-0.5	3	2 ± 0.7	Moderadamente contaminado
Br	1	8	4 ± 1	Fuertemente contaminado
Hf	-4	3	2 ± 1	Moderadamente contaminado
Ta	-5	-0.01	-2 ± 1	No contaminado
Zr	8	15	12 ± 1.3	Muy fuertemente contaminado
La	3	9	8 ± 0.9	Muy fuertemente contaminado
Ce	6	11	10 ± 0.9	Muy fuertemente contaminado
Pr	-0.4	5	3 ± 0.8	Fuertemente contaminado
Nd	4	9	7 ± 0.8	Muy fuertemente contaminado
Sm	-0.3	4	3 ± 0.8	Fuertemente contaminado
Eu	-5	0.5	-1 ± 1	No contaminado
Gd	-0.04	4.0	3 ± 0.8	Fuertemente contaminado
Tb	-5	-1	-2 ± 0.8	No contaminado
Dy	-2	4	3 ± 0.9	Fuertemente contaminado
Ho	-5	-0.5	-2 ± 0.8	No contaminado
Er	-2	3	1 ± 0.8	Moderadamente contaminado
Tm	-7	-3	-4 ± 0.8	No contaminado
Yb	-2	2	0.8 ± 0.8	No contaminado
Lu	-7	-3	-5 ± 0.8	No contaminado

8. 1. 2. Macroalgas marinas

En Bahía Concepción se recolectaron 9 especies, 1 especie perteneciente a la División Rhodophyta, 5 a Phaeophyta y 3 a la Chlorophyta. Las especies identificadas de macroalgas se indican en la Tabla 15. Durante el mes de marzo del 2002, la temperatura superficial del agua de mar en esta localidad osciló de 18°C a 22°C y se detectó una amplia distribución de estas especies, sobretodo de *Sargassum sinicola* (6 estaciones) y un poco menos fue *Colpomenia tuberculata* (3 estaciones).

Tabla 15. Lista sistemática de la flora ficológica de las especies de macroalgas de Bahía Concepción

DIVISIÓN RHODOPHYTA	Rhodophyceae Ceramiales Rhodomelaceae <i>Laurencia pacifica</i> Kylin
DIVISIÓN PHAEOPHYTA	Phaeophyceae Scytosiphonales Scytosiphonaceae <i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbes et Solier <i>Colpomenia tuberculata</i> Saunders Dictyotales Dictyotaceae <i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) Lamouroux <i>Padina durvillaei</i> Bory Fucales Sargassaceae <i>Sargassum sinicola</i> Setchell et Gardner
DIVISIÓN CHLOROPHYTA	Chlorophyceae Ulvaes Ulvaceae <i>Enteromorpha clathrata</i> (Roth) Greville <i>Enteromorpha intestinalis</i> (Linnaeus) Link <i>Ulva lactuca</i> Linnaeus

La variación espacial del número de las especies de macroalgas que se obtuvieron se muestra en la Figura 49. En la estación 3 fue donde se recolectaron mas especies: *Laurencia pacifica*, *Colpomenia sinuosa*, *C. tuberculata* y *Padina durvillaei*. Dicha estación se encuentra localizada frente a Mulegé y su sustrato es rocoso, lo cual permite la fijación y crecimiento de las especies.

Tomando en cuenta que el número de datos de concentración fue bajo para *C. sinuosa*, *P. durvillaei*, *E. clathrata*, *E. intestinalis* y *U. lactuca*, no fue posible realizar la comparación entre los niveles de los elementos y entre las estaciones, por lo que las concentraciones de los elementos sólo se presentan en la Tabla 18.

8. 1. 2. 1. Variación de la concentración de elementos traza

Laurencia pacífica

Las estaciones en donde se encontró esta especie fueron la 3 y 4, que estuvieron localizadas cerca de la boca de Mulegé. En la estación 4 se

registraron los valores más altos de Se, Sb, U, Co, Cr, Zn y Ni, la excepción fue Br cuyo contenido fue mayor en la estación 3 (Figura 50).

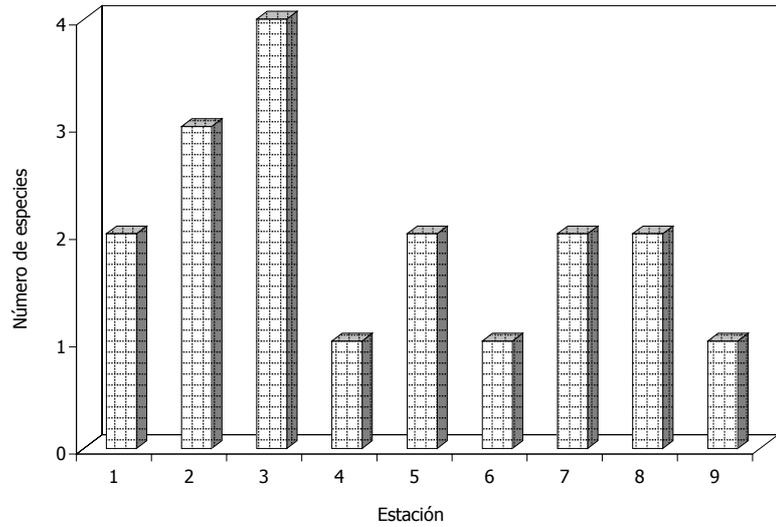


Figura 49. Variación espacial del número de las especies de macroalgas marinas recolectadas en el mes de marzo del 2002 en Bahía Concepción

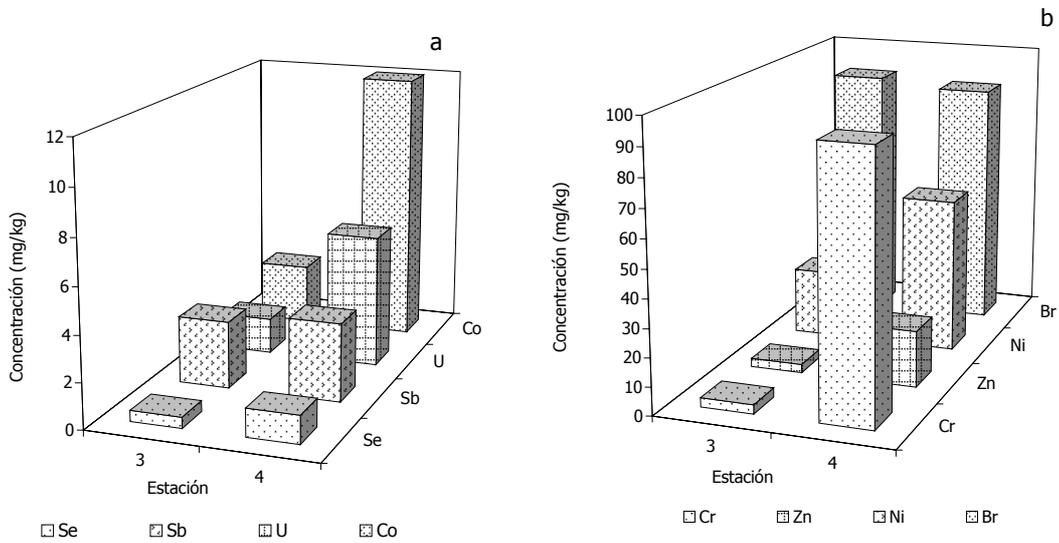


Figura 50. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *Laurencia pacífica* de Bahía Concepción. a) Se, Sb, U y Co; b) Cr, Zn, Ni y Br.

El orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *L. pacífica* colectada en Bahía Concepción, se presentan en la Tabla 16. En ambas estaciones se observó que Ca y Fe fueron

Tabla 16. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *L. pacífica* recolectada en Bahía Concepción

Estación	Orden de concentración de los elementos
Elementos mayores y traza	
3	Ca > Fe > K > Ba > Sr > Br > Ni > Zr > Cr > Zn > Sb > Co > Sc > U > Se > Hf > Cs > Th
4	Ca > Fe > Sr > Ba > Cr > Br > Ni > Zn > Co > Rb = Sc > U > Sb > Se > Ta > Cs > Th
Lantánidos	
3	Ce > La > Nd > Yb > Sm > Lu > Eu
4	Ce > La > Sm > Nd > Eu > Yb > Lu

los elementos mayores que predominaron, y entre los traza se encontró a Sr, Ba, Br y Ni, principalmente.

En los lantánidos Ce y La fueron los de mayor presencia en esta especie de macroalgas.

Colpomenia tuberculata

En la Figura 46 se presenta la variación espacial de la concentración de diferentes elementos traza que se obtuvieron en *C. tuberculata*. Solo se consideraron las estaciones 3, 5 y 7 que fue donde se encontró a esta especie. El contenido de Co, Se y U tuvieron un comportamiento similar, los valores altos se observaron en la estación 7 y los menores en la 3. La concentración de estos elementos osciló de 0.4 mg/kg a 3.5 mg/kg. Un resultado diferente se encontró con As y Br, debido que el contenido alto de ambos se registró en la estación 3 y disminuyó en las estaciones 5 y 7, esta diferencia fue más notoria con As (Figura 51a).

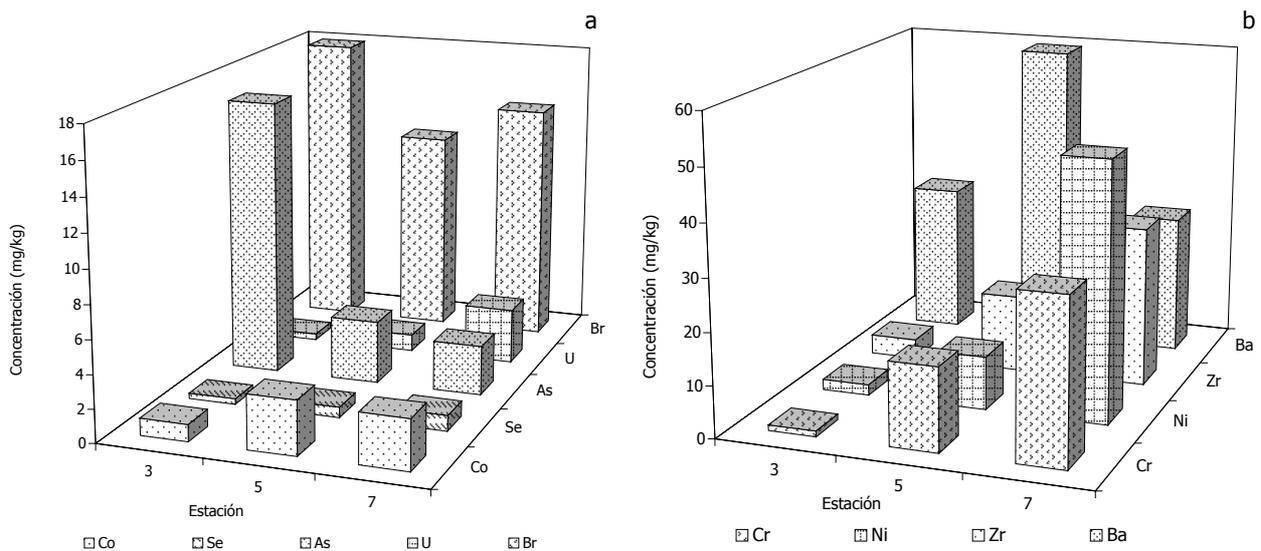


Figura 51. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *Colpomenia tuberculata* de Bahía Concepción. a) Co, Se, As, U, Br; b) Cr, Ni, Zr, Ba

Los elementos Cr, Ni y Zr presentaron valores bajos en la estación 3 y se incrementaron en las estaciones 5 y 7. Este comportamiento no se observó con Ba cuya concentración mas alta se registró en la estación 5.

La Tabla 17 muestra el orden de concentración de los elementos determinados en *Colpomenia*. Los elementos mayores con mayor predominancia en el alga fueron Ca, K y Fe, y entre los elementos traza Sr, Ba, Rb, Br y Zn, con algunas variaciones entre las estaciones. Con respecto a los lantánidos, algunos elementos no se incluyeron debido a la falta de datos. El elemento con mayor predominancia fue Nd, además de añadir Ce y La en algunos casos. En este grupo de elementos, la variabilidad en el orden de concentración fue menor con respecto a los otros elementos.

Tabla 17. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *C. tuberculata* por estación

Especie	Estación	Orden de los elementos
		Elementos mayores y traza
<i>C. tuberculata</i>	3	Ca> K> Fe> Sr> Ba> Rb> Br> As> Zr> Ni> cr> Co> U> Se> Sc> Hf> Cs
<i>C. tuberculata</i>	5	Ca> K> Fe> Sr> Ba> Rb> Cr> Zr> Br> Ni> As> Zn> Co> Sb> Sc> U> Ta> Se> Hf> Cs> Th
<i>C. tuberculata</i>	7	Ca> K> Fe> Sr> Ni> Cr> Zr> Ba> Zn> Br> Rb> U> Sc> Co> As> Se> Cs> Th> Hf
		Lantánidos
<i>C. tuberculata</i>	3	Nd> Ce> La> Yb> Tb> Lu> Sm> Eu
<i>C. tuberculata</i>	5	Nd> Ce> La> Tb> Yb> Sm> Eu> Lu
<i>C. tuberculata</i>	7	Nd> La> Ce> Sm> Yb> Tb> Eu> Lu

Dictyota dichotoma

Esta especie sólo se recolectó en dos estaciones de Bahía Concepción, 2 y 8. La primera estación se localizó en la boca, y la segunda, en la parte interna de la bahía. En la localidad 2 se detectaron los contenidos más altos de Se, As, Co, Ni y Zr. Para la estación 8 los elementos de mayor concentración en esta especie fueron Sb y Br (Figura 52a).

El orden de concentración de los elementos mayores, traza y de los lantánidos en *D. dichotoma* se indica en la Tabla 18. Los de mayor predominancia en esta especie fueron los elementos mayores como Ca, K y Fe; además de Sr entre los traza. Mientras, en los lantánidos Nd y Ce obtuvieron alto contenido.

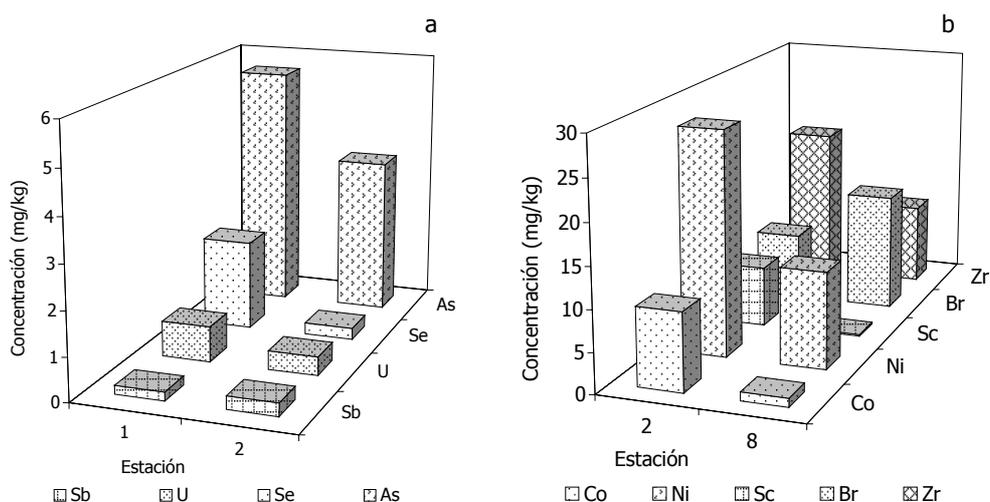


Figura 52. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *Dictyota dichotoma* de Bahía Concepción. a) Sb, U, Se, As; b) Co, Ni, Sc, Br, Zr

Tabla 18. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *D. dichotoma* recolectada en Bahía Concepción

Estación	Orden de concentración de los elementos
	Elementos mayores y traza
2	Ca > Fe > Sr > K > Cr > Ba > Ni > Zr > Co > Br > Sc > As > Hf > Se > Ta > U > Th > Cs > Sb
8	Ca > K > Sr > Fe > Rb > Ba > Br > Zn = Ni > Zr > As > Co > Cr = U > Sb > Se > Sc > Cs Th > Hf
	Lantánidos
2	Nd > Ce > Sm > Yb > La > Lu > Eu
8	Nd > Ce > La > Tb > Yb > Lu > Sm > Eu

Sargassum sinicola

S. sinicola fue la especie que mayor presencia tuvo en la bahía, se recolectó en la mayoría de las estaciones desde la 2, 5 - 9.

El comportamiento espacial de la concentración de Se y U en esta alga fue semejante, el menor contenido se registro en las estaciones 2, 5 y 6, mientras en la 7 se encontró el valor mas alto y descendió en la 8 y 9. El incremento en la estación 7 se observó en Se, Sb y U. En el caso de Co, la estación 6 fue donde se registró el valor mas bajo y el máximo se observó en la estación 8 (Figura 53a).

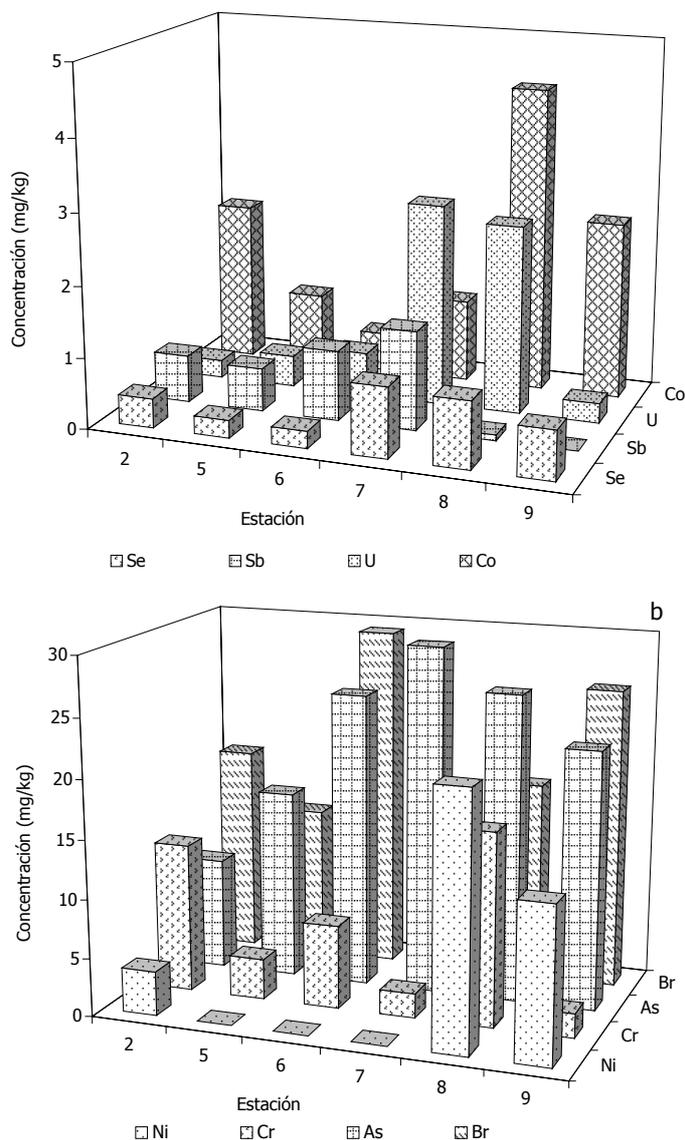


Figura 48. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *Sargassum sinicola* de Bahía Concepción. a) Se, Sb, U y Co; b) Ni, Cr, As y Br

Para Ni, la menor concentración se encontró en la estación 2, mientras el máximo en el punto 8. Otro elemento con valor alto en esta estación fue Cr, mientras con As fue el punto 7 y con Br la estación 6 (Figura 53b).

El orden de concentración de los elementos en *S. sinicola* se muestra en la Tabla 19. Presentaron un comportamiento similar los elementos mayores Ca, K y Fe, y los traza Sr, Ba, As y Br, los cuales tuvieron poca variabilidad espacial. Con respecto a los lantánidos, los elementos más abundantes fueron Ce, Nd y La, que también se indicaron para *C. sinuosa* y *C. tuberculata*.

La Tabla 20 muestra las especies de macroalgas que solo se colectaron en una sola estación en Bahía Concepción que impidió realizar un análisis de comparación con las macroalgas de otras

estaciones. *P. durvillaei* obtuvo mayor contenido de Cr, As y U en la estación 3, se observó que, mientras en la estación 1 fue *U. lactuca* la que presentó los valores mas altos de Co, Cr, Se y Sb.

Tabla 19. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos determinados en *S. sinicola* recolectada en Bahía Concepción

Estación	Orden de concentración de los elementos
Elementos mayores y traza	
2	Ca> K> Fe> Br> Rb> Cr> Zn> As> Ni> Co> Sc> Sb> Se> U = Cs> Hf> Th> Ta> Au
5	Ca> K> Fe> Sr> Ba> As> Br> Rb> Zr> Cr> Co> Sb> Sc> U> Cs = Se> Hf> Th> Ta
6	Ca> K> Fe> Sr> Ba> Br> Rb> As> Cr> Sb> U> Co> Se> Sc = Cs> Th> Hf
7	Ca> K> Fe> Sr> Ba> As> Br = Rb> U> Cr> Sb> Co> Se> Sc> Hf
8	Ca> K> Fe> Sr> As> Ni> Br> Cr> Zr> Ba> Zn> Co> U> Sc> Se = K> Rb> Ta> Th> Sb> Cs> Hf
9	Ca> K> Fe> Sr> Ba> Br> Rb> As> Ni> Co> Cr> Se> Sc> U> Ta> Hf = Th
Lantánidos	
2	Nd> Ce> La> Tb> Yb> Sm> Eu = Lu
5	Ce> La> Nd> Yb> Lu> Eu> Tb
6	Nd = Ce> La> Tb = Yb> Sm> Lu = Eu
7	Ce> La> Yb> Lu> Sm> Eu> Nd
8	Nd> Ce> La> Sm> Yb> Lu> Tb> Eu
9	Ce> Yb> Nd> La> Sm> Lu> Eu

Tabla 20. Concentración de elementos traza (mg/kg) de macroalgas de Bahía Concepción

Especie	Estación	Co	Cr	Ni	Zn	Se	As	Sb	U
<i>Colpomenia sinuosa</i>	3	7.8	49.2	-	20	1.2	3.4	-	0.2
<i>Padina durvillaei</i>	3	7.7	64.0	-	10	0.6	12.0	0.4	1.6
<i>Ulva lactuca</i>	1	4.0	11.3	-	-	1.4	-	0.6	1.5
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	1	0.3	2.8	11.5	-	0.4	-	0.1	8.0
<i>E. clathrata</i>	2	6.5	1.2	16.0	10	0.8	2.8	0.1	1.0

8. 1. 2. 2. Comparación de la concentración de elementos entre las especies de algas

Se realizó la comparación del intervalo de concentración y el valor promedio entre *Laurencia pacifica*, *Colpomenia tuberculata*, *Dictyota dichotoma* y *Sargassum sinicola* que fueron las especies observadas. La primera de estas perteneciente a la División Rhodophyta y las tres restantes a la Phaeophyta (Tabla 21).

A partir de los intervalos de concentración permitieron identificar a *L. pacifica* como la especie que obtuvo alto contenido de Fe, Ba, Sc, Co, Ni, Zn, Sb, U y Br, con respecto a las otras algas. En *D. dichotoma* destacó el intervalo de Ca, Se, Cr, Ta y Hf; y para *C. tuberculata*, fueron Rb y Zn. En cambio, para *S. sinicola* se detectaron los menores intervalos de concentración de Fe, Sc, Ni, Th, Hf, Ta. Sin

embargo, fue posible observar semejanza con los datos de *C. tuberculata* (Fe, Sc, Th, Hf), *D. dichotoma*

Tabla 21. Intervalo de concentración y concentración promedio de los elementos mayores y traza en diferentes especies de macroalgas marinas de Bahía Concepción

Elemento	<i>L. pacifica</i>	<i>C. tuberculata</i>	<i>D. dichotoma</i>	<i>S. sinicola</i>
Ca %	<u>4.6 - 6.5</u> 5.6	<u>2.7 - 5.3</u> 4	<u>3.0 - 16.5</u> 10	<u>2 - 8</u> 4
Fe %	<u>0.8 - 3.4</u> 2	<u>0.06 - 0.9</u> 0.5	<u>0.05 - 3.0</u> 1.5	<u>0.01 - 0.40</u> 0.2
Rb mg/kg	11	<u>4.4 - 40.0</u> 21	31	<u>0.9 - 28.0</u> 16
Cs mg/kg	<u>0.2 - 0.4</u> 0.3	<u>0.06 - 0.4</u> 0.2	<u>0.15 - 0.40</u> 0.3	<u>0.08 - 0.3</u> 0.2
Sr mg/kg	<u>110 - 1080</u> 595	<u>1070 - 1323</u> 1229	<u>670 - 1835</u> 1253	<u>1260 - 1865</u> 1540
Ba mg/kg	<u>265 - 270</u> 268	<u>27 - 60</u> 39	<u>23 - 91</u> 57	<u>11 - 120</u> 67
Sc mg/kg	<u>2 - 11</u> 7	<u>0.3 - 3.0</u> 1.6	<u>0.2 - 7.0</u> 4	<u>0.2 - 1.0</u> 0.6
Cr mg/kg	<u>3 - 94</u> 48	<u>1 - 32</u> 16	<u>0.5 - 116.0</u> 58	<u>2 - 16</u> 7
Co mg/kg	<u>3 - 12</u> 7	<u>1 - 3</u> 2.4	<u>1 - 10</u> 5	<u>0.6 - 4.0</u> 2
Ni mg/kg	<u>24 - 55</u> 40	<u>2 - 50</u> 21	<u>12 - 28</u> 20	<u>4 - 22</u> 13
Zn mg/kg	<u>3 - 20</u> 11	<u>4 - 20</u> 12	12	10
Se mg/kg	<u>0.5 - 1.0</u> 0.9	<u>0.3 - 1.0</u> 0.6	<u>0.3 - 2.0</u> 1	<u>0.2 - 1.0</u> 0.6
As mg/kg	N.D.	<u>3 - 17</u> 8	<u>4 - 6</u> 5	<u>10 - 30</u> 21
Sb mg/kg	<u>3.0 - 3.4</u> 3	3	<u>0.2 - 0.3</u> 0.25	<u>0.08 - 1.0</u> 0.7
Th mg/kg	<u>0.2 - 0.3</u> 0.25	<u>0.1 - 0.3</u> 0.2	<u>0.05 - 0.5</u> 0.3	<u>0.05 - 0.2</u> 0.1
U mg/kg	<u>2 - 6</u> 4	<u>0.4 - 3.0</u> 1.6	<u>0.4 - 0.8</u> 0.6	<u>0.3 - 3.0</u> 1.2
Br mg/kg	<u>87 - 90</u> 89	<u>12 - 18</u> 15	<u>8 - 15</u> 11.4	<u>13 - 29</u> 20
Hf mg/kg	<u>0.3 - 0.7</u> 0.5	<u>0.06 - 0.20</u> 0.1	<u>0.004 - 3.00</u> 1.5	<u>0.02 - 0.20</u> 0.09
Ta mg/kg	0.6	0.9	1.0	<u>0.04 - 0.30</u> 0.2
Zr mg/kg	13	<u>4 - 31</u> 17	<u>10 - 19</u> 15	<u>4 - 24</u> 14

(Ni) y *L. pacifica* (Th).

El menor intervalo de concentración de As y Br se encontró en *D. dichotoma*, Ca y Co fue en *C. tuberculata* y de Sr en *L. pacifica*.

Con respecto, al valor promedio se encontró que *L. pacifica* (Ca, Rb, Cr, Se, Th, Hf, Ta) y *D. dichotoma* (Fe, Ba, Co, Ni, Zn, Sb, U, Br) fueron las especies con mayor contenido (Tabla 21), como se describió anteriormente.

A partir de la concentración promedio de algunos elementos mayores (Ca, Fe) y traza (Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Ni, zn, Se, As, Sb) se obtuvo el coeficiente de correlación entre las

especies. Los resultados se indican en la Tabla 22, donde se observó que el coeficiente fue mayor a 0.99 entre las especies ($p < 0.05$), con excepción de *L. pacifica* cuyos valores fueron un poco menores.

Tabla 22. Coeficientes de correlación entre las especies de macroalgas recolectadas de Bahía Concepción

	<i>L. pacífica</i>	<i>C. tuberculata</i>	<i>S. sinicola</i>	<i>D. dichotoma</i>
<i>L. pacífica</i>	1			
<i>C. tuberculata</i>	0.92	1		
<i>S. sinicola</i>	0.92	0.99	1	
<i>D. dichotoma</i>	0.92	0.99	0.99	1

8. 1. 2. 1. Variación del valor normalizado de lantánidos

El contenido de lantánidos en todas especies de macroalgas se normalizaron con el valor de lutita de la corteza norteamericana para determinar el comportamiento entre las especies e identificar posibles cambios espaciales, y compararlas con los resultados en sedimentos de cada estación.

En las algas se encontraron tres patrones de comportamiento de lantánidos, identificados como: (i) agua de mar que ha sido caracterizado por McArthur y Walsh (1984) con una anomalía negativa de Ce (no en todos los casos), aumento en el valor normalizado de ETRP y con una forma hacia arriba convexa (*Sargassum sinicola*, estación 5). Para los otros dos patrones no se tiene referencia y solo se diferenciaron como (ii) incremento en Nd (*Dictyota dichotoma*, estación 2) e (iii) incremento en Tb (*S. sinicola*, estación 2). En la Figura 54a se muestra el comportamiento de los lantánidos en *Dictyota dichotoma* (estación 2) y *Sargassum sinicola* (estación 2 y 5).

La mayoría de las especies identificadas en Bahía Concepción presentaron el primer patrón denominado agua de mar, entre éstas se encontró a *L. pacífica*, *C. tuberculata*, *D. dichotoma*, *S. sinicola*, *E. intestinalis*, *E. clathrata* y *U. lactuca*, las cuales abarcaron la mayor parte de las estaciones de colecta con excepción de 4 y 6. También fue posible observar diferencias en el comportamiento de los lantánidos en la misma especie, tal fue el caso de *C. tuberculata* y *S. sinicola*, que presentaron el patrón iii, debido al incremento en el valor de Tb.

En cambio en los sedimentos superficiales los valores normalizados de los lantánidos permitieron señalar 4 tipos de comportamiento general en Bahía Concepción, denominados: (i) lutita o material terrígeno, (ii) agua de mar, (iii) anomalía de Eu negativa y (iv) anomalía de Eu positiva (Figura 54). Destacando principalmente para la bahía los sedimentos con anomalía negativa y positiva de Eu, lo cual

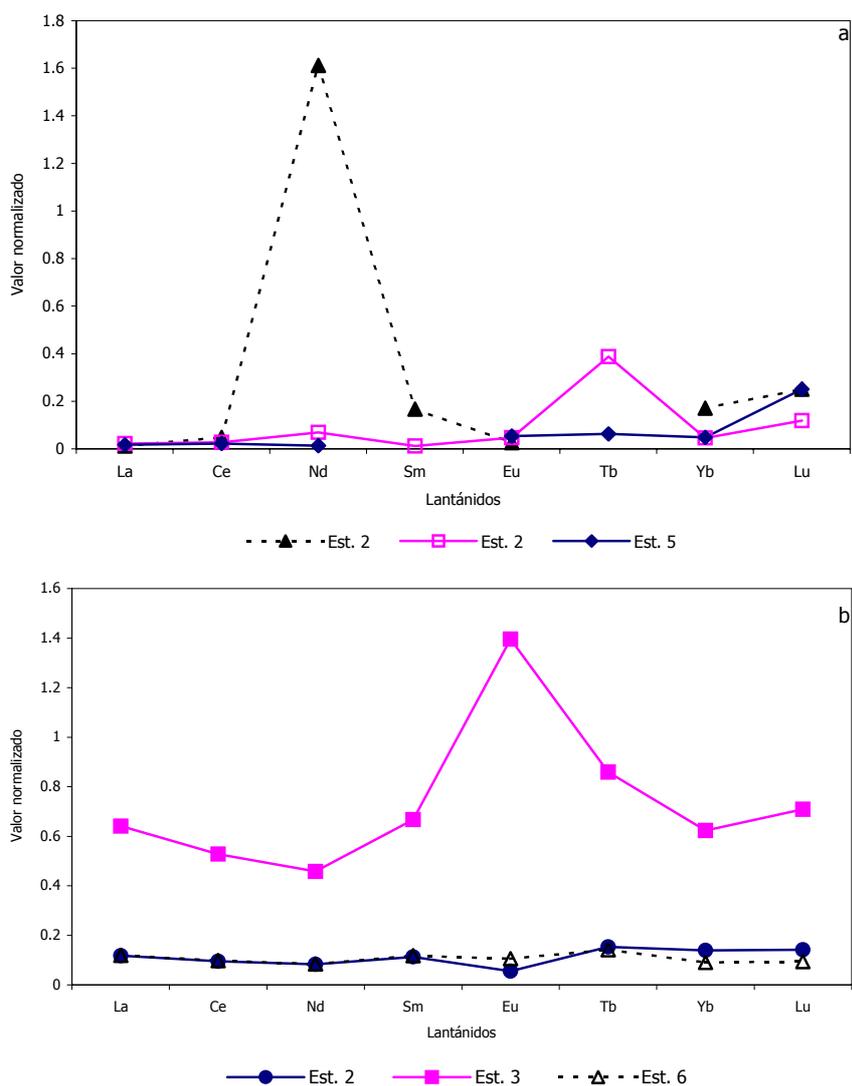


Figura 54. Variación del valor normalizado de lantánidos en (a) dos especies de algas (*D. dichotoma* en la estación 2, y en *S. sinicola* de las estaciones 2 y 5) y en (b) sedimentos superficiales de Bahía Concepción.

indica una disminución en concentración y aumento, respectivamente, asociado a la formación de las rocas bajo condiciones oxidoreducción. En el sedimento adyacente a las estaciones de colecta se observó la anomalía negativa de Eu (estación 2), anomalía positiva de Eu (estación 1, 3, 4, 7, 8, 9) y lutita (estaciones 5 y 6) (Figura 54b). Tomando en cuenta, las diferencias observadas en el patrón normalizado de los lantánidos, tanto en algas como en sedimentos, se consideró no existe una relación directa.

8. 2. Complejo lagunar Magdalena-Almejas

8. 2. 1. Composición de los sedimentos superficiales

8. 2. 1. 1. Granulometría

Se analizaron 87 muestras por el método de tamices, los resultados de la media, desviación estándar y el sesgo de las muestras se presentan en la Tabla 22. Los datos de la media oscilaron de $X_{\phi} = -0.33$ a $X_{\phi} = 3.26$, e indican que los sedimentos que se encuentran en el interior del complejo lagunar varían de arena muy gruesa a arena muy fina. La Figura 55 representa la distribución espacial del tamaño promedio del grano de los sedimentos del complejo lagunar. La zona de canales y el interior de Bahía Magdalena fueron caracterizadas por la presencia de arena fina, así como en Bahía Almejas donde destacó la presencia de arenas muy finas.

Tabla 22. Parámetros texturales de los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Estación	Media	Desviación estándar	Sesgo	Estación	Media	Desviación estándar	Sesgo
2	2.23/AM	1.11/PS	-2.82/S	60	2.74/AM	1.13/PS	-3.32/S
4	2.19/AM	0.97/MBS	-3.20/S	61	2.66/AM	0.94/MS	-3.70/S
5	3.18/AM	0.70/MS	-2.53/S	63	2.69/AM	0.59/MBS	-2.70/S
7	0.23/AG	1.75/PS	-0.12/S	65	2.90/AM	0.51/MBS	-1.67/S
8	3.26/AM	0.74/MS	-3.69/S	66	2.68/AM	0.52/MBS	-1.51/S
10	2.45/AM	0.34/BS	-0.12/S	67	2.61/AM	1.12/PS	-3.07/S
11	2.80/AM	0.37/BS	-0.65/S	68	2.76/AM	0.63/MBS	-1.67/S
13	2.14/AM	0.63/MBS	-3.70/S	69	2.62/AM	0.49/BS	-1.00/S
15	3.00/AM	0.43/BS	-1.24/S	70	1.06/AM	1.66/PS	-0.90/S
16	2.92/AM	0.63/MBS	-2.09/S	71	2.70/AM	0.49/BS	-2.28/S
20	-0.33/AMG	1.94/PS	0.56/FSF	74	2.71/AM	0.36/BS	-2.91/S
21	1.89/AM	1.04/PS	-1.93/S	77	2.73/AM	0.71/MS	-3.88/S
22	2.86/AM	0.57/MBS	-3.72/S	78	3.12/AM	0.47/BS	-3.32/S
25	3.06/AM	0.46/BS	-1.31/S	79	2.69/AM	1.53/PS	-2.35/S
26	3.00/AM	0.50/MBS	-3.04/S	80	2.20/AM	0.89/MS	-1.67/S
28	2.62/AM	0.70/MS	-1.49/S	81	2.89/AM	0.59/MBS	-2.35/S
29	2.95/AM	0.50/MBS	-3.13/S	82	2.87/AM	0.78/MS	4.21/FSF
30	3.07/AM	0.52/MBS	-2.73/S	83	2.95/AM	0.65/MBS	-3.36/S
31	2.83/AM	0.63/MBS	-2.17/S	84	2.99/AM	0.68/MBS	-3.35/S
33	2.85/AM	0.40/BS	-1.96/S	85	2.62/AM	0.70/MS	-3.07/S
34	0.51/AG	1.79/PS	-0.31/S	86	2.59/AM	0.57/MBS	-2.75/S
35	0.31/AG	1.97/PS	-0.00/S	87	2.93/AM	0.60/MBS	-2.85/S
36	3.05/AM	0.37/BS	-1.30/S	88	2.85/AM	0.55/MBS	-3.49/S
38	3.08/AM	0.40/BS	-1.14/S	89	3.03/AM	0.77/MS	-2.63/S
39	2.88/AM	0.46/BS	-1.63/S	90	3.03/AM	0.62/MBS	-2.49/S
40	2.78/AM	0.62/MBS	-2.82/S	91	2.36/AM	0.72/MS	-2.82/S
41	2.94/AM	0.47/BS	-2.35/S	92	1.58/AM	1.06/PS	-2.11/S
42	2.60/AM	0.54/MBS	-2.34/S	93	1.64/AM	1.56/PS	-1.46/S
43	2.89/AM	0.44/BS	-0.42/S	94	2.40/AM	0.56/MBS	-2.47/S

AG. Arena gruesa, AMG. Arena moderadamente gruesa, AM. Arena media

MBS. Muy bien seleccionada, BS. Bien seleccionada, MS. Moderadamente seleccionada, PS. Pobremente seleccionada

SF. Sesgado a los finos, FSF. Fuertemente sesgado a los finos, S. simétrica

Tabla 22 (continuación). Parámetros texturales de los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Estación	Media	Desviación estándar	Sesgo	Estación	Media	Desviación estándar	Sesgo
44	2.69/AM	0.53/MBS	-0.65/S	95	2.68/AM	0.63/MBS	-2.53/S
45	2.99/AM	0.46/BS	-1.40/S	96	3.26/AM	0.79/MS	-2.45/S
46	2.77/AM	0.42/BS	-1.76/S	97	2.81/AM	0.78/MS	-2.41/S
47	2.94/AM	0.47/BS	-3.02/S	99	2.67/AM	0.59/MBS	-2.38/S
48	1.32/AM	1.52/PS	-1.07/S	100	3.26/AM	0.74/MS	-1.59/S
49	2.45/AM	0.79/MS	-2.03/S	101	2.57/AM	1.32/PS	-1.02/S
50	2.79/AM	0.40/BS	-0.98/S	102	2.22/AM	1.69/PS	-0.92/S
51	2.84/AM	0.46/BS	-0.93/S	103	0.06/AG	1.75/PS	-0.00/S
52	2.87/AM	0.50/MBS	-1.04/S	104	0.21/AG	1.90/PS	0.10/SF
53	2.99/AM	0.50/MBS	-1.39/S	105	2.06/AM	1.73/PS	-1.40/S
55	3.11/AM	0.46/BS	-3.98/S	106	3.04/AM	0.47/BS	-1.88/S
56	2.74/AM	0.42/BS	-1.49/S	107	2.79/AM	0.53/MBS	-3.37/S
57	2.25/AM	0.80/MS	-3.21/S	108	2.67/AM	0.52/MBS	-3.07/S
58	0.79/AG	1.42/PS	-1.04/S	110	0.76/AG	1.49/PS	-0.82/S
59	2.42/AM	0.86/MS	-3.08/S				

AG. Arena gruesa, AMG. Arena moderadamente gruesa, AM. Arena media
MBS. Muy bien seleccionada, BS. Bien seleccionada, MS. Moderadamente seleccionada, PS. Pobremente seleccionada
SF. Sesgado a los finos, FSF. Fuertemente sesgado a los finos, S. simétrica

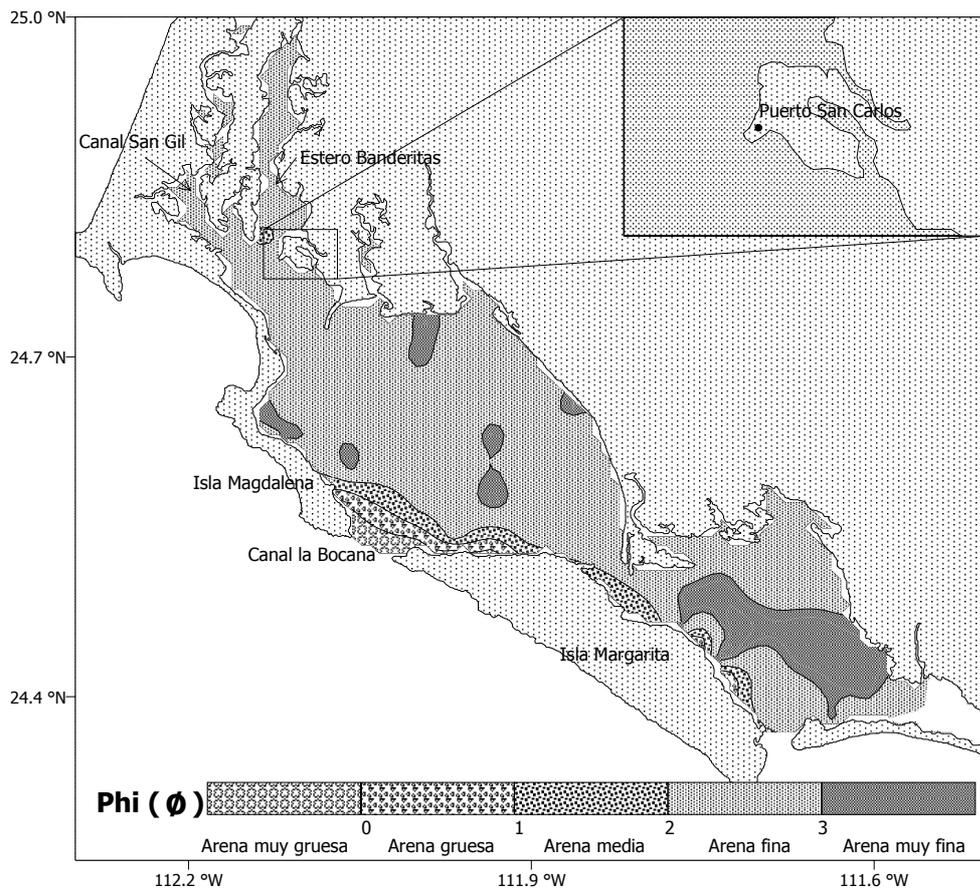


Figura 55. Distribución espacial del tamaño de grano de los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas

En el Canal la Bocana y adyacente a las islas Magdalena y Margarita se encontró la presencia de arena muy gruesa a arena media, la gruesa se observó principalmente en el canal

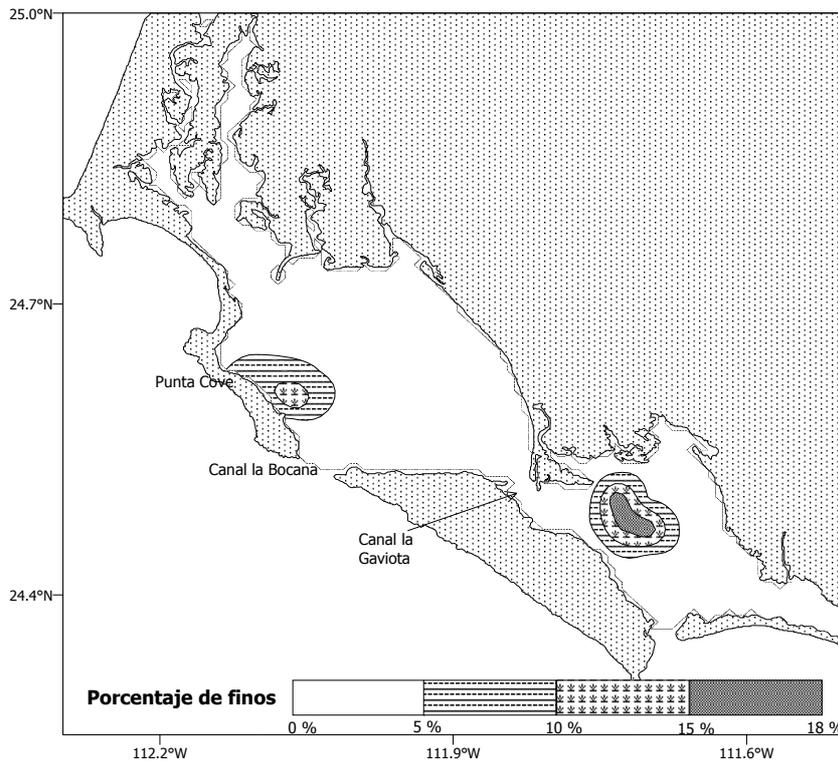


Figura 56. Zonas de acumulación de las partículas finas ($> 4\Phi$) de los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas

debido que comprende la parte mas dinámica, por la comunicación que existe entre el complejo lagunar con el océano adyacente. Cerca de las islas se observó arena muy gruesa y arena media que se derivan del intemperismo de las rocas metamórficas que las caracterizan y a la presencia de diversos fragmentos calcáreos. La

Figura 56 muestra que los

sedimentos con el mayor porcentaje de finos se ubicaron en el interior de Bahía Almejas y frente a Isla Magdalena, ambos casos coincide con la presencia de pequeñas depresiones donde la profundidad oscila de 20 a 30 m, respectivamente, aspecto que favorece a la depositación debido a la disminución en la velocidad del flujo.

El valor de la desviación estándar (σ_ϕ) varió de 0.36 (arena bien seleccionada) a 1.94 (arena pobremente seleccionada). En las arenas muy finas y finas fue donde se observó una mejor selección de las partículas, mientras en los gruesos la desviación señala que son pobremente seleccionadas, lo cual está asociado a la energía que se presenta en el ambiente. De manera particular, esto muestra que las zonas del canal y adyacente a las islas están expuestas a alta energía que impide el deposito de partículas finas. Por otro lado, los datos del sesgo (S_ϕ) fueron principalmente negativos y oscilaron de -3.98 (fuertemente sesgada a los gruesos) a 0.56 (fuertemente sesgada a los finos). Sin embargo, por el predominio de los datos negativos, se reconoce que en el complejo las arenas pueden estar fuertemente

sesgadas a los finos (en el interior del complejo lagunar) como sesgada a los gruesos (zona de canales e islas) (Figura 55).

8. 2. 1. 2. Concentración de los componentes mayores, elementos mayores y traza en los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas

En la Tabla 23 se indica la concentración promedio, desviación estándar y el intervalo de concentración de los componentes mayores, elementos mayores y traza determinados en los sedimentos superficiales y material continental de la cuenca de drenaje del complejo lagunar Magdalena-Almejas. Se incluyeron también los datos de Taylor (1964) para la corteza continental como referencia.

Tomando en cuenta los datos en el sedimento, los carbonatos fueron el componente con la mayor concentración en este complejo lagunar, cuyo intervalo osciló de 0.2% a 64%. El Ca, que es un elemento asociado al este componente, también obtuvo valores altos (1% - 21%) con respecto al contenido de Fe (0.4 - 4.0%) y K (0.1 - 9.0%).

A partir del valor promedio de los elementos, se encontró que Se, Cd, As, Sb, U y Sr, sobrepasaron en 40, 10, 6, 5, 1.5 y 1.4 los datos de Taylor (1964) para la corteza continental. Además fue posible identificar algunos cuyo valor máximo registrado fue más alto que el dato de referencia, en este caso fueron Sr, Ba, Cd, Pb, Ni, Cr, Se, As, Sb, Th, U, Br, Hf y Zr.

En el material terrígeno, los elementos cuyo valor promedio sobrepasaron al de referencia fueron Se, Ta, Br, U, Sb, As, Ni, Hf y Sr. El incremento que se estimó con respecto a los datos de Taylor (1964) fue de 32, 11.5, 6, 4, 3.5, 2.8, 2.8, 1.5 y 1.1, respectivamente. De esta manera, se identificó que los elementos con valor alto, tanto en los sedimentos como en el material terrígeno fueron Se, As, Sb, U y Sr, el comportamiento en los sedimentos y la estimación del incremento se describirán más adelante.

El orden de los elementos mayores y traza por su concentración promedio en los sedimentos superficiales fue: Ca > K > Fe > Sr > Ba > Zr > Cr > Rb > Ni > As > Sc > Zn > Co > Pb > U > Cu > Hf > Th > Br > Se > Cd > Sb > Cs > Ta. La ordenación realizada permite identificar algunos elementos asociados a la presencia de carbonatos, tal es el caso de Ca y Sr, y otros al aporte terrígeno tales como Fe, Sc, U, Cr, Zr y otros.

Tabla 23. Concentración promedio (mg/kg), desviación estándar e intervalo de concentración de los componentes mayores (%) y elementos traza determinados en los sedimentos superficiales del complejo Magdalena-Almejas

Elemento	Sedimento superficial (con carbonatos)		Material continental		Corteza continental ¹
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio	
Carbonatos (%)	0.2 - 64.0	10 ± 15	-	-	-
C. orgánico (%)	0.4 - 4.0	0.3 ± 0.4	-	-	-
K (%)	0.1 - 9.0	1.3 ± 2.0	0.4 - 45	6.4 ± 9.3	2.09
Ca (%)	1 - 21	4.0 ± 4.0	1 - 17	5 ± 4	4.2
Fe (%)	0.4 - 4.0	1.2 ± 0.7	0.1 - 12.0	2.2 ± 2.5	5.6
Rb (mg/kg)	2 - 75	28 ± 15	0.08 - 112.7	30.4 ± 31.4	90
Cs (mg/kg)	0.1 - 2.0	0.8 ± 0.4	0.4 - 9.0	2.4 ± 2.0	3
Sr (mg/kg)	190 - 1355	523 ± 246	37 - 2380	431 ± 436	375
Ba (mg/kg)	42 - 875	488 ± 165	2 - 1125	410 ± 343	425
Sc (mg/kg)	3 - 22	8 ± 4	0.4 - 35	10 ± 8	22
Cr (mg/kg)	14 - 1233	74 ± 145	0.6 - 272	52 ± 54	100
Co (mg/kg)	1 - 20	5 ± 4	0.7 - 37	9 ± 9	25
Cu (mg/kg)	0.1 - 33.0	4 ± 4	-	-	55
Zn (mg/kg)	0.1 - 53.0	7 ± 10	1 - 80	27 ± 27	70
Cd (mg/kg)	0.1 - 5.0	2 ± 1	-	-	0.2
Pb (mg/kg)	0.1 - 37.0	4 ± 7	-	-	12.5
Ni (mg/kg)	1 - 119	14 ± 17	10 - 920	211 ± 232	75
Se (mg/kg)	0.3 - 6.0	2 ± 1	0.1 - 11.0	1.6 ± 2.5	0.05
As (mg/kg)	1 - 34	11 ± 7	0.1 - 23	5 ± 5	1.8
Sb (mg/kg)	0.06 - 11.0	1 ± 1	0.1 - 3.0	0.7 ± 0.7	0.2
Th (mg/kg)	0.3 - 44.0	3 ± 4	0.5 - 32.0	5 ± 6	9.6
U (mg/kg)	0.7 - 13.0	4 ± 2	1 - 127	11 ± 23	2.7
Br (mg/kg)	0.1 - 43.0	2 ± 5	0.2 - 218.0	15 ± 39	2.5
Hf (mg/kg)	0.3 - 16.0	3 ± 3	0.1 - 57.0	5 ± 11	3.0
Ta (mg/kg)	0.03 - 2.0	0.4 ± 0.4	0.2 - 155.0	23 ± 49	2.0
Zr (mg/kg)	20 - 800	160 ± 127	12 - 1200	147 ± 226	165

8. 2. 1. 3. Distribución espacial de la concentración de los componentes mayores en los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Carbonatos

El intervalo de concentración de los carbonatos osciló de 0.2 a 64% y el valor promedio fue 10% en los sedimentos. La distribución espacial muestra que el contenido de los carbonatos en la zona del canal la Bocana y adyacente a las islas Magdalena y Margarita presentó un valor mayor a 15% debido a

los abundantes fragmentos calcáreos derivados de la extracción de los bancos de almejas (Figura 57). Otra área fue adyacente al Puerto San Carlos en donde predominaron valores que oscilaron de 15% a 30%. En los sedimentos de la zona de canales y en el interior de ambas lagunas el contenido de carbonatos fue menor a 15% debido a la predominancia de abundante material terrígeno característico de la cuenca de drenaje.

Carbono orgánico

La concentración promedio de este componente en los sedimentos del complejo fue 0.3% (0.4% - 4.0%). La mayor parte de los sedimentos del complejo lagunar obtuvieron un contenido menor a 1% de carbono orgánico, y solo en una zona pequeña localizada frente al arroyo La Guanera de la Isla Margarita se obtuvo en los sedimentos un valor por arriba de 2% (Figura 58). La presencia del carbono orgánico sobre todo en esa parte del complejo lagunar probablemente se asocia a la predominancia en la Bahía Almejas de las arenas muy finas cuya capacidad de adsorción es alta, es una zona poco dinámica y en ese punto existe una pequeña depresión que puede estar contribuyendo a la depositación de las partículas y de este componente.

8. 2. 1. 4. Distribución espacial de la concentración de elementos mayores (Fe, Ca y K) en los sedimentos superficiales del complejo lagunar

La concentración promedio de Fe y K en los sedimentos del complejo lagunar, fue menor al valor registrado por Taylor (1964) para la corteza continental, solo el contenido de Ca fue similar con 4% al de referencia (Tabla 20). En el complejo lagunar, los sedimentos cuya concentración de Fe fue mayor a 3% se localizaron principalmente adyacentes a la Isla Margarita (Figura 59). Los sedimentos con un intervalo de 1% a 2% de Fe se observaron de Puerto Magdalena (Isla Magdalena) al interior de la Bahía Almejas.

Anteriormente se indico para el Ca la semejanza con el valor de referencia, sin embargo considerando el intervalo de concentración (1% a 21%) en el complejo, fue posible encontrar zonas con mayor contenido. La distribución espacial de Ca, muestra que valores por arriba de 5% se encontraron en los sedimentos adyacentes a las islas, que abarcaron de Punta Cove (I. Magdalena) al interior de la Bahía

Almejas. La mayor presencia de Ca se observó en el material adyacente a la Isla Margarita donde el contenido fue mayor a 10% considerando la presencia de suelos lacustres con abundantes fragmentos de conchas que pueden estar contribuyendo con la presencia de este elemento (Figura 60). El K es otro elemento cuyos datos se comportan como Ca debido que en el intervalo de concentración, el valor máximo sobrepasa al de referencia en más de 4 veces. La presencia notoria del K se observó en los sedimentos del interior de la Bahía Almejas donde la concentración fue mayor a 4% y adyacente al arroyo La Presa el nivel se encontró por arriba de 6% (Figura 61). En los restantes sedimentos el contenido de K fue menor de 2%.

8. 2. 1. 5. Distribución espacial de la concentración de Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Cd, Pb, Se, As, Sb, Th, U, Br, Hf, Ta, Zr en los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Las distribuciones espaciales de la concentración de los elementos traza en los sedimentos, permitió diferenciar cuatro grupos de elementos, a través de las observaciones realizadas y, tomando en cuenta, los lugares con la mayor concentración de cada elemento. Las zonas importantes para la acumulación de los elementos fueron: i) interior de ambas lagunas Magdalena y Almejas, ii) adyacente a la desembocadura del arroyo La Presa, iii) línea de costa de Bahía Magdalena, iv) junto a las islas Margarita y Magdalena y iv) únicamente en la Isla Margarita. Solo se presentaran las distribuciones espaciales de algunos elementos como ejemplos, probablemente algunas similitudes se encontrarán entre algunos puntos de concentración de los elementos, sin embargo particularidades llegan a diferenciarlos y estas serán descritas a continuación. La distribución espacial de Sb y Th fueron la excepción debido que su comportamiento en los sedimentos del complejo fue diferente al resto de los elementos, por lo cual la distribución de ambos se describe al final.

Distribución espacial de Rb, Cs, Ba, Sc, Se, As, U, Ta y Zr. Los datos registrados de Rb y Cs no sobrepasaron el valor promedio de Taylor (1964) para la corteza continental de 90 mg/kg y 3 mg/kg, respectivamente. La distribución espacial de Rb muestra que los sedimentos con mas de 40 mg/kg se encontraron en el interior de Almejas, adyacente a la desembocadura del arroyo La Presa, el cual probablemente contribuye con el aporte de material durante la presencia de fenómenos meteorológicos. La concentración de Rb con mayor predominancia en el complejo osciló de 20 mg/kg a 40 mg/kg y abarcó la zona de canales y el interior de ambas lagunas con excepción de algunas zonas cuyo valor fue menor. En el caso de Cs, los sedimentos con un contenido mayor a 1 mg/kg se encontraron adyacentes a Punta Delgada (I. Magdalena), alrededor de la Isla Margarita y en el interior de la Bahía Almejas contiguo al arroyo La Presa. Al parecer este elemento no guarda relación con el tamaño de grano del sedimento de fondo y con el contenido de carbonatos o de carbono orgánico.

Para el Sr, el valor promedio que se obtuvo en los sedimentos del complejo lagunar (523 mg/kg) es mayor al valor de Taylor (1964) para la corteza (375 mg/kg), esta diferencia es de 1.4 veces y puede

incrementarse hasta 4 veces considerando el valor máximo del intervalo de concentración (Tabla 23). Los puntos principales de concentración del Sr se observaron en el Canal la Bocana y adyacente a la Isla Margarita donde los sedimentos obtuvieron mas de 1000 mg/kg. En otras zonas cercanas a las islas, en el interior de la Bahía Almejas y en Puerto San Carlos, los sedimentos presentaron valores que oscilaron de 500 mg/kg a 1000 mg/kg de Sr. Con respecto al Ba, la concentración promedio obtenida fue 488 mg/kg y es semejante al valor de referencia en la corteza continental de 425 mg/kg, sin embargo considerando el intervalo (42 mg/kg a 875 mg/kg) fue posible observar un incremento. Los sedimentos del interior de la Bahía Almejas son un claro ejemplo, considerando los valores encontrados por arriba de 700 mg/kg. Contenidos oscilando de 300 mg/kg a 700 mg/kg Ba se observaron en los sedimentos adyacentes a Punta Isham (Bahía Almejas), de Puerto Magdalena (Isla Magdalena) al Estero el Chisquete y en la línea de costa de la Bahía Magdalena. Para el Se, este fue otro elemento cuya concentración promedio de 2 mg/kg sobrepasó 40 veces el valor de referencia de Taylor (1964) para la corteza continental (Tabla 17). Los sedimentos que presentaron un valor alto con respecto al promedio se encontraron frente a Punta Belcher (Isla Magdalena) y en la línea de costa de la Bahía Almejas ($Se > 4$ mg/kg). Mientras en Punta Cisne, en el interior de ambas lagunas y en la zona de canales el contenido osciló de 2 mg/kg a 4 mg/kg (Figura 62). En el material terrígeno valores semejantes se encontraron en la Isla Creciente y en Punta Picketson, quizás por ser zonas de acumulación del material que llega a descargar el arroyo La Presa. La presencia de Se en los sedimentos del complejo es notoria y considerando su distribución, probablemente el aporte continental es una fuente importante para su presencia así como para el resto de los elementos.

La concentración promedio de As en los sedimentos del complejo lagunar fue 11 mg/kg con un intervalo de 1 mg/kg a 34 mg/kg. La diferencia del As obtenido con respecto al valor de referencia fue de 6 veces, considerando el dato de 1.8 mg/kg (Taylor, 1964). Las concentraciones por arriba del valor promedio se encontraron principalmente en los sedimentos adyacentes al Estero Banderitas y Puerto San Carlos donde el contenido fue mayor a 20 mg/kg (Figura 63). Sin embargo, el intervalo de 10 mg/kg a 20 mg/kg fue el de mayor presencia entre los sedimentos contiguos a la línea de costa de ambas lagunas. En el material terrígeno los contenidos fueron menores al promedio (incremento de 6 veces) con excepción

del obtenido en la planicie de Magdalena y cerca del canal Rehusa en la Isla Margarita donde el contenido osciló de 10 mg/kg a 20 mg/kg.

En el caso de U la diferencia del valor promedio (4 mg/kg) con respecto a la corteza continental (Tabla 23) fue casi de 2 veces, sin embargo el incremento puede ser mayor considerando el valor máximo del intervalo de concentración (13 mg/kg). La distribución espacial de U muestra que la mayor parte de los sedimentos obtuvieron un contenido por debajo de 5 mg/kg, con excepción de los localizados del Canal San Carlos (canales) a Punta Delgada (I. Magdalena), aledaño a la línea de costa de ambas lagunas y en los canales de la Bocana y la Gaviota con una concentración mayor a 5 mg/kg.

Para el Hf la diferencia con respecto a los datos de la corteza se presenta si se considera el valor máximo del intervalo de concentración (16 mg/kg) que llegó a ser 5 veces mayor con respecto a 3 mg/kg que Taylor (1964) reporta para la corteza continental. Los sedimentos de la mayor parte del complejo presentaron menos de 4 mg/kg, destacando los adyacentes a Puerto San Carlos y la línea de costa de la Bahía Magdalena donde Hf osciló de 4 mg/kg a 12 mg/kg. Algunas zonas en el interior de Almejas obtuvieron de 4 a 8 mg/kg sobretodo los sedimentos adyacentes a la Isla Margarita y en la parte interna de Almejas (cerca del Arroyo La Presa).

Las concentraciones promedio de Ta y Zr no sobrepasaron el valor de la corteza, los datos registrados en los sedimentos fueron 0.4 mg/kg y 160 mg/kg respectivamente. Sin embargo, el valor máximo registrado de Zr puede diferir en casi 5 veces con respecto al dato de Taylor (1964). La distribución del contenido de Ta muestra que en el interior de la Bahía Almejas, sobre todo en la porción central, los sedimentos obtuvieron más de 1 mg/kg, mientras los valores que oscilaron de 0.5 a 1 mg/kg abarcaron en interior de la Bahía Almejas, los sedimentos cercanos a la línea de costa de la Bahía Magdalena, en el Canal San Gil y adyacente a Puerto San Carlos. Con respecto a la distribución del Zr pocos fueron los sedimentos que obtuvieron un valor por arriba del valor promedio (160 mg/kg) y estos se encontraron principalmente en el interior de la Bahía Magdalena, adyacentes a Puerto San Carlos, de la boca del Estero San Buto a la línea de costa de la Bahía Magdalena donde los valores oscilaron de 200 mg/kg a 400 mg/kg.

De manera general, estos elementos se caracterizaron por presentar puntos de concentración en los sedimentos de ambas lagunas, considerándolos como los de mayor dispersión en el complejo lagunar. A diferencia de otros elementos, el contenido promedio y el valor máximo de la mayoría de estos, llegaron a sobrepasar en varios ordenes de magnitud el valor de referencia de la corteza continental señalando a este ambiente como propicio para la acumulación de elementos cuyas fuentes son diversas.

La distribución espacial de Sb mostró algunas particularidades que la diferencian del resto de los elementos. La concentración promedio estimada de Sb fue 1 mg/kg y tomando en cuenta el valor de referencia para la corteza (0.2 mg/kg), se estimó un incremento de 5 veces para los sedimentos del complejo. La concentración predominante en los sedimentos del complejo fue menor de 3 mg/kg y solo en Punta Belcher (I. Magdalena) el valor registrado de Sb sobrepasó los 6 mg/kg (Figura 64). En el material terrígeno la mayoría de los puntos obtuvieron un contenido menor a 3 mg/kg, con excepción de la Laguna Tortugas (interior de Bahía Almejas) donde se estima a Sb por arriba de 3 mg/kg. De tal manera, que Bahía Magdalena se identificó como la principal zona de concentración, sobretodo de Sb.

En el caso de K, la zona principal de acumulación se observó en los sedimentos del interior de Bahía Almejas, las características particulares fueron descritas anteriormente.

Carbonatos, Fe, Ca, Sc, Co, Zn y Cu. La distribución espacial de la concentración de carbonatos, Fe y Ca fueron anteriormente descritas, y en los tres casos los puntos principales de acumulación se observaron adyacentes a las islas Margarita y Magdalena y en el Canal la Bocana. El valor promedio de 8 mg/kg para Sc fue menor al valor reportado por Taylor (1964) para la corteza continental (22 mg/kg). La distribución espacial fue similar a los anteriores elementos, cuyo punto principal de acumulación ocurrió adyacente a la Isla Margarita con más de 15 mg/kg y con menor contenido en los sedimentos de Isla Magdalena y en el interior de ambas lagunas (5 mg/kg a 10 mg/kg) (Figura 65). En el material terrígeno de las islas Creciente y Margarita obtuvieron valores mayores a 1 mg/kg, así como en la planicie de Bahía Magdalena; probablemente resultado de la acumulación de material acarreado de las de las formaciones geológicas adyacentes (San Gregorio, San Isidro y Comondú) y de procedencia marina.

Para el Co, los puntos importantes de concentración ocurrieron adyacentes a las islas y en pequeñas zonas del interior de ambas lagunas, pero las mayores concentración se observaron adyacentes a la Isla Margarita con más de 10 mg/kg y en la Isla Magdalena oscilando de 5 mg/kg a 10 mg/kg, mientras el resto de los sedimentos obtuvieron menos de 5 mg/kg. La concentración promedio de Zn en los sedimentos del complejo fue menor a 70 mg/kg, que es el valor de referencia. Los sedimentos con el mayor contenido de este elemento se observaron adyacentes a la Isla Margarita con más de 30 mg/kg y con menor contenido en los sedimentos aledaños a ambas islas (15 mg/kg a 30 mg/kg). En la I. Margarita una zona pequeña destaco y se localizo frente al arroyo San Pedro, probablemente por la influencia del material de las rocas metamórficas (Figura 66). Valores de Zn por arriba de 30 mg/kg se encontraron en el material de la Isla Creciente y en la planicie de Bahía Magdalena.

A diferencia de los anteriores elementos, la distribución de Cu muestra que los sedimentos con la mayor concentración se encontraron cerca de la Isla Magdalena con más de 20 mg/kg, y valores oscilando de 10 mg/kg a 20 mg/kg ocurrieron en pequeñas zonas de ambas islas. No se encontró diferencia entre la concentración promedio obtenida con la registrada en la corteza continental (Figura 67).

La característica que diferenció a este grupo de elementos es su acumulación únicamente en los sedimentos adyacentes a las islas Margarita y Magdalena. Tal fue el caso de carbonatos, Fe, Ca, Sc, Co, Zn y Cu. Los datos registrados de estos elementos no sobrepasaron los datos de referencia de Taylor (1964) para la corteza continental (Tabla 23).

Cromo, Ni, Cd, Pb y Br. La presencia de Cr fue notoria en los sedimentos cerca del Arroyo San Pedro de la Isla Margarita, en donde el contenido fue mayor de 200 mg/kg. Valores por debajo de los 200 mg/kg de Cr se observaron en la zona de canales e interior de ambas lagunas. Similar resultado se obtuvo para Ni debido que sedimentos cerca del Arroyo San Pedro presentaron más de 90 mg/kg y con un contenido oscilando de 60 mg/kg a 90 mg/kg los sedimentos del Canal la Bocana hasta el A. San Pedro (Isla Margarita). El comportamiento de Cd en los sedimentos fue un poco diferente con respecto a los otros elementos debido a su presencia en los canales la Bocana y la Gaviota, así como en el interior de

Bahía Almejas. El punto principal de concentración del Cd se observó frente a Puerto Cortés y a los arroyos La Guanera y San Pedro de la Isla Margarita donde el contenido fue mayor a 3 mg/kg, y otro punto fue en el Canal la Bocana (Figura 68). Los sedimentos adyacentes a estas localidades presentaron de 1 mg/kg a 3 mg/kg.

Con respecto al Pb los valores en los sedimentos adyacentes a la Isla Margarita fueron mayores de 10 mg/kg destacando aquellos localizados frente a los arroyos La Guanera y San Pedro donde el contenido sobrepasó los 30 mg/kg (Figura 69). En el caso de Br, los puntos importantes de concentración se encontraron adyacentes a los arroyos de la Isla Margarita donde el nivel fue mayor de 10 mg/kg, alcanzando valores por arriba de 30 mg/kg. La concentración que predominó en el interior del complejo lagunar fue menor de 10 mg/kg.

De esta manera, la distribución espacial del carbono orgánico, Cr, Ni, Cd, Pb y Br mostraron a los sedimentos aledaños a la Isla Margarita como la zona con la mayor concentración, probablemente como resultado de la presencia de las rocas metamórficas y de los depósitos de magnetita. Para el resto de los sedimentos el contenido determinado fue bajo. Por otro lado, tomando en cuenta los datos de Taylor (1964) para la corteza continental, solo el contenido de Cd obtenido en los sedimentos del complejo lagunar sobrepasó en 10 veces el dato de referencia (0.2 mg/kg) aunque la diferencia puede ser mayor considerando el valor máximo del intervalo. En los otros elementos el valor promedio no fue diferente al registrado en la corteza, solo al considerarse los máximos del intervalo de concentración (Tabla 20).

A diferencia de los otros elementos, la distribución espacial de Th en los sedimentos superficiales del complejo no presentó características que pudieran considerarlo en alguna de las categorías descritas anteriormente. Esto se debe a que el punto principal de acumulación de Th se encontró solo en los sedimentos adyacentes a Punta Picketson, en el interior de la Bahía Almejas, con más de 20 mg/kg, y en el resto del complejo, que comprendió la zona de canales e interior de ambas lagunas el contenido fue menor de 10 mg/kg (Figura 70). El valor promedio de Th en el material terrígeno fue 4.7 mg/kg, dato mayor al estimado en los sedimentos. La distribución indica que el material con valores por arriba de 10 mg/kg se observó frente a la desembocadura del arroyo La Presa y cerca de Punta Picketson de Bahía Almejas, y coincidió con la zona donde el sedimento obtuvo un valor alto.

8. 2. 1. 6. Factor de enriquecimiento (FE)

El factor de enriquecimiento se obtuvo con la finalidad de conocer la variación que presentaron los contenidos de los elementos en sedimentos y material terrígeno con respecto al material de referencia, que fue la corteza continental, y con el objeto de eliminar los efectos de la granulometría y dilución por los materiales inertes (cuarzo y carbonatos). En la Figura 71 se presenta de manera gráfica la variación de los valores del FE obtenidos en los sedimentos marinos como en el material terrígeno. Los elementos se ordenaron de acuerdo a la clasificación modificada de Salomons y Förstner (1984), Posada-Ramos *et al.* (1994) y Martínez-Magaña (1995), tal como se señaló para Bahía Concepción:

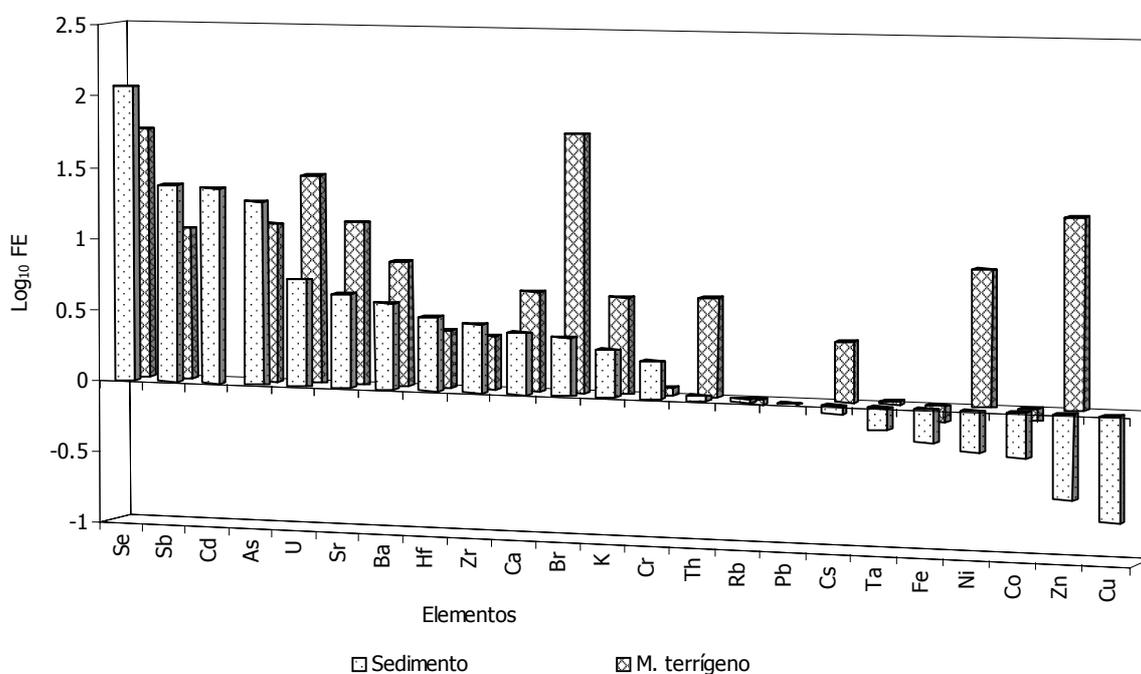


Figura 71. Factor de enriquecimiento de los elementos traza de sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo lagunar Magdalena-Almejas

- i) Selenio, Sb, Cd y As fueron los que destacaron en los sedimentos del complejo, debido a que los datos del factor de enriquecimiento sobrepasaron varias veces el límite máximo de 10, señalado en la Tabla 6. Los valores del FE para cada elemento fueron 116, 24, 23 y 19, respectivamente. De acuerdo a la clasificación señalada y por los resultados, estos elementos se denominaron como elementos altamente enriquecidos, cuyo origen puede ser natural o antropogénico. En este caso, el origen de los

elementos en el sedimento se atribuye al aporte de material terrígeno de la cuenca y de mar adyacente (origen marino), dada la escasa actividad humana. En la Figura 72 se presenta la distribución del FE de Se en los sedimentos y material terrígeno. Valores del FE de Se por arriba de 200 se encontraron en los sedimentos de la zona de canales (porción noroeste),

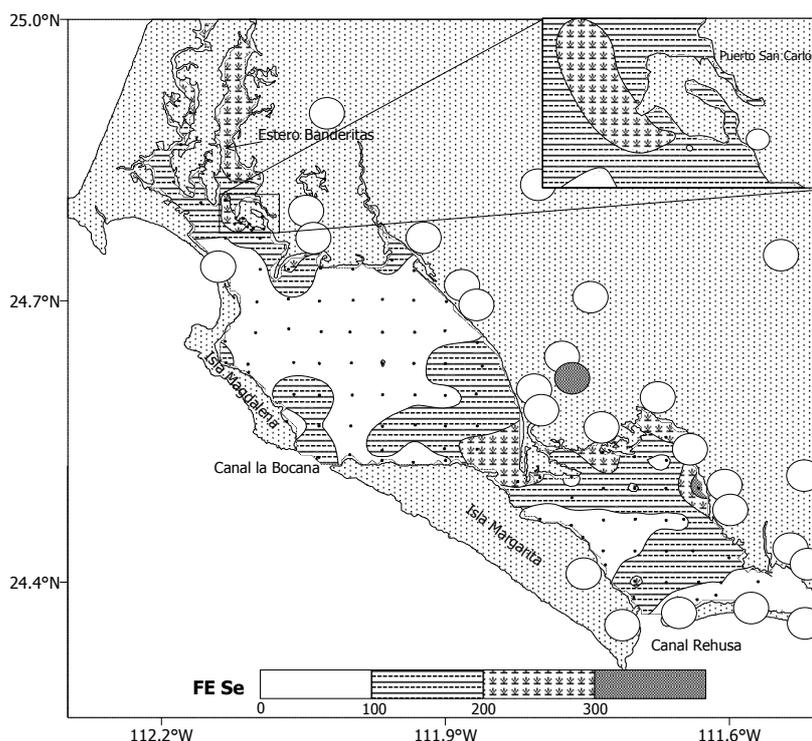


Figura 72. Variación del factor de enriquecimiento de Se en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas

canal La Gaviota y la Bocana, y en la parte central de Magdalena. En el material terrígeno de la zona de arroyos se observó que este material, en la mayoría de las muestras, predominaron los valores del FE menores a 100 con excepción de un punto que se localizó dentro de la cuenca Hiray.

- ii) Uranio, Sr, Ba, Hf, Zr, Ca, Br y K, estos elementos se diferenciaron por los valores del factor de enriquecimiento que fueron 6, 4.5, 4.0, 3.3, 3.0, 2.7, 2.5 y 2.1, respectivamente. De acuerdo, a los resultados y a la tabla 6, estos elementos se denominaron elementos enriquecidos, cuya característica es que sobrepasan el valor de la corteza continental, como dato de referencia. Para este caso, este resultado se asocia a las condiciones naturales de la zona, por un lado, a la presencia de carbonatos en los sedimentos, como Ca y Sr, además que Sr junto con U y Ba se relacionan a la fosforita. La Figura 73 muestra la distribución espacial del factor de enriquecimiento de U con ejemplo y con el objeto de identificar las posibles zonas donde estos elementos fueron abundantes. La distribución de FE U, muestra que los sedimentos de la zona de canales, adyacentes a Puerto San Carlos y Punta Cove en la Isla Magdalena fueron los puntos importantes para la presencia de U, así mismo, pero en menor

proporción los sedimentos del Canal la Gaviota y cerca de la desembocadura del arroyo La Presa. En el material terrígeno fueron pocos los puntos donde el FE fue mayor a 10, localizados estos cerca de los esteros San Buto y Banderitas, en la planicie de Bahía Magdalena, en la Isla Margarita cerca del Canal Rehusa y en el arroyo La Presa.

iii) Cromo, Th, Rb y Pb fueron elementos cuyo valor promedio del factor de enriquecimiento fue 1.8, 1.08, 1.06 y 1.0, respectivamente. De acuerdo a la clasificación antes señalada, estos elementos se consideran como conservativos debido que los valores oscilaron de

1 a 2 y su presencia en este tipo de ambientes es resultado de la influencia de material característico de la cuenca de drenaje. La distribución de Cr se presenta como ejemplo para determinar algunas de

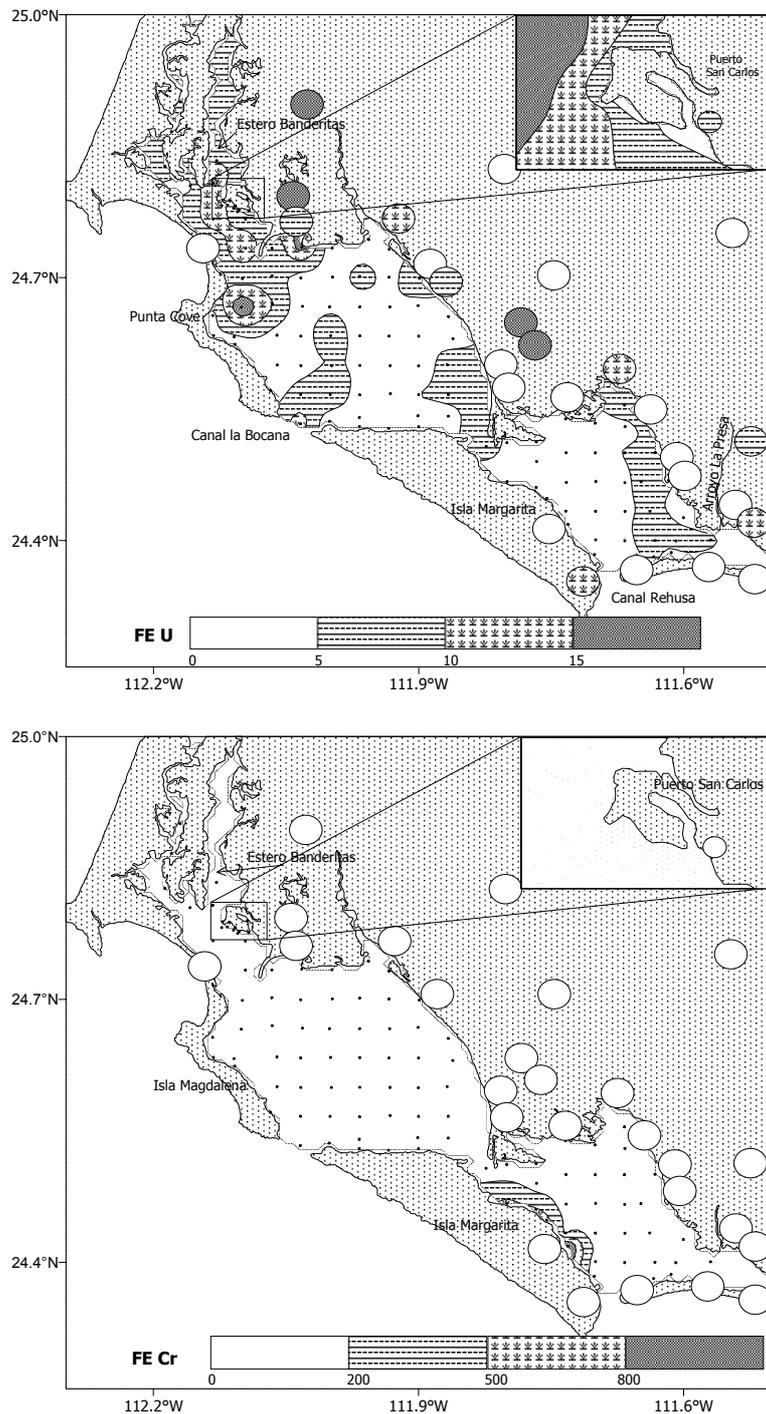


Figura 73. Variación del factor de enriquecimiento de U (a) y Cr (b) en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas

las zonas en que los sedimentos presentan altos valores del factor (Figura 73). De esta manera, se observó que los sedimentos adyacentes a la Isla Margarita fueron solamente los que destacaron con mas de 200 unidades del FE, debido que en el resto de la bahía, así como, en el material terrígeno los valores fueron inferiores.

iv) Cesio, Ta, Ni, Co, Zn, Cu y Fe son elementos que obtuvieron un valor bajo con respecto al de referencia, y a los cuales se les considera como elementos empobrecidos ($FE < 1$). Los valores del FE que alcanzaron fueron 0.88, 0.70, 0.53, 0.49, 0.26, 0.19 y 0.14, respectivamente. La distribución de los valores del factor enriquecimiento para Fe se tomó como ejemplo (Figura 74) y se observó que los sedimentos del interior de Bahía Almejas y sobretodo los adyacentes a la Isla Margarita fueron los que obtuvieron los valores más significativos e indican una procedencia natural en la zona. Los datos

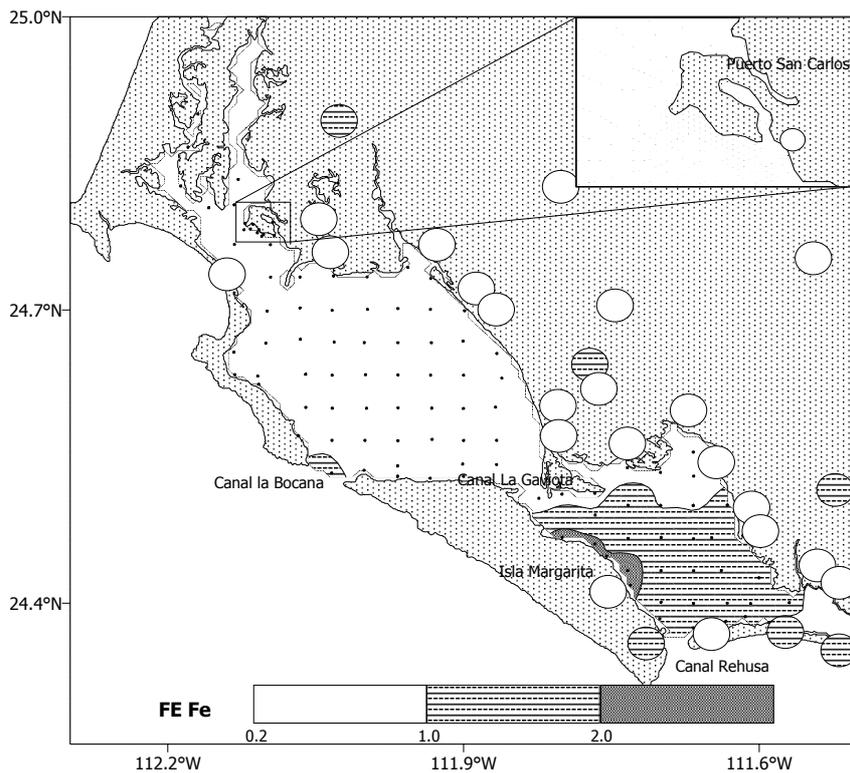


Figura 74. Variación del factor de enriquecimiento de Fe en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas

mínimos del FE se observaron en los sedimentos de Bahía Magdalena y en la zona de canales e indican el empobrecimiento de Cs, Ta, Ni, Co, Zn, Cu y Fe, quizás por la presencia de abundante material inerte como cuarzo, sílice u otros minerales.

8. 2. 1. 7. Concentración de lantánidos

En la Tabla 24 se presenta el intervalo de concentración, concentración promedio y desviación estándar de lantánidos en los sedimentos superficiales con y sin el efecto de los carbonatos. Se incluyeron los datos del material terrígeno y los reportados por Ross y McLennan (1985) para la lutita norteamericana, debido que emplearon como datos de referencia y para la normalización del contenido de los lantánidos.

Tabla 24. Intervalo de concentración (mg/kg), concentración promedio y desviación estándar de lantánidos en los sedimentos superficiales y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas

Elemento	Sedimento superficial (muestra natural)		Material terrígeno		Lutita
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio	Norteamericana ¹
La	2 - 38	16 ± 7	3 - 60	22 ± 6	32
Ce	5 - 65	31 ± 12	1 - 97	36 ± 26	73
Pr	0.6 - 7.0	4.0 ± 1.0	0.6 - 23	5.0 ± 4.0	7.9
Nd	2 - 26	14 ± 6	2 - 36	14 ± 9	33
Sm	1.0 - 8.0	4.0 ± 2.0	0.1 - 9.0	3 ± 2	5.7
Eu	0.2 - 2.0	1.0 ± 0.3	0.1 - 7.0	1.0 ± 1.0	1.24
Gd	1.0 - 9.0	5.0 ± 2.0	0.4 - 10.5	4.0 ± 2.0	5.2
Tb	0.2 - 1.0	1.0 ± 0.2	0.07 - 6.0	0.9 ± 1.0	0.85
Dy	1.0 - 9.0	4.0 ± 1.0	0.3 - 9.0	3.0 ± 2.0	5.8
Ho	0.2 - 2.0	1.0 ± 0.3	0.08 - 3.0	0.9 ± 0.6	1.04
Er	0.5 - 7.0	2.0 ± 1.0	0.2 - 5.0	2.0 ± 1.0	3.4
Tm	0.1 - 1.0	0.3 ± 0.1	0.03 - 2.0	0.4 ± 0.5	0.5
Yb	0.4 - 6.0	2.0 ± 1.0	0.1 - 4.0	1.0 ± 0.9	3.1
Lu	0.1 - 1.0	0.3 ± 0.1	0.02 - 3.0	0.4 ± 0.6	0.48

¹ Datos de Ross y McLennan (1985)

El contenido promedio de los lantánidos obtenidos en los sedimentos superficiales no mostró diferencia con respecto a los valores de referencia de la lutita norteamericana (Ross y McLennan, 1985). Aunque pequeñas diferencias se encontraron al considerar el valor máximo del intervalo de concentración, debido que se encontró un incremento en los valores que osciló de 1 a 2, como fue el caso de Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu. En el material terrígeno el resultado fue similar, no se observaron diferencias entre el valor promedio y la lutita, pero si al considerar el valor máximo del intervalo de concentración con excepción de Nd e Yb cuyos resultados fueron semejantes a la lutita. El incremento

que llegaron a obtener estos elementos osciló de 1 (Ce) a 7 (Tb), datos que muestran mayor presencia de lantánidos en el material de la cuenca de drenaje que en los sedimentos.

El orden de concentración de los lantánidos fue el siguiente: Ce> La> Nd> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu. De acuerdo a esta secuencia de concentración, los elementos de tierras raras ligeras (Ce, La y Nd) y pesadas (Gd y Dy) fueron los más abundantes en los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas.

8. 2. 1. 7. 1. Distribución espacial de la concentración de lantánidos en los sedimentos superficiales y material continental

La distribución espacial de la concentración de lantánidos en los sedimentos y en el material terrígeno del complejo lagunar se describieron de manera independiente del resto de los elementos, como sucedió con Bahía Concepción, debido a la semejanza en sus propiedades químicas. El comportamiento en los sedimentos de la mayoría de los elementos fue semejante, y a continuación se describe de manera general, con algunos elementos como ejemplo de las tierras raras ligeras (La, Sm), tierras raras intermedias (Eu) y tierras raras pesadas (Gd, Lu).

Las distribuciones espaciales de los elementos de tierras raras ligeras, que incluyen de La a Sm, mostraron que los sedimentos adyacentes a la desembocadura del arroyo La Presa, en la línea de costa de Bahía Magdalena y en el Estero Banderitas, fueron las zonas en donde su concentración sobrepasó el valor promedio en la lutita norteamericana (Figura 75 y 76). Las distribuciones del contenido de La y Sm son un ejemplo, en los puntos antes señalados se observó más de 20 mg/kg para La y 4 mg/kg para Sm, mientras en el resto del complejo el contenido de estos elementos fue menor. En el material terrígeno los valores que sobresalieron de ambos elementos se encontraron en la Isla Creciente (> 30 mg/kg La y 6 mg/kg Sm), que es una barrera arenosa donde probablemente se acumula el material vertido por el arroyo y el que llega por las corrientes marinas en el océano Pacífico. Otras localidades que destacaron fueron cerca de la Ensenada el Cayuco y en la planicie de Bahía Magdalena, donde el material terrígeno obtuvo valores por arriba de 30 mg/kg para La y 6 mg/kg para Sm.

Europio es un elemento que se distingue entre los lantánidos debido a los cambios que puede presentar en su valencia bajo condiciones oxido-reducción. La distribución espacial de este elemento en el complejo lagunar se presenta en la Figura 77, y se observó que las zonas señaladas para las tierras raras ligeras fueron de la misma manera, los puntos importantes de concentración para Eu en donde se sobrepasó el valor promedio en la lutita norteamericana que señalan Ross y McLennan (1985). En el material terrígeno, contenidos por arriba de 1.5 mg/kg se encontraron en la planicie de Bahía Magdalena y cerca de la Ensenada el Cayuco.

Para los otros elementos, denominados tierras raras pesadas, el comportamiento en el complejo lagunar fue similar aunque fue posible observar algunas diferencias en la distribución de Er, Tm, Yb y Lu que probablemente ocurre por las concentraciones en que se encuentran. Los sedimentos superficiales de la zona del Estero Banderitas, en la línea de costa de Bahía Magdalena y en el interior de Bahía Almejas fueron los que obtuvieron mayor contenido. Se observó que entre los elementos con más abundancia en los sedimentos fueron Gd, Dy, Ho, Er y Tm debido que en dichos puntos los valores llegaron a sobrepasar hasta en 1.7, 1.5, 1.92, 2.0 y 2.0, respectivamente, el valor de referencia de la lutita norteamericana (Tabla 20). La distribución de Gd fue similar a La, Ce y Pr, ya que coincidió con las zonas donde se registraron contenido alto de esos elementos, tales como la línea de costa de Bahía Magdalena, adyacente a Puerto San Carlos, Punta Delgada (I. Magdalena) y cerca de la desembocadura del Arroyo La Presa donde se observó más de 6 mg/kg (Figura 78). Estos mismos se encontraron adyacentes con algunos donde el material terrígeno obtuvo un contenido de Gd por arriba de 6 mg/kg, como ocurrió en la Isla Creciente y la planicie costera de Bahía Magdalena.

Para el caso de Yb, los sedimentos obtuvieron concentraciones bajas y destacó únicamente el material adyacente a la desembocadura del arroyo La Presa (Bahía Almejas) donde se llegó a estimar por arriba de 4 mg/kg, el resto obtuvo valores por debajo de 2 mg/kg. En el caso de Lu, este presentó un comportamiento semejante a Yb debido que valores por debajo de la referencia se encontraron en la mayor parte del complejo y solo sobresalió el sedimento cercano a la desembocadura del arroyo La Presa con más de 0.5 mg/kg (Figura 79).

8. 2. 1. 7. 1. Normalización del contenido de lantánidos en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Para observar las variaciones entre la concentración de los lantánidos en sedimentos marinos, material terrígeno y la lutita norteamericana, se procedió a la normalización de los datos, los cuales se presentan en la Figura 80. La variación grafica de los datos muestran a los sedimentos con menores valores a los obtenidos en el material terrígeno, en el sedimento los datos oscilaron de 0.43 (Nd) a 0.87 (Gd) mientras en el material de la cuenca fue de 0.47 (Nd, Tb) a Gd (0.81). En ambos casos los elementos que se diferencian son Ndy Gd.

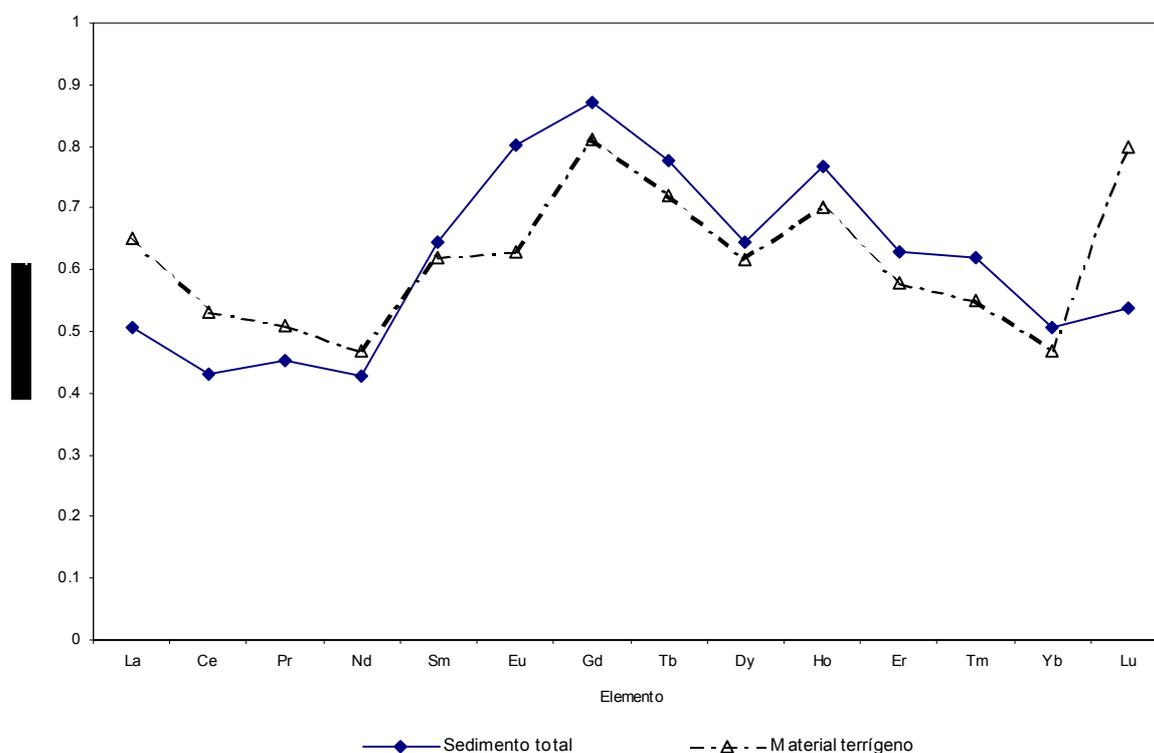


Figura 80. Variación del valor normalizado promedio de lantánidos en los sedimentos y material terrígeno del complejo lagunar Magdalena-Almejas

No obstante, se observaron diferencias particulares en el comportamiento de los valores normalizados de algunas muestras de sedimentos. Es por ello, que en este complejo lagunar se identificaron cuatro tipos de patrón en los valores normalizados de los lantánidos, algunos de estos considerados dentro de la

clasificación señalada por McArthur y Walsh (1985). Estos patrones fueron los siguientes y algunos fueron descritos con mas detalle para Bahía Concepción (Figura 81):

- a) Tipo agua de mar, cuya característica principal es el incremento en ETRP y la disminución en el valor de Ce (ej. estación 47). La procedencia de estos elementos se asocia principalmente al agua de mar,
- b) Tipo anomalía de Eu negativa que esta representado por la disminución en el valor normalizado de Eu, quizás resultado de la dilución por minerales, ejemplo de este patrón se encontró en la estación 58;
- c) Tipo anomalía de Eu positiva cuya tendencia esta caracterizada por el incremento en el valor de Eu debido a la adsorción de minerales concentradores de ETR, ejemplo estación 4,

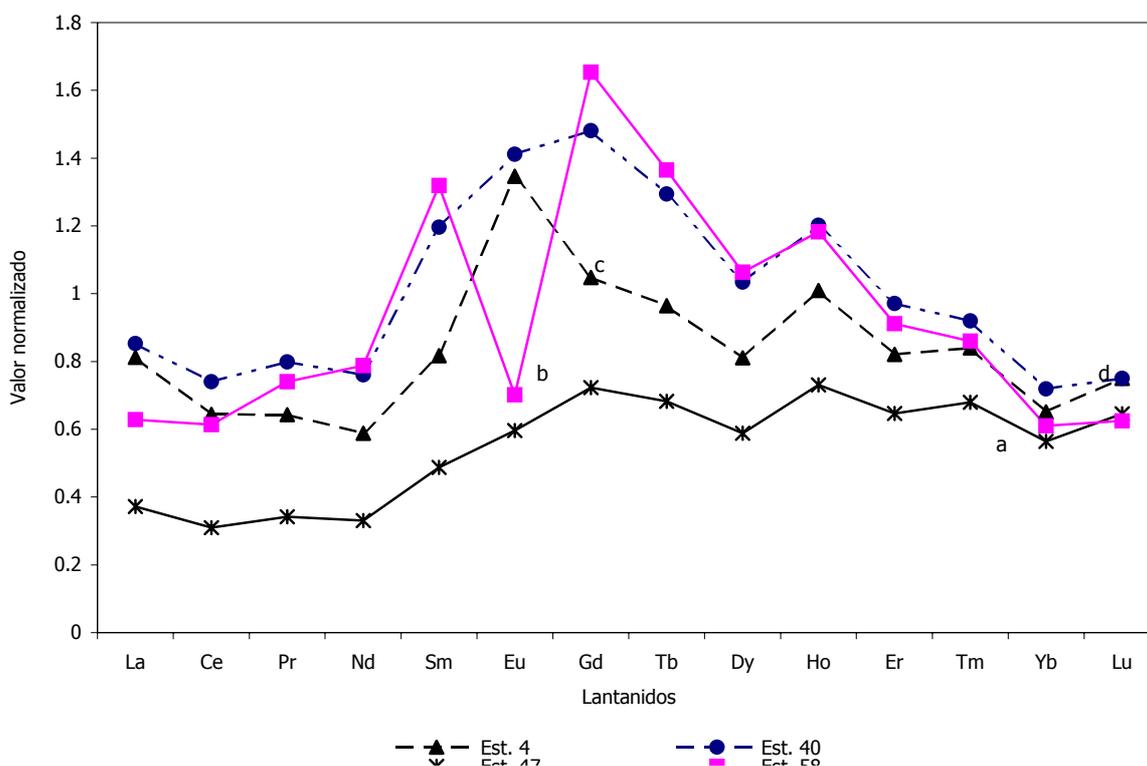


Figura 81. Variación del valor normalizado de los lantánidos en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas (estaciones: 4, 40, 47, 59). Los tipos identificados fueron: agua de mar (a), anomalía de Eu negativa (b), anomalía de Eu positiva (c) y otra (d)

- d) Patrones que son parecidos o no se comportan como alguno de los anteriores. La estación 40 es un ejemplo de este comportamiento, debido que considerarse dentro del patrón agua de mar como

resultado del incremento observado en ETRP y a la disminución de Ce, como se observó en Bahía Concepción.

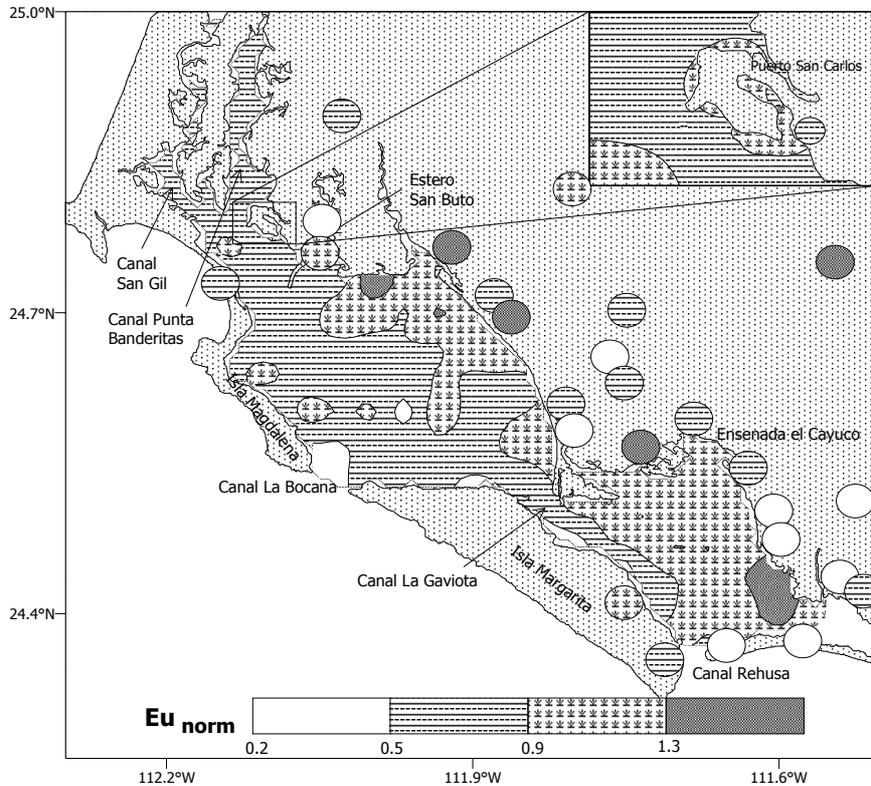


Figura 82. Variación del Eu normalizado en los sedimentos y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas

Los valores normalizados de los lantánidos, en la mayoría de los sedimentos presentó un comportamiento tipo c, denominado anomalía positiva de Eu. Mientras, el resto cayó en b (anomalía de Eu negativa) y a (agua de mar). La Figura 82 presenta el comportamiento de los valores normalizados de

Eu en los sedimentos del complejo. El incremento en el valor normalizado de Eu (> 1) fue más notorio en los sedimentos de la porción de Bahía Almejas. En cambio, para los sedimentos de Bahía Magdalena se observaron tanto valores mayores a la unidad (anomalía positiva) como menores (anomalía negativa) (Figura 82).

A partir de los valores normalizados se extrajeron algunos parámetros para demostrar que tan significativa es la anomalía de Eu, así mismo para Ce y la relación entre las tierras raras ligeras (ETRL) y pesadas (ETRP) (Tabla 25). La estimación de estos parámetros fue a partir de las ecuaciones señaladas para Bahía Concepción en el capítulo 8. 1. 1. 7. 1. El valor promedio de la anomalía de Eu en los sedimentos fue de 1.1 el cual se denomina como una anomalía positiva, sin embargo es posible considerar presencia de anomalía negativa en los sedimentos del complejo debido que en el intervalo se

Tabla 25. Parámetros extraídos de los valores normalizados de lantánidos en los sedimentos y material terrígeno del complejo Magdalena-Almejas

	Sedimento superficial	Material terrígeno
Eu anomalía	1.1 ± 0.40 0.4 - 2.0	0.95 ± 0.56 0.10 - 3.0
^{147}Ce anomalía	0.9 ± 0.01 0.9 - 1.0	0.90 ± 0.06 0.80 - 1.0
^{138}Ce anomalía	-0.04 ± 0.01 -0.006 - -0.070	-0.04 ± 0.02 -0.10 - 0.02
La_n/Yb_n	1.0 ± 0.40 0.2 - 2.0	1.6 ± 0.9 0.3 - 4.0

¹Jafri *et al.* (1995), ²Watkins *et al.* (1995)

obtuvieron valores por debajo de la unidad (hasta 0.4). Similar resultado se obtuvo en el material terrígeno, el valor promedio fue menor al de sedimentos, pero considerando el intervalo la anomalía puede ser mayor (hasta 3).

La Figura 83 muestra la distribución espacial de los valores de $\text{Eu}_{\text{anomalía}}$ en los sedimentos del interior del complejo donde fue posible diferenciar a los sedimentos de la zona de canales, parte central de Magdalena y toda el área de Almejas con valores por arriba de 1 de esta anomalía, donde destacaron sobretodo las zonas adyacentes a los canales la Bocana, Gaviota y Rehusa. Esto representa una anomalía de tipo positiva, o bien abundante Eu en los sedimentos.

Otro elemento que puede presentar anomalías de tipo positivas y negativas,

es Ce. La magnitud de esta anomalía se estimó a partir de las ecuaciones de Jafri *et al.* (1995) que

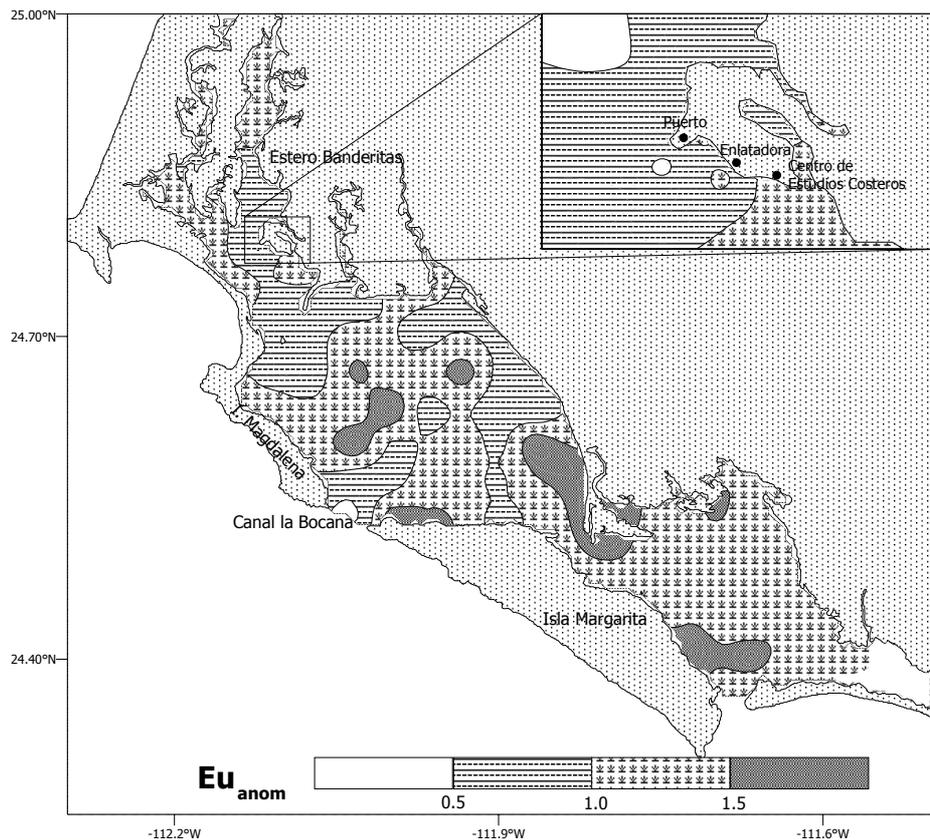


Figura 83. Distribución espacial de la anomalía de Eu en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas

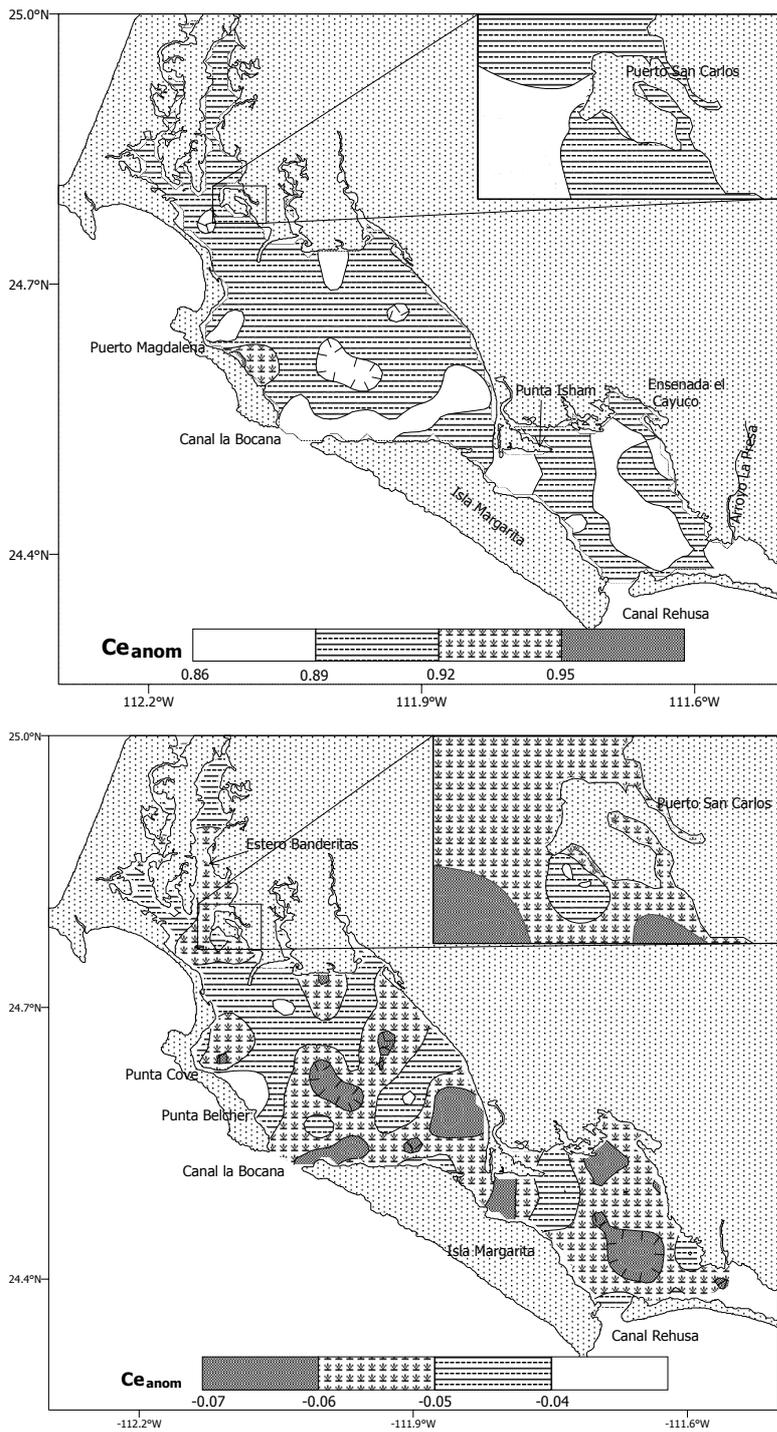


Figura 84. Variación de los valores de la anomalía de Ce en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas, a partir de las ecuaciones de Watkins *et al.* (1995) (a) y Jafri *et al.* (1993) (b)

considera los valores normalizados de La y Pr, además la de McArthur y Walsh (1984) y Watkins *et al.* (1995) donde emplean a La y Nd normalizados, las cuales fueron descritas para el área de Bahía Concepción.

A partir de la ecuación de Jafri y colaboradores, los resultados de esta anomalía en los sedimentos oscilaron de 0.9 a 1.0 muy similar al material terrígeno con 0.8 a 1.0, y ambos representan una anomalía ligeramente positiva.

Con respecto a la ecuación de Watkins *et al.* (1995) y McArthur y Walsh (1984), en los sedimentos marinos los resultados oscilaron de -0.006 a -0.070 y en el material terrígeno fue de -0.02 a -0.10, ambos con un valor promedio de -0.04.

A partir de la comparación de estos datos, se

define que los sedimentos del complejo lagunar presentan una anomalía negativa de Ce poco perceptible, lo cual difiere con lo anteriormente señalado; sin embargo, en ambos casos el tipo de anomalía que se indica no es tan evidente.

La Figura 84 presenta la variación de los valores de la anomalía de Ce en los sedimentos obtenidos por las dos ecuaciones ya descritas. Los resultados fueron semejantes. Por un lado, los valores

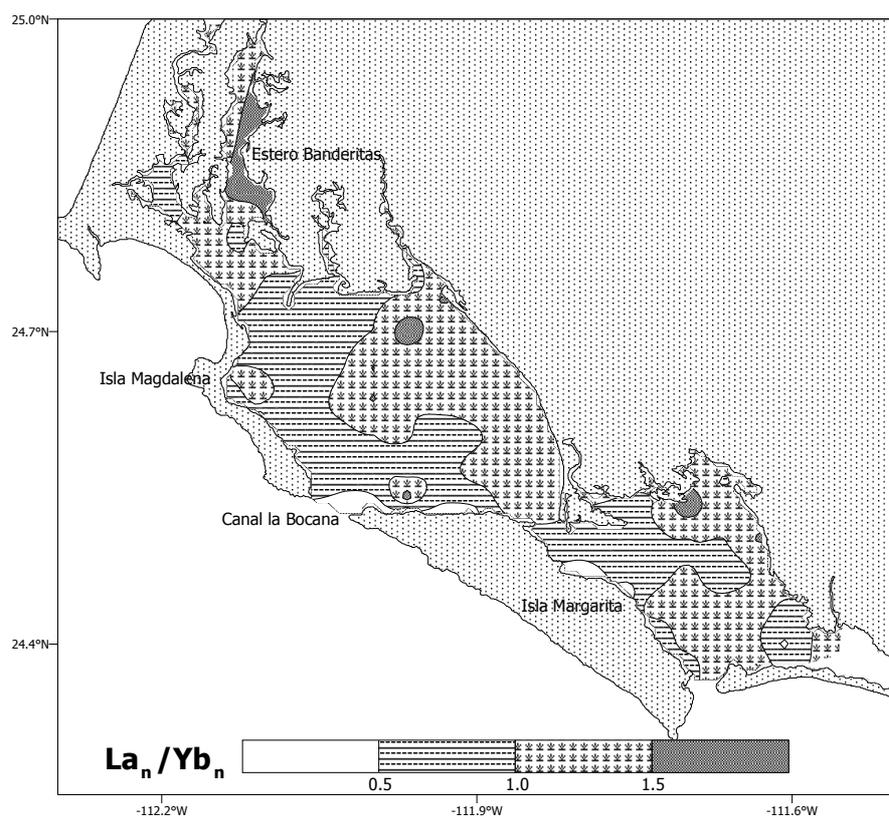


Figura 85. Distribución espacial de la relación La_n/Yb_n en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas

cercanos a 1 se encontraron adyacentes a la Isla Magdalena ($> 0.92 Ce_{anom}$), los sedimentos cuyo dato osciló de 0.89 a 0.92 abarcaron la zona de canales y la mayor parte de Bahía Magdalena, mientras los valores menores a 0.89 se observaron en los canales la Bocana y Gaviotas, y en el interior de Almejas (Figura 84a). En la

Figura 84b, los valores cercanos a 0 (< -0.4) y que indican a una anomalía positiva de Ce se encontraron cerca de la Isla Magdalena, en cambio, los valores que oscilaron de -0.05 a -0.07 abarcaron los canales La Bocana y Gaviota, así como el interior de Bahía Almejas, como ocurrió con los datos obtenidos por la ecuación de Watkins *et al.* (1995).

Otra de las estimaciones fue la relación La_n/Yb_n que representa el empobrecimiento o enriquecimiento de las tierras raras ligeras con respecto a las tierras raras pesadas. Los datos de esta

estimación oscilaron de 0.2 a 1.9 en los sedimentos, mientras en el material terrígeno varió de 0.3 a 4.0, el valor máximo registrado en este último duplicó el valor de los sedimentos. La Figura 85 muestra la distribución espacial de esta relación en los sedimentos de este complejo. Tomando en cuenta los trabajos realizados por Daesslé (1993) y Jafri *et al.* (1993) se obtuvo para el complejo lagunar, que los sedimentos de la zona de canales, adyacente a la línea de costa en Magdalena y en el interior de Almejas presentaron mayor presencia de tierras raras ligeras (ETRL). Mientras, en la parte central de Magdalena y en la zona del canal La Bocana en los sedimentos se observó mayor abundancia de las tierras raras pesadas.

8. 2. 1. 8. Análisis estadístico de los datos

A partir de la concentración de los componentes y elementos en los sedimentos, el análisis de componentes principales determina que dos componentes o eigenvalores explican un 80% de la varianza de los datos, debido a la serie de elementos que incluyen cada uno se consideró caracterizan bien los sedimentos superficiales del complejo lagunar. Los resultados se presentan en la Tabla 26. De estos, el primero obtuvo un 52% mientras el segundo explicó solo un 29% de la varianza.

Las variables que integraron cada eigenvalor y que contribuyen a describir alguna particularidad

Tabla 26. Eigenvalores que determinan el 89% de la varianza total de las variables en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Valor	Eigenvalores	Varianza total	Eigenvalores acumulativos	Porcentaje acumulativo
1	20.8	51.9	20.8	51.9
2	11.5	28.8	32.3	80.7

del ambiente se presentan en la Tabla 27. El primer factor incluyó carbonatos, Ba, Sr, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Th, Br, Cu y algunos elementos de las tierras raras (La, Ce, Pr); y en el segundo factor, se observó al resto de las tierras raras (Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), Ca, U, Hf y Zr. Las relaciones de estos elementos de manera gráfica se pueden observar en la Figura 86, definidas como asociaciones. Sin embargo, al considerar los resultados y las características de los elementos, fue posible

Tabla 27. Resultado del análisis de factores para los datos de concentración de elementos en sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Variable	Factor 1	Variable	Factor 2
La	0.796	Nd	0.794
Ce	0.756	Sm	0.882
Ba	0.881	Eu	0.848
As	0.965	Gd	0.961
Th	0.800	Tb	0.980
Br	0.754	Dy	0.986
Cu	0.906	Ho	0.994
Carbonatos	-0.934	Er	0.994
Sr	-0.909	Tm	0.995
Sc	-0.970	Yb	0.994
Cr	-0.990	Lu	0.995
Fe	-0.938	Ca	0.717
Co	-0.966	U	0.742
Zn	-0.970	Hf	0.960
Ni	-0.923	Zr	0.900

diferenciar tres asociaciones de elementos para los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas. Estas fueron las siguientes:

- a) La primera asociación incluyó a Ba, As, Th, Br, U, Hf, Zr y lantánidos. Estos elementos se encontraron ampliamente distribuidos en los sedimentos del interior del complejo desde la zona de canales y la línea de costa de ambas bahías. La presencia y relación de estos elementos se asocia al aporte de material continental por los arroyos intermitentes,

además de considerar material de origen marino del océano adyacente. El comportamiento de estos elementos puede ser explicada por la distribución espacial del factor 1 (Figura 87a), donde se observa que la mayor influencia se observa desde la zona de canales al interior de ambas bahías, y los valores bajos se encontraron adyacentes a las islas y en el Canal la Bocana. La distribución de este factor es similar a la presentada por los lantánidos y los elementos que caracterizan esta asociación.

b) La segunda asociación incluyó a carbonatos, Sr, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Ni. Estos elementos fueron los que obtuvieron los valores significativos de la correlación en el análisis de factores (carga del factor > 0.70). La particularidad de estos elementos radica que las mayores concentraciones se encontraron principalmente adyacentes a las islas Magdalena y Margarita, zonas donde también se observó la presencia de los carbonatos. Este componente biogénico se deriva de los fragmentos calcáreos de la existencia de bancos de almejas, así como a la biota bentónica natural. De esta manera, es posible distinguir en esta asociación dos subgrupos de elementos:

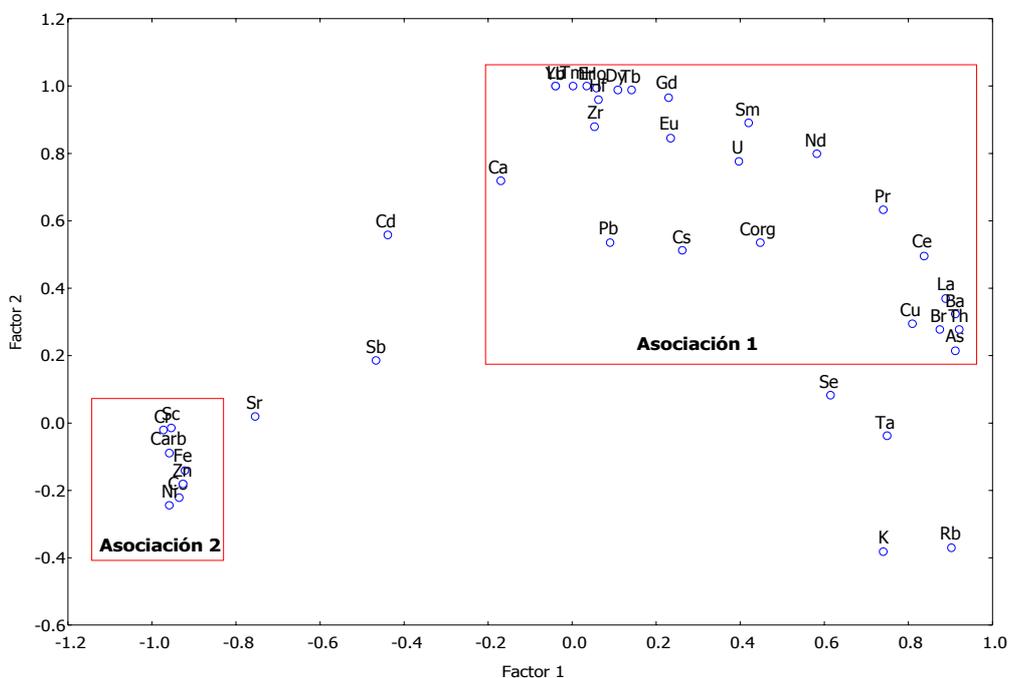


Figura 86. Relación entre los componentes y elementos mayores, y traza de los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas, a partir de graficar los factores 1 y 2.

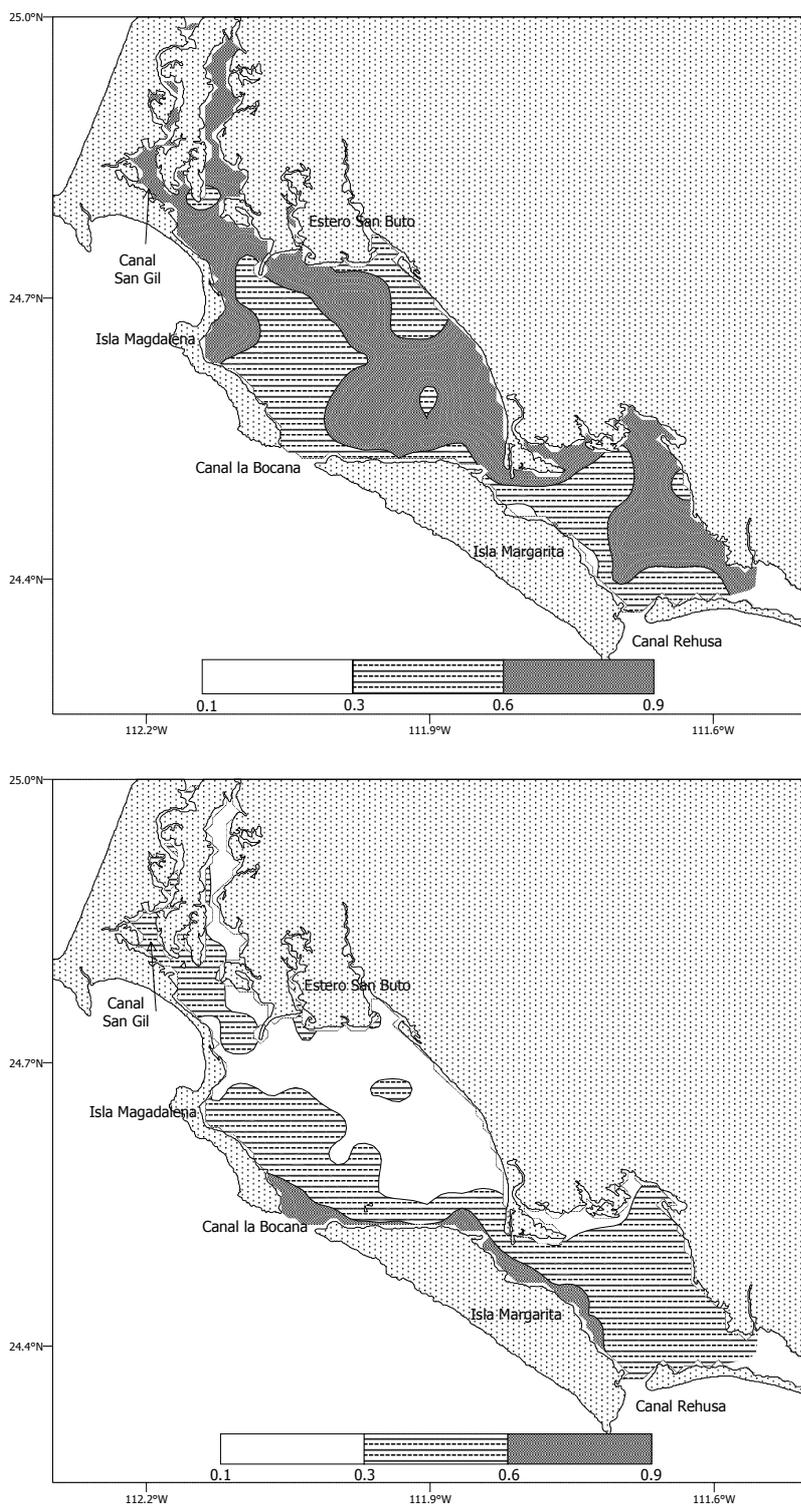


Figura 87. Distribución de los valores del factor 1 y 2 en el interior del complejo lagunar Magdalena-Almejas para explicar el comportamiento de los elementos

Fe, Sc, Cr, Co, Ni y Zn

- Carbonatos, Ca, Sr y Pb.

La distribución espacial del segundo factor ejemplifica de manera clara la zona donde estos elementos destacan (Figura 87b), y que se encontró adyacente a las islas Magdalena y Almejas y sobre el Canal la Bocana. Esta distribución es similar a la obtenida por carbonatos, Fe, entre otros. Es por ello, que se considera a las islas un punto importante de acumulación de elementos.

8. 2. 1. 8. Índice de geoacumulación para el complejo Magdalena-Almejas

A partir de la concentración de los elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales del complejo, se obtuvo el índice

de geoacumulación propuesto por Müller (1979) (citado en de Groot *et al.*, 1982; Salomons y Förstner, 1984).

Los resultados de este índice se presentan en la Tabla 28. De acuerdo, a la Tabla 7 y al valor promedio que se obtuvo para cada elemento fue posible clasificarlos como:

- i) No contaminados debido que obtuvieron valores menores a la unidad y en la mayoría negativos, en este caso fueron K, Cs, Cd, Se, Sb, Br, Ta, Eu, Tb, Ho, Tm, Lu
- ii) Moderadamente contaminados cuyos datos oscilaron de 1 a 2, donde se observó a Fe, Hf, Er e Yb,
- iii) Fuertemente contaminados a aquellos que obtuvieron entre 3 y 4, como Ca, Pb, As, Th, U, Pr, Sm, Gd y Dy,
- iv) Muy fuertemente contaminados, cuyos datos oscilan por arriba de 5 y se encontró a Rb, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Zr, La, Ce y Nd.

La mayoría de los elementos se encontraron en la categoría de no contaminados y muy fuertemente contaminados. Los no contaminados representan un aporte natural y característico de la región (K, Cs, Se, Br y otros), mientras en los muy fuertemente contaminados se encontró a Cr, Co, Cu, Zn y otros. Sin embargo, a pesar de la clasificación propuesta por Müller (1979) se considera que los muy fuertemente contaminados su origen es propiamente de las características naturales debido a la escasa actividad antropogénica e industrial, así como a la presencia de Sc que es un elemento representativo del aporte continental.

Tabla 28. Datos del índice de geoacumulación para los elementos mayores y traza de los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas

Elemento	Min	Máx	Promedio \pm desviación	Clasificación
Fe	1	4	2 \pm 1	Moderadamente contaminado
Ca	1	6	3 \pm 1	Fuertemente contaminado
K	-3	4	-0.2 \pm 2	No contaminado
Rb	7	12	10 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Cs	-3	2	0.4 \pm 0.9	No contaminado
Sr	16	18	17 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Ba	14	18	17 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Sc	5	8	7 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Cr	10	16	12 \pm 10	Muy fuertemente contaminado
Co	5	8	6 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Cu	2	10	6 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Pb	-1	8	3 \pm 3	Fuertemente contaminado
Cd	-6	-1	-3 \pm 1	No contaminado
Ni	6	13	9 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Zn	2	11	7 \pm 2	Muy fuertemente contaminado
Se	-7	-2	-4 \pm 1	No contaminado
As	1	5	3 \pm 0.9	Fuertemente contaminado
Sb	-7	0.5	-3 \pm 2	No contaminado
Th	1	8	3 \pm 1	Fuertemente contaminado
U	0.3	5	3 \pm 1	Fuertemente contaminado
Br	-2	6	0.4 \pm 2	No contaminado
Hf	-1	5	2 \pm 1	Moderadamente contaminado
Ta	-8	2	-1 \pm 2	No contaminado
Zr	11	16	14 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
La	6	10	8 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Ce	8	12	10 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Pr	2	5	4 \pm 1	Fuertemente contaminado
Nd	6	9	8 \pm 1	Muy fuertemente contaminado
Sm	1	5	4 \pm 1	Fuertemente contaminado
Eu	-3	1	-0.4 \pm 0.5	No contaminado
Gd	2	5	4 \pm 1	Fuertemente contaminado
Tb	-4	-0.3	-1.5 \pm 0.6	No contaminado
Dy	2	5	4 \pm 0.5	Fuertemente contaminado
Ho	-3	0.6	-1 \pm 0.5	No contaminado
Er	0.2	4	2 \pm 0.5	Moderadamente contaminado
Tm	-5	-2	-3 \pm 0.5	No contaminado
Yb	-0.3	4	2 \pm 0.5	Moderadamente contaminado
Lu	-6	-2	-4 \pm 0.5	No contaminado

8. 2. 2. Macroalgas marinas

En el complejo lagunar Magdalena-Almejas se recolectaron 21 especies de macroalgas marinas, 9 de la División Rhodophyta, 6 de la Phaeophyta y 6 de la Chlorophyta, las cuales corresponden a dos meses de muestreo, marzo del 2002 y junio del 2002. Las especies identificadas de macroalgas se indican

Tabla 28. Lista sistemática de la flora ficológica de las especies de macroalgas del complejo Magdalena-Almejas

DIVISIÓN RHODOPHYTA	Rhodophyceae	
	Ceramiales	
	Ceramiaceae	
		<i>Spyridia filamentosa</i> (Wulfen) Harvey
	Rhodomelaceae	
		<i>Laurencia johnstonii</i>
		<i>Laurencia pacifica</i> Kylin
	Gelidiales	
	Gelidiaceae	
		<i>Pterocladia capillaceae</i> (Gmelin) Santelices & Hommersand
	Gigartinales	
	Hypneaceae	
		<i>Hypnea johnstonii</i>
	Gracilariales	
Gracilariaceae		
	<i>Gracilaria</i> sp.	
	<i>Gracilaria sjoestedtii</i> Kylin	
Nemaliales		
Galaxauraceae		
	<i>Tricleocarpa fragilis</i> (Linnaeus) Huisman and Townsend	
Rhodymeniales		
Rhodymeniaceae		
	<i>Rhodymenia californica</i> Kylin	
DIVISIÓN PHAEOPHYTA	Phaeophyceae	
	Scytosiphonales	
	Scytosiphonaceae	
		<i>Colpomenia sinuosa</i> (Roth) Derbes et Solier
		<i>Colpomenia tuberculata</i> Saunders
	Sphacelariiales	
	Dictyotaceae	
		<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) Lamouroux
		<i>Dictyota divaricata</i> Lamouroux
		<i>Padina durvillaei</i> Bory
Fucales		
Sargassaceae		
	<i>Sargassum sinicola</i> Setchell et Gardner	
DIVISIÓN CHLOROPHYTA	Chlorophyceae	
	Bryopsidales	
	Bryopsidaceae	
		<i>Bryopsis hypnoides</i> Lamouroux
	Codiales	
	Codiaceae	
		<i>Codium cuneatum</i> Setchell and Gardner
		<i>Codium longiramosum</i> Setchell and Gardner
	Ulvales	
	Ulvaceae	
	<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Linnaeus) Link	
	<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus	
	<i>Ulva expansa</i> (Setch) Setchell and Gardner	

en la Tabla 28 y las estaciones en donde estas se observaron en la Tabla 29.

Las especies que se observaron mas ampliamente distribuidas en el complejo lagunar fueron *P. durvillaei* (marzo del 2002 y junio del 2002), *C. tuberculata* (marzo del 2002), *S. sinicola* (marzo del 2002), *L. johnstonii* (junio del 2002) y *U. lactuca* (junio del 2002). Tomando en cuenta las especies señaladas, se observa que durante el mes de marzo del 2002

predominaron especies de la División Phaeophyta, mientras en junio del 2002 hubo mas variedad con las 3 divisiones presentes.

Tabla 29. Especies recolectadas en la zona del complejo Magdalena-Almejas durante los meses de marzo y junio del 2002

Especie identificada	Estaciones de colecta	
	Marzo del 2002	Junio del 2002
<i>Gracilaria</i> sp.	4	-
<i>G. sjoestedtii</i>	-	6
<i>H. johnstonii</i>	-	7
<i>L. johnstonii</i>	-	7,8,10
<i>L. pacifica</i>	-	9
<i>P. capillaceae</i>	-	3,7
<i>R. californica</i>	-	2,3
<i>S. filamentosa</i>	4	6,9
<i>T. fragilis</i>	2,3	-
<i>C. sinuosa</i>	-	1,8
<i>C. tuberculata</i>	2-4	3
<i>D. dichotoma</i>	-	8
<i>D. divaricata</i>	-	7
<i>P. durvillaei</i>	2-4	2,3,9
<i>S. sinicola</i>	2-4	-
<i>Bryopsis hypnoides</i>	5	-
<i>C. cuneatum</i>	4	9
<i>C. longiramosum</i>	4	-
<i>E. intestinalis</i>	1	-
<i>U. expansa</i>	4,5	-
<i>U. lactuca</i>	-	2-5

La variación espacial de las macroalgas durante el mes de marzo del 2002 se presenta en la Figura 87. Los datos corresponden solo a 5 estaciones, de las cuales la estación 4 fue la que sobresalió debido a la presencia de 6 especies de macroalgas. Entre estas especies se identificaron algunas como posibles especies indicadoras de impacto antropogénico, como son *U. expansa*, *U. lactuca* y *C. cuneatum* (Fundación Patagonia Natural, 1999; García-Rodríguez, 2000; Ancarola *et al.*, 2001).

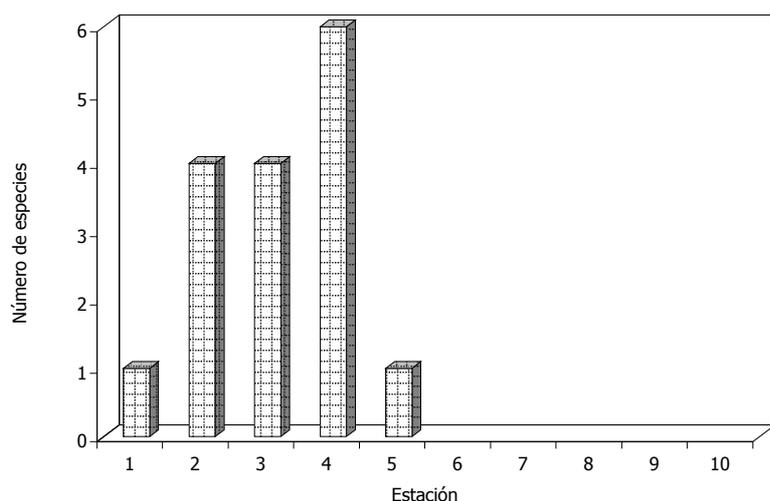


Figura 87. Variación espacial del número de especies de macroalgas marinas obtenidas en marzo del 2002 en el complejo lagunar Magdalena-Almejas

Los puntos donde se recolectó un mayor número de especies (5 especies) en junio del 2002 fueron la estación 3, localizada adyacente a la Isla Magdalena, y en la estación 9 (4 especies) ubicada en la Isla Margarita cerca del canal (Figura 88). Las especies recolectadas en la estación 3 fueron *C. tuberculata*, *P. durvillaei*, *P. capillaceae*, *R. californica*, *U.*

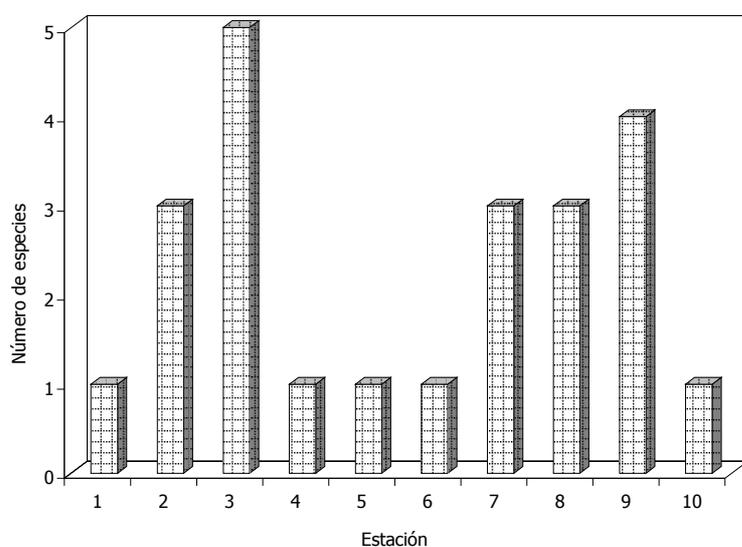


Figura 88. Variación espacial del número de especies de macroalgas marinas obtenidas en junio del 2002 en el complejo lagunar Magdalena-Almejas

lactuca, y en la estación 9 se recolectó *P. durvillaei*, *L. pacífica*, *S. filamentosa* y *C. cuneatum*. Solamente se encontró una especie en común entre estos puntos, *P. durvillaei*.

Como se pudo apreciar en la Tabla 29, las especies de macroalgas no se recolectaron en todas las estaciones y en ambos meses, lo que hizo difícil la

comparación de los datos de elementos traza. En estos casos se presentan solamente los datos de concentración de algunos elementos con relevancia.

8. 2. 2. 1. Variación de la concentración de elementos traza en especies de algas

Colpomenia tuberculata

Los datos que se tienen de esta especie corresponden únicamente a tres estaciones (2, 3, 4). Los contenidos de algunos elementos que se muestran no presentaron algún tipo de patrón o semejanza. Para la estación 2, localizada cerca del Canal La Bocana, las concentraciones en *C. tuberculata* de Cr (41 mg/kg), Zn (9 mg/kg) y Br (17 mg/kg) fueron altas con respecto a los otros puntos (Figura 89). En los sedimentos los contenidos altos de Cr y Br no ocurrieron en la misma zona sino en el área adyacente a la Isla Margarita, sin embargo, para Zn la estación 2 se localizó dentro de las zonas de mayor acumulación.

En las muestras de *C. tuberculata* de la estación 3 sobresalió Co (2.8 mg/kg), y en el sitio 4 los elementos con contenido alto fueron Ni (30 mg/kg), As (4.6 mg/kg) y Se (0.8 mg/kg).

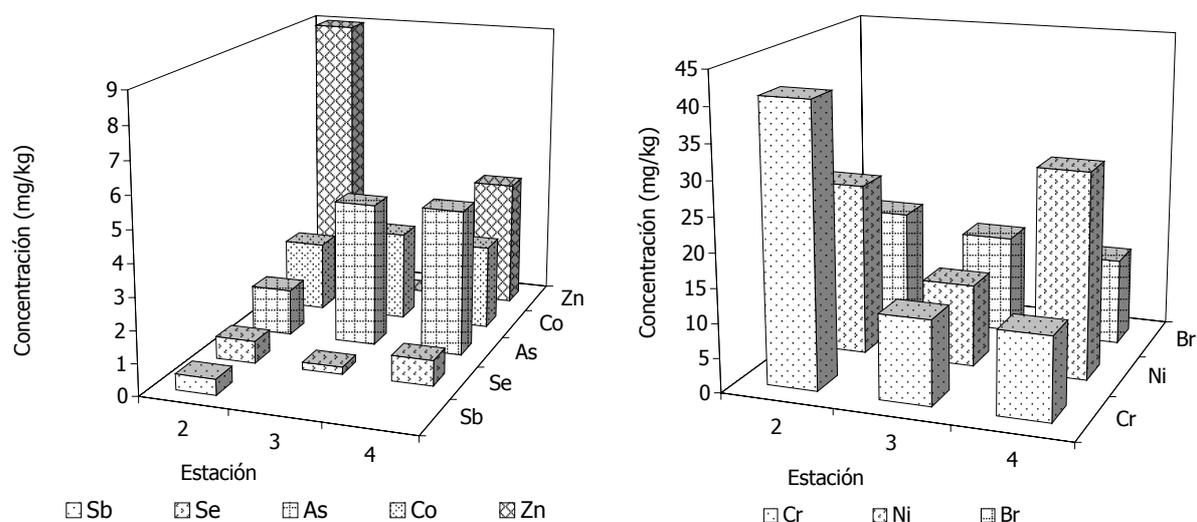


Figura 89. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *Colpomenia tuberculata* en el complejo lagunar Magdalena-Almejas. a) Sb, Se, As, Co y Zn; b) Cr, Ni, Br.

La Tabla 30 muestra el orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en las macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas. Entre los elementos más abundantes en *C. tuberculata* fueron Ca, K y Fe como elementos mayores, Sr y Ba entre los traza; de los lantánidos fueron Nd, Ce y La.

Tabla 30. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *C. tuberculata*

Estación	Especie	Fecha	Orden de los elementos
			Elementos mayores y traza
2	<i>C. tuberculata</i>	Mar-02	Ca> Sr> Fe> Ba> Cr> Ni> Br> Rb> Zn> U> Sc> Co> As> Se> Cs> Hf> Th
3	<i>C. tuberculata</i>	Mar-02	Ca> Sr> K> Fe> Ba> Rb> Br> Cr> Ni> As> Sc> Co> U> Se> Cs> Th> Hf
4	<i>C. tuberculata</i>	Mar-02	Ca> K> Sr> Fe> Ba> Zr> Ni> Rb> Br> Cr> As> Zn> Sc> Co> Se> Sb> Hf> Th> U> Cs
3	<i>C. tuberculata</i>	Jun-02	Ca> K> Fe> Sr> Ba> Rb> Br> As> Zr> Ni> Cr> Co> U> Se> Sc> Hf> Cs
1	<i>C. sinuosa</i>	Jun-02	Ca> Sr> Fe> Ba> Zr> Cr> Br> As> Se> Hf> Rb> Sc> Sb> Co> Ta> U> Th
8	<i>C. sinuosa</i>	Jun-02	Ca> K> Fe> Sr> Ba> Zr> Cr> Rb> Zn> As> Br> Sc> Co> Se> U> Sb> Th> Hf
			Lantánidos
2	<i>C. tuberculata</i>	Mar-02	Nd> Ce> La> Yb> Sm> Lu> Eu
3	<i>C. tuberculata</i>	Mar-02	Nd> Ce> La> Tb> Sm> Yb> Lu> Eu
4	<i>C. tuberculata</i>	Mar-02	Nd> Ce> La> Sm> Yb> Eu> Lu
3	<i>C. tuberculata</i>	Jun-02	Nd> Ce> La> Sm> Tb> Eu> Yb> Lu
1	<i>C. sinuosa</i>	Jun-02	Nd> Yb> La> Sm> Tb> Ce> Eu> Lu
8	<i>C. sinuosa</i>	Jun-02	Nd> La> Ce> Yb> Sm> Tb> Eu> Lu

Padina durvillaei

Los datos de concentración de los elementos en esta especie corresponden a dos meses de muestreo. Para el mes de marzo del 2002, las estaciones fueron 2, 3, y 4; y las estaciones 2, 3 y 9 para junio del mismo año. La variación espacial de la concentración de algunos de los elementos traza en *P. durvillaei* de marzo del 2002 se presentan en la Figura 90, mientras en la Figura 91 son para junio del 2002.

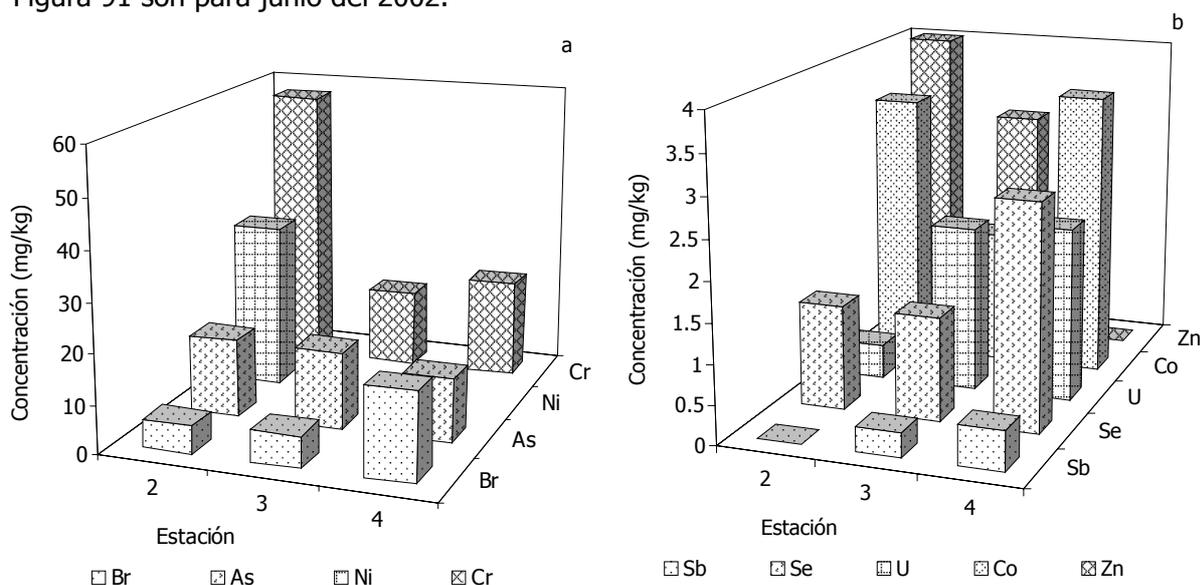


Figura 90. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *P. durvillaei* del complejo lagunar Magdalena-Almejas, durante marzo del 2002: a) Br, As, Ni, Cr; y b) Sb, Se, U, Co, Zn

P. durvillaei en el mes de marzo del 2002 presentó concentraciones altas de Zn, As, Ni y Cr en la estación 2; y para la estación 4, destacó Se, U, Co, Sb y Br (Figura 90).

En las estaciones de junio del 2002 se observaron diferentes elementos con contenidos altos, en la estación 2 fueron Cr, As, Ni; en la estación 3, U, Sb, Zn; y en la estación 9 fueron Se, Co y Br (Figura 91).

El orden de concentración de los elementos traza en *P. durvillaei* en las diferentes estaciones de marzo del 2002 y junio del 2002 se presentan en la Tabla 31. Los elementos más abundantes fueron Ca,

Sr, K y Fe, con excepción de Sr los restantes son componentes mayores y su concentración en esta especie fue alta. Otros de los elementos importantes fueron Ba, Zr y Cr.

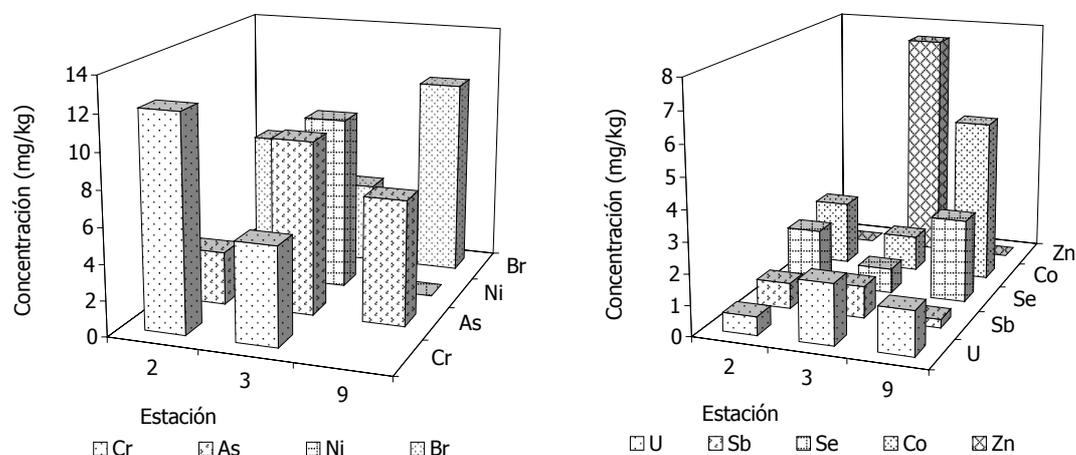


Figura 91. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *P. durvillaei* en el complejo lagunar Magdalena-Almejas, durante junio del 2002: a) Cr, As, Ni, Br; y b) U, Sb, Se, Co y Zn

Con respecto a los lantánidos, el orden de concentración en los diferentes ejemplares de *P. durvillaei* se indica en la Tabla 31, Nd, Ce, La y Tb fueron los de mayor contenido. La estación 2 (marzo del 2002) fue la que mostró cambios en el orden de estos elementos, pero tales cambios no se observaron con los elementos mayores y traza.

Tabla 31. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos determinados en *P. durvillaei* en el complejo lagunar Magdalena-Almejas

Estación	Fecha	Orden de los elementos
Elementos mayores y traza		
2	Mar-02	Ca> Sr> K> Fe> Ba> Cr> Ni> As> Br> Zn> Co= Sc> Rb> Se> Hf> U> Th
3	Mar-02	Ca> Sr> Fe> Ba> Rb> As = Cr> Br> Zn> U> Co> Sc> Se> Sb> Cs> Hf
4	Mar-02	Ca> K> Fe> Sr> Ba> Zr> Cr> Br> Rb = As> Sc> Co> Se> U> Cs> Sb> Th> Hf
2	Jun-02	Ca> K> Sr> Fe> Ba> Cr> Br> Zr> As> Co> Se> Sc> Rb> Sb> U> Hf> Th
3	Jun-02	Ca> Sr>K> Fe> Ba> Zr> Rb> Ni> As> Zn> Cr> Br> U> Sc> Co> Sb> Se> Ta> Hf> Th> Cs
9	Jun-02	Ca> Sr> Fe> K> Ba> Zr> Cr> Br> Rb = As> Sc> Co> Se> U> Cs> Sb> Th> Hf
Lantánidos		
2	Mar-02	Ce> Nd> Tb> La> Sm> Eu> Yb> Lu
3	Mar-02	Nd> Ce> La> Yb> Sm> Tb> Lu> Eu
4	Mar-02	Nd> Ce> La> Sm> Yb> Eu> Lu
2	Jun-02	Nd> Ce> La> Tb> Yb> Lu> Sm> Eu
3	Jun-02	Nd> Ce> Tb> La> Yb> Sm> Eu> Lu
9	Jun-02	Nd> Ce> La> Sm> Eu> Yb> Lu

Sargassum sinicola

Esta especie solo se pudo recolectar en el mes de marzo del 2002 y se encontró en 3 estaciones (2, 3 y 4). La variación espacial de la concentración de los elementos en *S. sinicola*, mostró que en la estación 3 las concentraciones de Zn, Cr, Ni y Ba fueron bajas. En la estación 2 los elementos que destacaron por su contenido fueron Cr, Ba, Sb y U; y para la estación 4 fueron Ni, Co, Se y As (Figura 92).

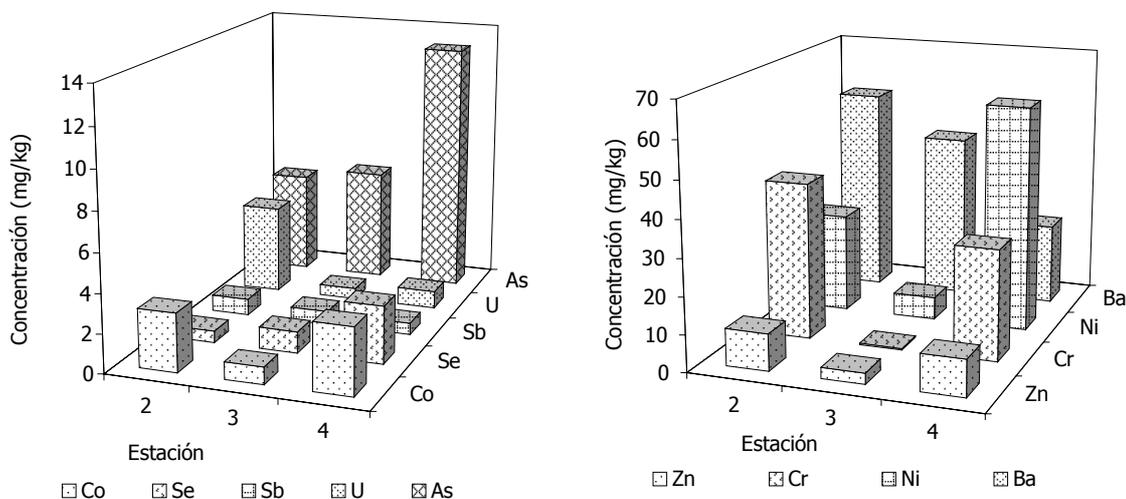


Figura 92. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *S. sinicola* durante marzo del 2002 en el complejo lagunar Magdalena-Almejas. a) Co, Se, Sb, U, As; y b) Zn, Cr, Ni, Ba

El orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *S. sinicola* se muestra en la Tabla 32. Los elementos más abundantes fueron Ca, Sr, Fe, además de Ba para la estación 2 y 3, mientras el punto 4 presentó cambios en el orden de estos elementos.

Tabla 32. Orden de concentración los elementos mayores, traza y lantánidos determinados en *S. sinicola* (marzo del 2002)

Estación	Orden de los elementos
Elementos mayores y traza	
2	Ca> Sr> Fe> Ba> Cr> Ni> Br> Zn> As> U> Sc> Co> Sb> Hf> Se> Th> Cs
3	Ca> Sr> Fe> Ba> Rb> Br> Ni> As> Zn> Se> Co> Sb> U> Sc> Cr> Cs
4	Ca> Fe> Sr> Ni> Cr> Ba> Br> As> Zn> Sc> Rb> Co> Se> U> Sb> Hf> Th
Lantánidos	
2	Ce> Nd> La> Sm = Eu = Lu> Tb = Yb
3	Ce> Nd> La> Yb> Sm> Lu> Eu
4	Nd> Ce> La> Yb> Sm> Lu> Eu

El orden de los lantánidos presentó un comportamiento similar entre las estaciones, quizás debido que estos elementos son conservativos que los

anteriores. Los elementos abundantes para este caso fueron Ce, Nd, La e Yb.

Ulva lactuca

Esta especie sólo se recolectó en verano (junio del 2002) en 4 estaciones, tres de la cuales se localizaron en el área adyacente a Isla Magdalena (2, 3, 4) y otra cercana a Puerto San Carlos (5). Esta es una especie de interés debido que se ha empleado como bioindicador de la contaminación orgánica del ambiente marino como fue señalado por la Fundación Patagonia Natural (1999) y Ancarola *et al.* (2001).

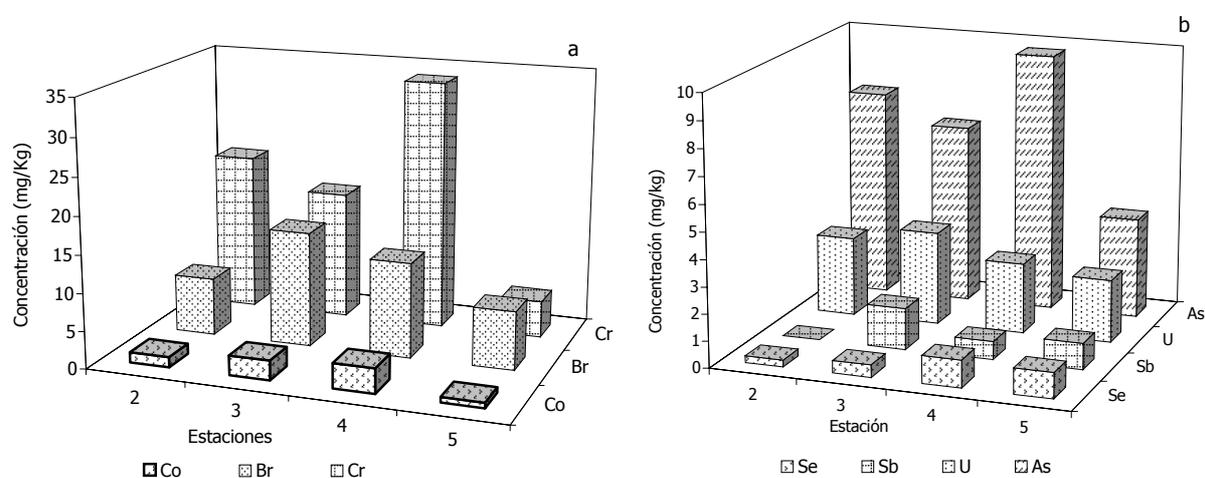


Figura 93. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *U. lactuca* (junio del 2002), en el complejo lagunar Magdalena-Almejas. a) Co, Br y Cr; y b) Se, Sb, U y As.

Las concentraciones altas se encontraron en la estación 4 y destacaron Co, Cr, Se y As, mientras en la estación 3 se observó Br, Sb y U (Figura 93).

Para *U. lactuca*, el orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos se presenta en la Tabla 33. Los elementos predominantes en esta especie y de los cuales se observó poco cambio entre las estaciones en que se encontraron, fueron Ca y Fe dentro de los elementos mayores, y Sr, Zr, Ni, Ba y Cr entre los elementos traza.

En el caso de los lantánidos, la variación en la concentración fue baja, pero los elementos con mayor persistencia en esta especie fueron Nd, Ce y La, en los restantes elementos se observaron cambios con respecto a las estaciones en que se encontraron.

Tabla 33. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos determinados en *U. lactuca* en el complejo lagunar Magdalena-Almejas

Estación	Orden de los elementos
	Elementos mayores y traza
2	Ca> Fe> Sr> Zr> Ni> Ba> Cr> As = Br> U> Co> Sc> Rb> Ta> Se> Cs> Th> Hf
3	Ca> K> Fe>Sr> Ni> Ba> Zr> Cr> Br> Zn> Rb> As> U> Sc> Co> Sb> Se> Hf> Th
4	Ca> Fe> Sr> Ba> Ni> Cr> Zn> Zr> Br> As> Sc> Co> U> Fe> Se > Sb> Th> Hf
5	Ca> Fe = Sr> Zr> Ba> Zn> Br> Cr> As> Rb> U> Hf> Sb> Se> Sc> Co> Th> Ta
	Lantánidos
2	Nd> Ce> La> Yb> Lu> Eu> Sm
3	Nd> Ce> La> Sm> Yb> Lu> Eu
4	Nd> La> Ce> Sm> Yb> Lu> Eu
5	Ce> Nd> La> Yb> Lu> Sm> Eu

Por otro lado, las especies de algas que solo se encontraron en 1 o 2 estaciones y que dificultaron la comparación entre las estaciones y los dos meses de colecta, se presentan en la Tabla 34. Durante el mes de marzo del 2002, las especies que destacaron por presentar altas concentraciones fueron *Tricleocarpa fragilis* por el contenido de Cr y Ni en la estación 2, y Co, Zn, As y U en la estación 3; *Codium cuneatum* por U, Sb, Ni y Cr (estación 4); *Ulva expansa* por Se (estación 4), Zn y As (estación 5); *Gracilaria sp.* por Zn, Se, Sb (estación 4).

Los contenidos de elementos en las algas durante el mes de junio del 2002 fueron muy variables al igual que en el mes de marzo del 2002. Las estaciones en que se colectaron estas especies fueron 1-3 y 5-9, destacando las estaciones 7, 8 y 9 por los diferentes elementos con contenido alto sobretodo de Co, Cr, Ni, Zn, Se, As, Sb y U (Tabla 34). Otras estaciones fueron 1 y 6.

Otras especies de macroalgas que destacaron por el contenido de algunos elementos en el complejo lagunar fueron *Hypnea johnstonii* (Co, Ni, Zn, As) y *Laurencia johnstonii* (Sb, U) de la estación 7. *Dyctiota dichotoma* (Co, Cr, As, Sb) recolectada de la estación 8 y *Spyridia filamentosa* (Co, Cr, Ni, Se) en la estación 9.

Tabla 34. Datos de concentración de elementos traza (mg/kg) obtenidos en macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Especie	Estación	Co	Cr	Ni	Zn	Se	As	Sb	U
Muestras de marzo del 2002									
<i>Spyridia filamentosa</i>	4	4.0	17.9	-	-	1.0	-	-	0.3
<i>Gracilaria sp.</i>	4	0.8	8.3	27	10	1.4	-	1.4	1.5
<i>Tricleocarpa fragilis</i>	2	2.4	59.4	45	-	0.4	3.3	0.3	0.9
<i>T. fragilis</i>	3	5.7	25.3	13	11	0.5	9.0	-	2.0
<i>Codium cuneatum</i>	4	3.1	30	30	4	0.9	7.0	1.4	4.0
<i>C. longiramosum</i>	4	0.3	2	11	-	0.4	2.5	0.3	-
<i>Ulva expansa</i>	4	0.5	5	9	-	1.4	0.3	1.0	0.2
<i>U. expansa</i>	5	0.7	2.8	13	10	0.7	11	0.8	0.3
Muestras de junio del 2002									
<i>Spyridia filamentosa</i>	6	1.0	19.2	-	10	0.7	8	1.8	1.2
<i>S. filamentosa</i>	9	6.9	527.3	109	-	2.0	5.0	1.0	2.0
<i>Laurencia johnstonii</i>	7	0.3	0.4	-	4	0.2	-	2.0	6.0
<i>L. johnstonii</i>	8	4.3	41.5	-	20	1.0	-	-	0.3
<i>L. pacifica</i>	9	2.1	45.5	70	10	1.3	-	4.5	0.5
<i>Pterocladia capillaceae</i>	3	0.6	1.3	5	-	0.7	-	0.9	1.0
<i>P. capillaceae</i>	7	0.2	1.0	13	-	0.5	7.0	0.4	1.7
<i>Hypnea johnstonii</i>	7	74.2	0.4	42	40	0.6	29	-	1.4
<i>G. sjoesdetii</i>	6	0.03	0.7	15	3	0.2	10.3	2.0	-
<i>Rodymenia californica</i>	2	1	6	9	10	0.7	13.4	0.5	0.9
<i>R. californica</i>	3	1.1	0.7	27	3	0.9	3	0.9	0.3
<i>Colpomenia sinuosa</i>	1	2.2	13.5	-	-	6.0	8.3	2.4	0.3
<i>C. sinuosa</i>	8	5.4	41.3	-	20	0.8	9.0	0.4	0.6
<i>Dictyota dichotoma</i>	8	10.1	793.4	11	-	2.0	24	1.6	2.0
<i>D. divaricata</i>	7	0.2	4	8	-	1.2	-	0.8	1.0
<i>Bryopsis sypnoides</i>	5	0.5	5	-	20	0.4	-	-	0.5
<i>C. cuneatum</i>	9	1.6	52.6	3	10	0.7	5.0	0.8	2.0
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	1	2.2	42.3	-	-	0.7	7.4	-	3.0

8. 2. 2. 2. Comparación de la concentración de elementos entre las especies de algas

Se realizó la comparación de los intervalos de concentración entre *Spyridia filamentosa*, *Laurencia johnstonii*, *Pterocladia capillaceae*, *Tricleocarpa fragilis*, *Rhodymenia californica* (Rhodophyta), *Colpomenia sinuosa*, *C. tuberculata*, *Padina durvillaei*, *Sargassum sinicola* (Phaeophyta), *Ulva lactuca* y *U. expansa* (Chlorophyta).

La Tabla 35 muestra el intervalo y el promedio de la concentración de los elementos mayores y traza en las especies de macroalgas de la División Rhodophyta del complejo Magdalena-Almejas. En la época de marzo del 2002 se observó que *L. johnstonii* y *T. fragilis* obtuvieron concentraciones altas de los elementos traza, además de *S. filamentosa*. Entre los elementos absorbidos por estas algas se pudo

diferenciar a aquellos de asociados al aporte terrígeno (Fe, Sc) y algunos asociados al componente biogénico, tal fue el caso de Ca y Sr.

Tabla 35. Intervalo de concentración y concentración promedio de elementos mayores y traza en diferentes especies de Rhodophytas del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Elemento	<i>S. filamentosa</i> (junio 2002)	<i>L. johnstonii</i> (junio 2002)	<i>P. capillaceae</i> (junio 2002)	<i>T. fragilis</i> (marzo 2002)	<i>R. californica</i> (junio 2002)
Ca %	<u>2.5 - 3.4</u> 3	<u>1.3 - 3.6</u> 2.6	<u>3.2 - 3.9</u> 3.5	<u>10.6 - 15.8</u> 13	<u>0.6 - 1.2</u> 0.9
Fe %	<u>0.7 - 1.0</u> 0.9	<u>0.005 - 1.2</u> 0.6	<u>0.008 - 0.15</u> 0.08	<u>0.9 - 1.3</u> 1	<u>0.08 - 0.2</u> 0.1
Rb mg/kg	<u>18.6 - 24.7</u> 22	<u>2 - 17</u> 7	<u>1.9 - 3.8</u> 3	7.1	<u>26.3 - 27.7</u> 27
Cs mg/kg	0.31	<u>0.3 - 0.45</u> 0.4	<u>0.04 - 0.06</u> 0.05	<u>0.2 - 0.34</u> 0.3	<u>0.06 - 0.16</u> 0.1
Sr mg/kg	<u>210 - 400</u> 305	<u>47 - 2035</u> 729	<u>180 - 340</u> 260	<u>2370 - 3185</u> 2778	<u>98 - 195</u> 147
Ba mg/kg	<u>125 - 195</u> 160	<u>18 - 30</u> 24	<u>12 - 26</u> 19	<u>6 - 97</u> 52	<u>4 - 34</u> 19
Sc mg/kg	<u>4.2 - 4.5</u> 4	<u>0.01 - 5.7</u> 3	<u>0.05 - 0.5</u> 0.3	<u>4.5 - 5.8</u> 5	<u>0.34 - 0.54</u> 0.4
Cr mg/kg	<u>19.2 - 527</u> 273	<u>0.4 - 54</u> 32	<u>1.0 - 1.3</u> 1.2	<u>25.3 - 59.4</u> 42	<u>0.72 - 6.0</u> 3
Co mg/kg	<u>1.0 - 7.0</u> 4	<u>0.3 - 4.3</u> 2.4	<u>0.2 - 0.6</u> 0.4	<u>2 - 6</u> 4	<u>1.0 - 1.1</u> 1
Ni mg/kg	109	55	<u>5.3 - 12.7</u> 9	<u>13 - 45</u> 29	<u>8.5 - 26.5</u> 17
Zn mg/kg	10	<u>4 - 20</u> 12	N. D.	11	<u>3 - 10</u> 7
Se mg/kg	<u>0.7 - 2.0</u> 1	<u>0.2 - 0.98</u> 0.6	<u>0.5 - 0.7</u> 0.6	<u>0.42 - 0.46</u> 0.44	<u>0.7 - 0.9</u> 0.8
As mg/kg	<u>4.7 - 7.7</u> 6	9.5	6.9	<u>3.2 - 8.5</u> 6	<u>2.9 - 13.4</u> 8
Sb mg/kg	<u>1.0 - 1.8</u> 1	<u>0.8 - 2.2</u> 1.5	<u>0.4 - 0.9</u> 0.7	0.33	<u>0.5 - 0.9</u> 0.7
Th mg/kg	<u>0.6 - 1.2</u> 0.9	<u>0.3 - 0.7</u> 0.5	0.033	<u>0.17 - 0.4</u> 0.3	<u>0.06 - 0.2</u> 0.1
U mg/kg	<u>0.9 - 2.0</u> 1.5	<u>0.3 - 5.6</u> 3	<u>0.97 - 1.7</u> 1.4	<u>0.9 - 1.6</u> 1	<u>0.3 - 0.9</u> 0.6
Br mg/kg	<u>5 - 21</u> 13	<u>7.6 - 150</u> 90	<u>12 - 17</u> 15	<u>10.6 - 11.2</u> 10.9	<u>9.9 - 10.7</u> 10
Hf mg/kg	<u>1.4 - 3.4</u> 2	<u>0.03 - 0.6</u> 0.2	0.027	<u>0.6 - 1.4</u> 1	<u>0.05 - 0.052</u> 0.051
Ta mg/kg	N. D.	<u>0.3 - 0.4</u> 0.36	0.05	0.2	N. D.
Zr mg/kg	<u>32 - 50</u> 41	<u>9 - 55</u> 32	<u>5 - 9</u> 7	77	11

¹Marzo del 2002, ²junio del 2002

En *S. filamentosa* los elementos con alto contenido con respecto a las otras especies fueron Ba, Cr, Co, Ni, Se, Th, Hf y Zr; y en *L. johnstonii* Cs, Zn, As, Sb, U, Br y Ta. En *R. californica* se encontró sólo a Rb en concentraciones altas. En esta última especie, así como en *P. capillaceae*, se detectó el menor contenido de los elementos (Cs, Sr, Ba, Sc, Cr, Fe, Co, Sb, Th, Hf y Zr).

En la época de junio del 2002, la especie *T. fragilis* sobresalió por los datos de Ca, Fe, Sr, Sc y Zr, al comparar con las anteriores especies (Tabla 35).

Tabla X. Coeficiente de correlación entre las especies de algas de la División Rhodophyta, recolectadas en el complejo Magdalena-Almejas

	<i>R. californica</i>	<i>S. filamentosa</i>	<i>P. capillaceae</i>	<i>T. fragilis</i>	<i>L. johnstonii</i>
<i>R. californica</i>	1				
<i>S. filamentosa</i>	0.69	1			
<i>P. capillaceae</i>	0.99	0.66	1		
<i>T. fragilis</i>	0.99	0.65	0.99	1	
<i>L. johnstonii</i>	0.99	0.68	0.99	0.99	1

La Tabla X, muestra el coeficiente de correlación que se obtiene entre los datos de concentración promedio de las cinco especies señaladas para la División Rhodophyta. Los valores por arriba de 0.9 ($p < 0.05$) correspondieron entre *R. californica*, *T. fragilis*, *P. capillaceae* y *L. johnstonii*, mientras los coeficientes menores a 0.7 fueron para *S. filamentosa*.

Con respecto a las Phaeophytas fueron 4 las especies representativas: *Colpomenia sinuosa*, *C. tuberculata*, *Padina durvillaei* y *Sargassum sinicola*, que correspondiente a dos periodos de colecta y unicamente *P. durvillaei* fue la especie que se observó en ambos (Tabla 36). En marzo del 2002, de acuerdo al intervalo de concentración las tres especies presentaron semejanza en Br y Hf. Sin embargo, la que *S. sinicola* y *P. durvillaei* fueron las registraron mas alto contenido. En *S. sinicola* los elementos fueron Sr, Ca, Sc, Ni, Zn, Se, As, Sb y U, en cambio para *P. durvillaei* Fe, Sr, Ba, Cr, Co, Se y As.

Para junio del 2002, únicamente la comparación fue entre *C. sinuosa* y *P. durvillaei* donde se encontraron grandes diferencias. Los elementos que sobresalieron en *C. sinuosa* fueron Fe, Rb, Ba, Sc, Zn, Se, Sb, Hf, Ta y Zr; y en *P. durvillaei* Ca, Sr, Cr, As y U, a pesar de las diferencias se encontró semejanza en el contenido de Co, Th y Br (Tabla 36). Los datos en *P. durvillaei* de ambos periodos indicaron mayor contenido (Rb, Cs, Ba, Sc, Fe, Ni, As, Br y Hf) en marzo del 2002 con respecto a junio del 2002 donde solo destacó Ca, Sr, Cr, Co y Sb.

El coeficiente de correlación que se obtiene entre las cinco especies fue mayor a 0.98 ($p < 0.05$) (Tabla X).

En las Chlorophytas solo se encontraron dos ejemplares, *Ulva lactuca* y *U. expansa* en diferente época del año pero ambas se observaron en las zonas donde es frecuente la actividad humana (estación 4 y 5) (Tabla 37).

Tabla 36. Intervalo de concentración de elementos traza en diferentes especies de Phaeophytas del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Elemento	<i>C. sinuosa</i> (Junio del 2002)	<i>C. tuberculata</i> (Marzo del 2002)	<i>P. durvillaei</i> (Marzo del 2002)	<i>P. durvillae</i> (Junio del 2002)	<i>S. sinicola</i> (Marzo del 2002)
Ca %	$\frac{2-7}{4}$	$\frac{4-5}{4.5}$	$\frac{3-6}{4}$	$\frac{3-11}{7}$	$\frac{3-8}{6}$
Fe %	$\frac{0.7-1.0}{1}$	$\frac{0.4-0.8}{0.6}$	$\frac{0.4-1.0}{0.8}$	$\frac{0.3-0.9}{0.5}$	$\frac{0.08-0.8}{0.5}$
Rb mg/kg	$\frac{3-24}{14}$	$\frac{15-29}{20}$	$\frac{3-17}{11}$	$\frac{1-12}{6}$	$\frac{4-24}{14}$
Cs mg/kg	-	$\frac{0.1-0.7}{0.3}$	$\frac{0.1-0.6}{0.3}$	$\frac{0.08-0.3}{0.2}$	$\frac{0.11-0.31}{0.2}$
Sr mg/kg	$\frac{900-1260}{1080}$	$\frac{805-1390}{1160}$	$\frac{720-1610}{1207}$	$\frac{1250-1785}{1460}$	$\frac{700-1500}{1203}$
Ba mg/kg	$\frac{78-245}{162}$	$\frac{105-143}{123}$	$\frac{130-195}{163}$	$\frac{29-110}{60}$	$\frac{22-56}{41}$
Sc mg/kg	$\frac{3.0-7.0}{5}$	$\frac{3.0-4.0}{3}$	$\frac{2-5}{3}$	$\frac{1-3}{2}$	$\frac{0.5-6.0}{3}$
Cr mg/kg	$\frac{14-41}{27}$	$\frac{12-41}{22}$	$\frac{16-57}{31}$	$\frac{6-825}{281}$	$\frac{0.4-4.0}{24}$
Co mg/kg	$\frac{2-5}{4}$	$\frac{2-3}{3}$	$\frac{2-4}{2.9}$	$\frac{1-5}{3}$	$\frac{1-3}{2.4}$
Ni mg/kg	N. D.	$\frac{12-30}{22}$	34	10	$\frac{6-61}{31}$
Zn mg/kg	20	$\frac{4-9}{6.5}$	$\frac{3-4}{3.5}$	8	$\frac{3-10}{8}$
Se mg/kg	$\frac{0.8-6.0}{3}$	$\frac{0.2-0.8}{0.6}$	$\frac{1-3}{2}$	$\frac{0.8-3.0}{2}$	$\frac{0.6-3.0}{1.6}$
As mg/kg	$\frac{8.3-8.6}{8}$	$\frac{1-5}{4}$	$\frac{13-16}{15}$	$\frac{3-10}{7}$	$\frac{5-13}{8}$
Sb mg/kg	$\frac{0.4-2.0}{1}$	0.5	$\frac{0.3-0.5}{0.4}$	$\frac{0.3-1.0}{0.7}$	$\frac{0.6-0.8}{0.7}$
Th mg/kg	$\frac{0.2-0.3}{0.3}$	$\frac{0.06-0.4}{0.2}$	$\frac{0.07-0.2}{0.1}$	$\frac{0.09-0.2}{0.1}$	$\frac{0.2-0.3}{0.2}$
U mg/kg	$\frac{0.3-0.6}{0.5}$	$\frac{0.4-4.0}{2}$	$\frac{0.4-2.0}{1.6}$	$\frac{0.6-2.0}{1.0}$	$\frac{0.6-5.0}{2}$
Br mg/kg	$\frac{8-10}{9}$	$\frac{13-17}{15}$	$\frac{6-18}{10}$	$\frac{5-11}{8}$	$\frac{14-16}{15}$
Hf mg/kg	$\frac{0.2-5.0}{2.5}$	$\frac{0.06-0.4}{0.2}$	$\frac{0.06-1.0}{0.4}$	$\frac{0.09-0.3}{0.2}$	$\frac{0.4-0.6}{0.5}$
Ta mg/kg	2.0	N. D.	67	$\frac{0.5-0.6}{0.6}$	N. D.
Zr mg/kg	$\frac{29-165}{97}$	47	N. D.	$\frac{4-27}{16}$	N. D.

Los datos en *Ulva lactuca* de Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, Th, U y Hf fueron mas altos, con respecto a *U. expansa* (Tabla 37). Fue posible observar elementos con similar intervalo tales como Cs, Sr, Se y quizás As. El coeficiente de correlación entre las dos especies fue 0.93 ($p < 0.05$), al considerar la concentración promedio de Ca, Sr, Ba, Sc, Cr, Fe, co, Ni, Zn, Se, As y Sb.

Tabla X. Coeficiente de correlación entre las especies de algas de la División Phaeophyta, recolectadas en el complejo Magdalena-Almejas

	<i>P. durvillae</i> ¹	<i>P. durvillae</i> ²	<i>C. tuberculata</i>	<i>C. sinuosa</i>	<i>S. sinicola</i>
<i>P. durvillae</i> ¹	1				
<i>P. durvillae</i> ²	0.98	1			
<i>C. tuberculata</i>	0.99	0.98	1		
<i>C. sinuosa</i>	0.99	0.98	0.99	1	
<i>S. sinicola</i>	0.99	0.98	0.99	0.99	1

¹Marzo del 2002, ²junio del 2002

Tabla 37. Intervalo de concentración de elementos traza en Chlorophytas del complejo lagunar Magdalena-Almejas

Elemento	<i>U. expansa</i> (marzo del 2002)	<i>U. lactuca</i> (junio del 2002)	Elemento	<i>U. expansa</i> (marzo del 2002)	<i>U. lactuca</i> (junio del 2002)
Ca	<u>0.03 - 2.0</u> 1	<u>1 - 6</u> 3	Zn	10	<u>8 - 20</u> 13
Fe	<u>0.18 - 0.20</u> 0.2	<u>0.2 - 1.0</u> 0.6	Se	<u>0.7 - 1.0</u> 1	<u>0.3 - 1.0</u> 0.7
Rb	<u>2 - 7</u> 5	<u>0.7 - 7.0</u> 4	As	<u>0.3 - 11</u> 6	<u>4 - 10</u> 7
Cs	<u>0.1 - 0.2</u> 0.2	0.21	Sb	<u>0.8 - 1.0</u> 0.9	<u>0.7 - 2.0</u> 1
Sr	<u>105 - 345</u> 225	<u>125 - 340</u> 205	Th	<u>0.15 - 0.16</u> 0.2	<u>0.08 - 0.4</u> 0.2
Ba	<u>50 - 140</u> 95	<u>20 - 116</u> 62	U	<u>0.3 - 0.5</u> 0.4	<u>2.4 - 3.5</u> 3
Sc	<u>0.7 - 0.9</u> 0.8	<u>0.9 - 5.0</u> 2.5	Br	<u>13 - 14</u> 13	<u>8 - 15</u> 11
Cr	<u>3 - 5</u> 4	<u>5 - 34</u> 19	Hf	<u>0.02 - 0.04</u> 0.03	<u>0.02 - 2.0</u> 0.6
Co	<u>0.5 - 0.6</u> 0.6	<u>0.7 - 3.0</u> 2	Ta	-	<u>0.1 - 0.5</u> 0.3
Ni	<u>9 - 13</u> 11	<u>30 - 170</u> 81	Zr	11	<u>13 - 32</u> 24

¹marzo del 2002, ²junio del 2002

8. 2. 2. 3. Variación del valor normalizado de lantánidos

Los valores de la concentración de lantánidos en las algas se normalizaron considerando los datos de Ross y McLennan (1985) en la lutita norteamericana, para establecer patrones de variación en las algas, semejanzas entre las especies, localidades y establecer la posible relación con el sustrato de cada una de las estaciones de colecta.

En el complejo Magdalena-Almejas las especies pertenecen a dos periodos, marzo y junio del 2002. En el primero de ellos se identificó cuatro formas de variación de los lantánidos y en junio fueron únicamente tres. Los patrones que coincidieron en ambos periodos fueron: (i) agua de mar, (ii) incremento en Nd y (iii) incremento en Tb (Figura 94). Otra forma de variación fue (iv) anomalía positiva de Eu y se identificó para *Colpomenia tuberculata* de la estación 4.

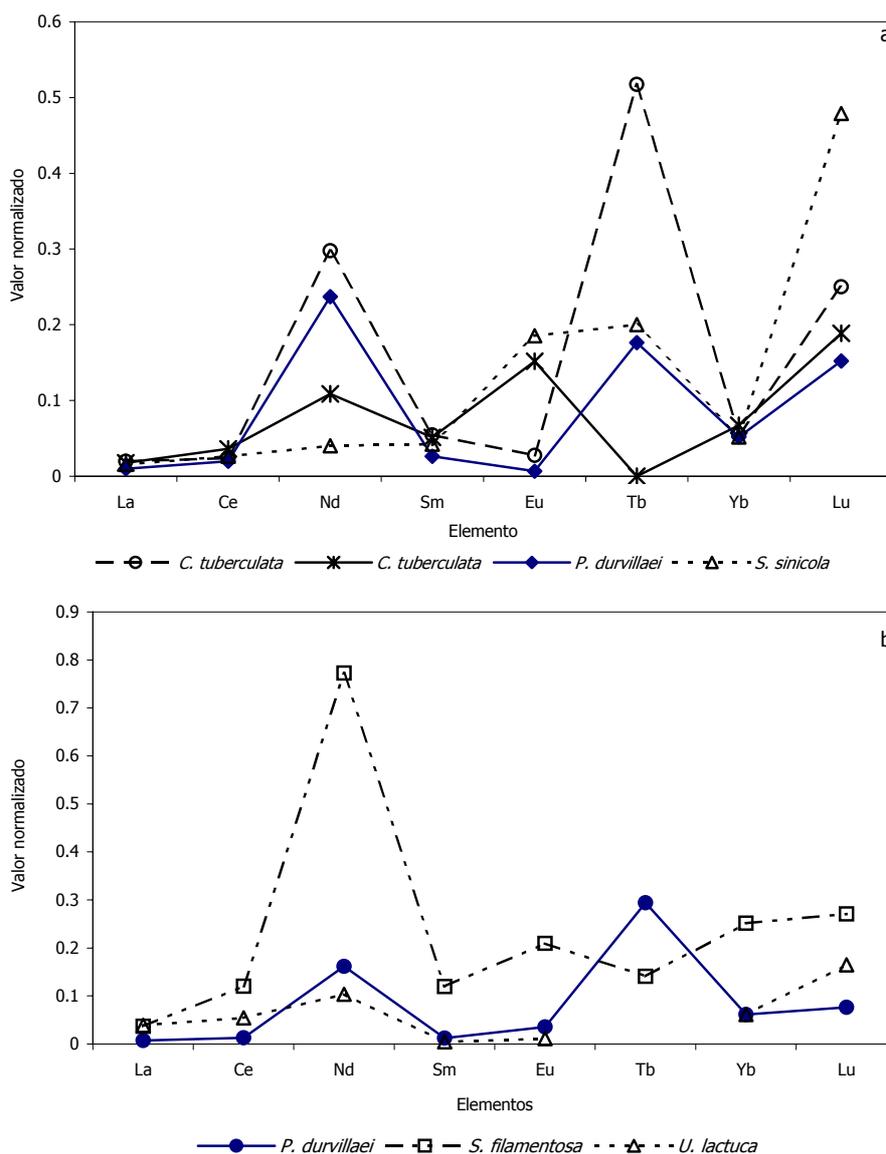


Figura 94. Variación del valor normalizado de lantánidos en algas del complejo lagunar Magdalena-Almejas (a. marzo del 2000 y b. junio del 2000).

El patrón de los lantánidos que se observó con mayor predominancia en las algas fue el incremento en Nd, durante marzo del 2002 se distinguió para *P. durvillaei*, *C. tuberculata*, *S. sinicola* y *T. fragilis* de las estaciones adyacentes a la Isla Magdalena. Mientras en junio del 2002, fueron *P. durvillaei*, *C. sinuosa*, *U. lactuca*, *L. johnstonii*, *R. californica*, *S. filamentosa*, *D. dichotoma* de la mayoría de las estaciones de colecta (1 a 9). Otro patrón fue agua de mar, observado para *S. sinicola*, *U. expansa* y *T. fragilis* del periodo de marzo del 2002 en las estaciones 2 a 5; y en junio del 2002, se encontraron a *U. lactuca*, *L. johnstonii*, *P. capillaceae* y *D. divaricata* en las estaciones 3, 5, 7 y 10. Las estaciones en ambos periodos que presentaron el patrón agua de mar fueron 3 y 5.

De acuerdo a las variaciones en los sedimentos superficiales de los lantánidos, se establecieron 4 formas denominadas: (i) agua de mar, (ii) anomalía negativa de Eu, (iii) anomalía positiva de Eu y (iv) ninguna de las anteriores (Figura 81). Las tres primeras formas fueron las de mayor presencia en los sedimentos de todo el complejo, así como en el material adyacente a las estaciones de colecta de las algas (Figura 95). De tal manera que el comportamiento observado en los sedimentos como en las algas

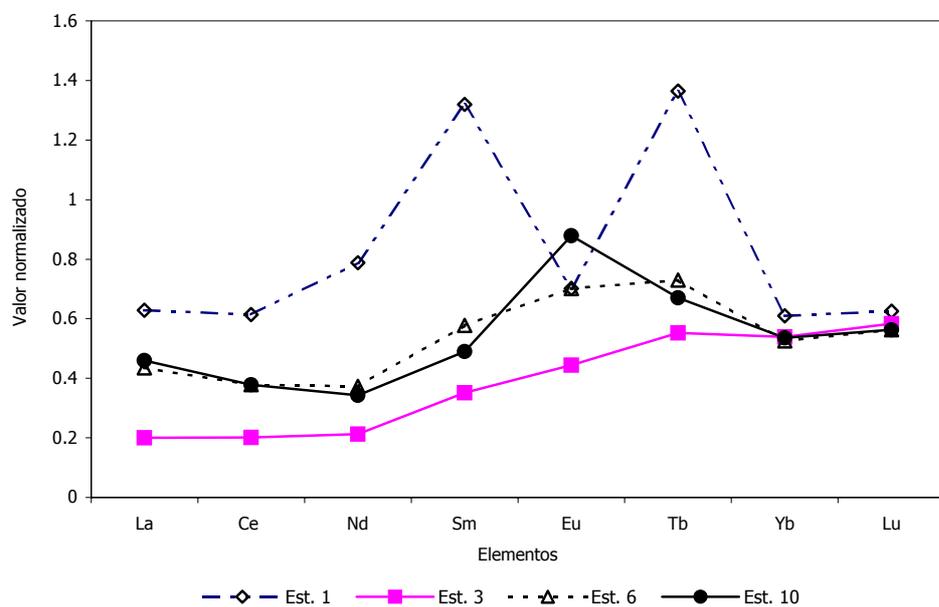


Figura 95. Variación del valor normalizado de lantánidos en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Magdalena-Almejas

no coincidió en la mayoría de las localidades, con excepción de las estaciones 2 y 3 (adyacentes a la Isla Magdalena) donde se encontró que tanto las algas como el sedimento presentaron un patrón semejante,

incremento de Tb y agua de mar, respectivamente. La especie en la estación 2 fue *Padina durvillaei* y en la estación 3 *Sargassum sinicola*, *Pterocladia capillaceae* y *Tricleocarpa fragilis*.

8. 3. Santa Rosalía

8. 3. 1. Macroalgas marinas

Las especies de macroalgas recolectadas fueron 9 y correspondieron a las Divisiones Rhodophyta (3 especies), Phaeophyta (4 especies) y Chlorophyta (2 especies). Las especies se presentan en la Tabla 38, y las estaciones en las que se encontraron se indican en la Tabla 39.

Tabla 38. Lista sistemática de la flora ficológica de las especies de macroalgas de Santa Rosalía

DIVISIÓN RHODOPHYTA	Rhodophyceae
	Ceramiales
	Rhodomelaceae
	<i>Laurencia pacifica</i> Kylin
	Gelidiales
	Gelidiaceae
	<i>Pterocladia capillaceae</i> (Gmelin) Santelices & Hommersand
	Gracilariales
	Gracilariaceae
	Gracilaria sp.
DIVISIÓN PHAEOPHYTA	Phaeophyceae
	Scytosiphonales
	Scytosiphonaceae
	<i>Colpomenia tuberculata</i> Saunders
	Sphacelariariales
	Dictyotaceae
	<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) Lamouroux
	<i>Padina durvillaei</i> Bory
	Fucales
	Sargassaceae
<i>Sargassum sinicola</i> Setchell and Gardner	
DIVISIÓN CHLOROPHYTA	Chlorophyceae
	Codiales
	Codiaceae
	<i>Codium cuneatum</i> Setchell and Gardner
	Ulvales
Ulvaceae	
<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus	

Tabla 39. Especies recolectadas en la zona de Santa Rosalía en las diferentes épocas del 2000

Especie identificada	Estaciones de colecta				
	Marzo de 2000	Junio de 2000	Agosto de 2000	Diciembre de 2000	Marzo de 2001
<i>Gracilaria sp.</i>	-	-	-	-	5 - 9
<i>L. pacifica</i>	1, 5 - 7	-	-	-	2, 6, 8
<i>P. capillaceae</i>	1, 2, 4, 6, 7	-	5 - 8	6 - 8	-
<i>C. tuberculata</i>	1 - 7, 9	1	-	-	1 - 4, 6 - 9
<i>D. dichotoma</i>	1, 2, 6, 7, 9	-	7, 8	-	1 - 3, 5 - 8
<i>P. durvillaei</i>	1, 2, 5 - 7	1 - 3, 5 - 9	-	-	1 - 4, 6 - 8
<i>S. sinicola</i>	1, 6, 7, 9	1 - 9	-	-	1, 5, 7 - 9
<i>C. cuneatum</i>	2, 6, 9	7 - 9	-	-	1

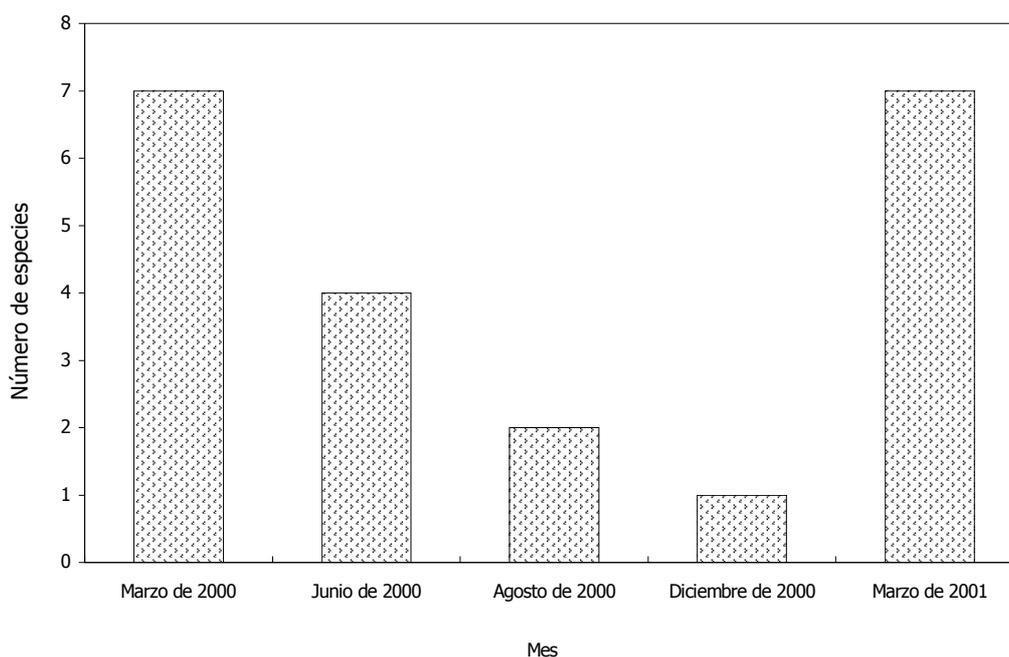


Figura 95. Variación temporal del número de especies de macroalgas colectadas en el área de Santa Rosalía

La mayor recolecta de macroalgas (7 especies) en Santa Rosalía se obtuvo en el mes de marzo del 2000 y marzo del 2001, mientras que el menor número de especies (2) se recolectó en agosto y diciembre del 2000 (Figura 95).

Los resultados obtenidos indican que las especies de la División Phaeophyta (algas cafés) fueron más abundantes y mostraron la mayor presencia durante los meses de muestreo (Tabla 39), probablemente por su tolerancia a variaciones estacionales de las condiciones ambientales. Los cambios de manera espaciales y temporales del número de especies recolectadas se observan en la Figura 96, donde la mayor ocurrencia de las macroalgas se encontró en el mes de marzo del 2000 y marzo del 2001. Además que el número mayor de especies se obtuvo en las estaciones cercanas al puerto de Santa Rosalía (estaciones 1, 2, 6 y 7), debido que estas se caracterizaron por presentar un sustrato rocoso que permitió la fijación de las diferentes especies.

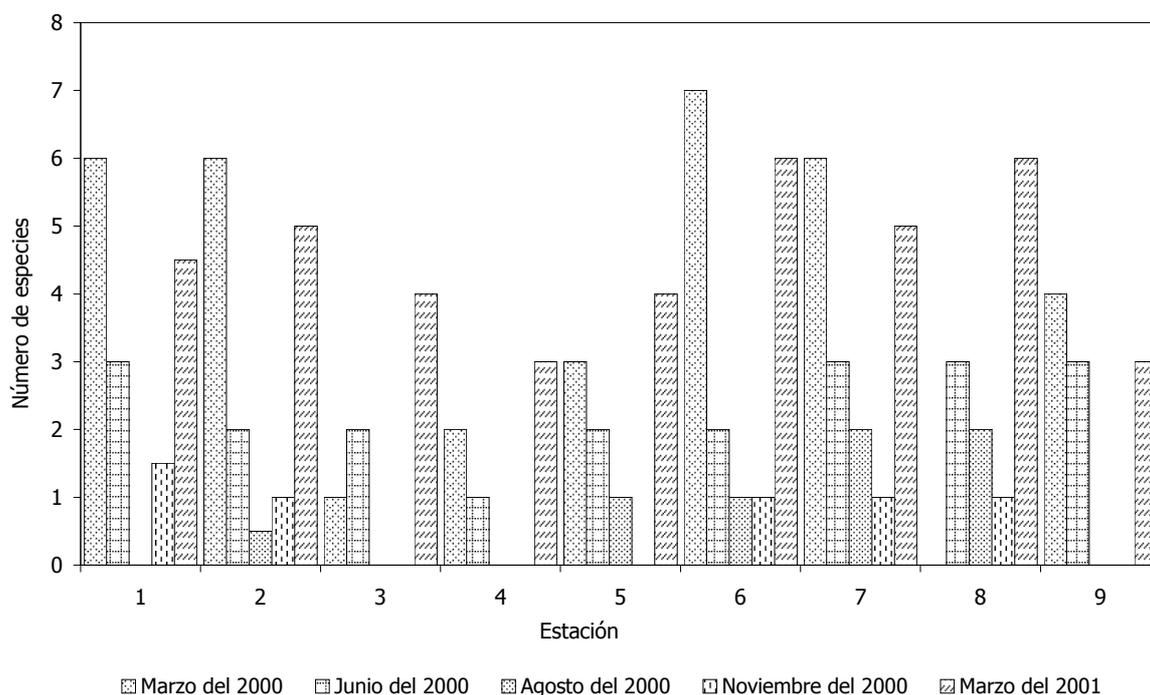


Figura 96. Variación espacial y temporal del número de las especies de macroalgas recolectadas en Santa Rosalía

8. 3. 1. 1. Variación espacial de la concentración de elementos traza

Laurencia pacifica

La presencia de esta alga en Santa Rosalía fue baja, se encontró en 4 estaciones en marzo del 2000 (1, 5, 6, 7) y en 3 puntos de marzo del 2001 (2, 6, 8). La variación espacial de la concentración de los elementos en ambos años se presenta en las Figuras 97. Comparando las concentraciones obtenidas para cada estación, se observó que en marzo del 2001 se detectó en *L. pacifica* alto contenido de Sc, Cd, Co, Cr, Se, As, U, Zn, Cu y Mn; y en marzo del 2000, fue solo de Pb, Ni y Sb.

En marzo del 2000, la estación 5 obtuvo valor alto de Sc, Cd, Co, Cr, Se, Zn, Cu y Mn. Mientras en la 1 destacó el nivel de U y Sb, y en la 7 únicamente de As. Para el 2001, la estación 2 fue la que sobresalió para Santa Rosalía por lo niveles alcanzados de Pb, Sc, Cd, Co, Cr, Se, As, U, Zn, Cu y Mn.

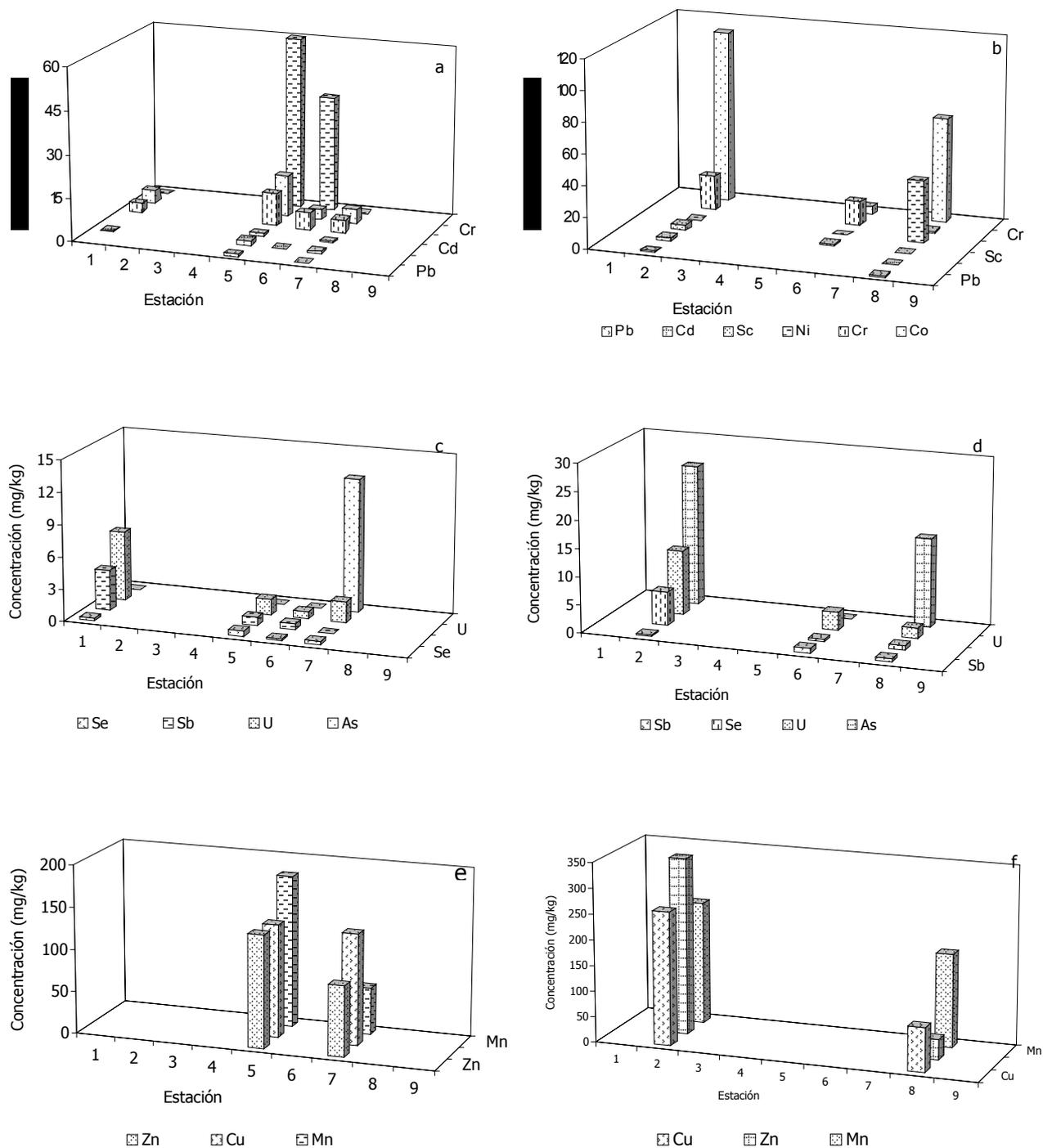


Figura 97. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *L. pacifica* del área de Santa Rosalía. Agosto del 2000 (a. Pb, Cd, Sc, Ni, Cr, Co; c. Zn, Cu, Mn; e. Sb, Se, U, As) y diciembre del 2000 (b. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr, Co; d. Zn, Cu, Mn; f. Sb, Se, U, As).

En la Tabla 40 se muestra el orden de concentración de los elementos contenidos en *L. pacífica*. En marzo del 2000 los elementos con mayor concentración entre las estaciones fueron principalmente Br, Ca, Fe, Zn, Ba y Sr, mientras en marzo del 2001 se observó a Fe, Ca, Br, Mn y Ba. En ambas épocas coincidió la presencia de Fe, Ca y Ba con valores altos.

Tabla 40. Orden de concentración de elementos mayores, traza y lantánidos en *Laurencia pacífica* del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de los elementos
	Elementos mayores y traza (marzo del 2000)
1	Br> Ca> Fe> Zn> Ba> Zr> Sr> U> Cr> Sb> Co> Hf> Cs> Se> Sc> Th
5	Br> Ca> Fe> Ba> Zn> Mn> Cu> Zn> Sr> Cr> Co> Rb> Ni> Sc> U> Cd> Sb> Pb> Th> Se> Hf> Cs
6	Br> Ca> Fe> Sr> Zn> Ba> Ni> Co> Cr> U> Sb> Cs> Sc> Se> Hf> Th
7	Br> Ca> Fe> Sr> Zn> Cu> Ba> Mn> Rb> As> Ni> Cr> Co> U> Sc> Cd> Hf> Pb> Cs> Se> Th
	Lantánidos
1	Nd> Ce> Gd> Sm> Dy> La> Er> Pr> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu> Eu
5	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> Nd> La> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
7	Ce> Nd> Dy> Gd> La> Er> Yb> Sm> Pr> Ho> Tb> Lu> Tm> Eu
	Elementos mayores y traza (marzo del 2001)
2	Fe> Ca> Mn> Br> Ba> Zn> Sr> Cu> Zr> Co> Rb> As> Cr> Ni> U> Se> Sc> Cd> Cs> Pb> Th> Hf> Sb
6	Ca> Br> Fe> Zr> Ba> Zn> Cr> Sr> Co> Rb> U> Sc> Sb> Se> Hf> Ta> Th
8	Ca> Br> Fe> Ba> Mn> Sr> Cu> Co> Zr> Zn> As> Ni> U> Rb> Cr> Cd> Se> Sb> Sc> Pb> Th> Ta> Hf
	Lantánidos
2	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> La> Nd> Dy> Yb> Gd> Er> Pr> Sm> Ho> Eu> Lu> Tb> Tm
8	Ce> Nd> La> Dy> Gd> Yb> Er> Pr> Ho> Sm> Eu> Tb> Lu> Tm

Pterocladia capillaceae

De esta especie fueron pocos los ejemplares recolectados, en marzo, agosto y diciembre del 2000. La variación temporal de la concentración permitió diferenciar a Co, Sb, Sc, Ni y Cd como elementos con contenido alto y similar entre las épocas de marzo y agosto del 2000; y Se y Cr fueron semejantes en marzo y diciembre del 2000 (Figura 98). En diciembre se encontraron los menores contenidos a excepción de Se, Cr y As cuya datos fueron altos en este mes (Figura 99).

En marzo del 2000, el contenido alto se encontró en las estaciones 1 (U, Zn, Mn, Cd), 2 (Sr, Co, Se, Sb, Br) y 7 (Sc, Cr, As, Pb, Ni) (Figura 98). En agosto del 2000 fueron estaciones 5 (Cr, Co, Se, Sb, Cu, Zn, Pb) y 8 (As, U, Mn, Ni) (Figura 99). Para diciembre del 2000, la mayor concentración de

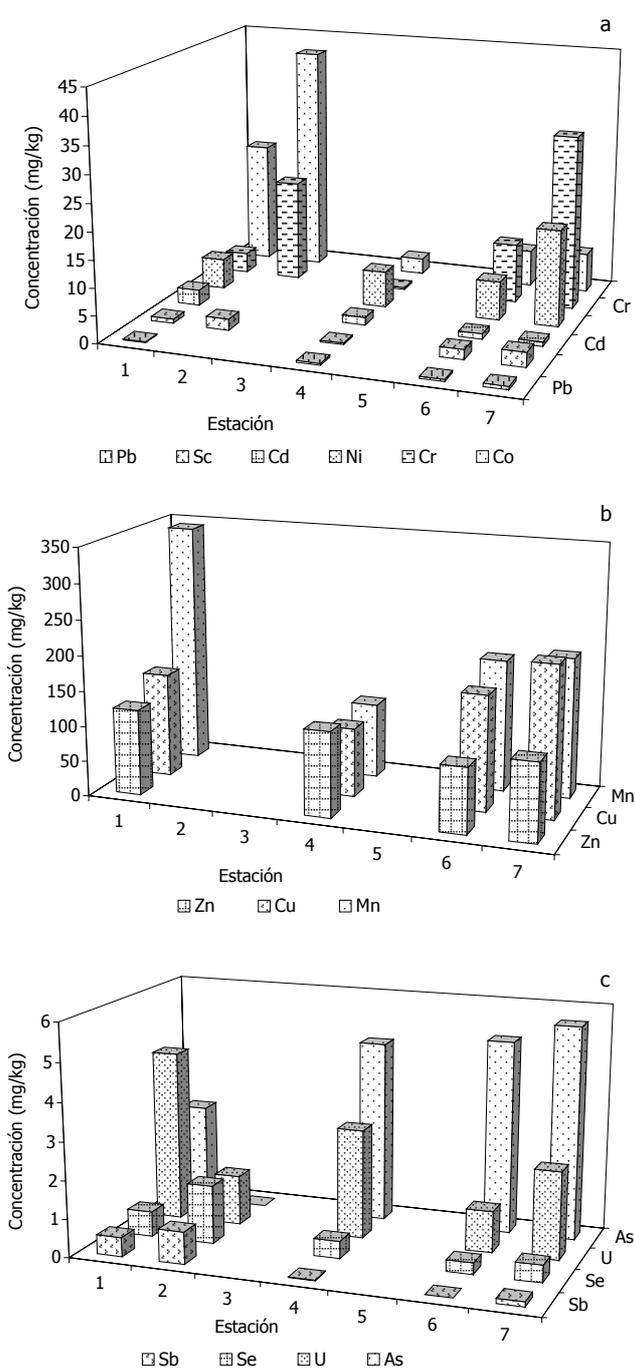


Figura 98. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *P. capillaceae* durante marzo del 2000 en Santa Rosalía. a) Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co; b) Zn, Cu y Mn; c) Sb, Se, U y As.

elementos en *P. capillaceae* se observó principalmente en la estación 7 (Cr, Se, As, Br, Cu, Zn) (Figura 90). A pesar que fueron pocas las estaciones en que se recolectó a *P. capillaceae*, fue posible considerar a las estaciones 5 y 7 como zonas importantes para la acumulación.

En la Tabla 41 se presenta el orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos de *P. capillaceae*, para cada mes y estación. Los elementos con mayor concentración en esta especie durante marzo, agosto y diciembre del 2000 fueron Ca, Fe, Br, Mn y Sr, principalmente. En el caso de los lantánidos, los de mayor presencia en la especie fueron las tierras raras ligeras (La, Ce, Pr, Nd) y poco elementos de las tierras raras pesadas (Gd, Dy).

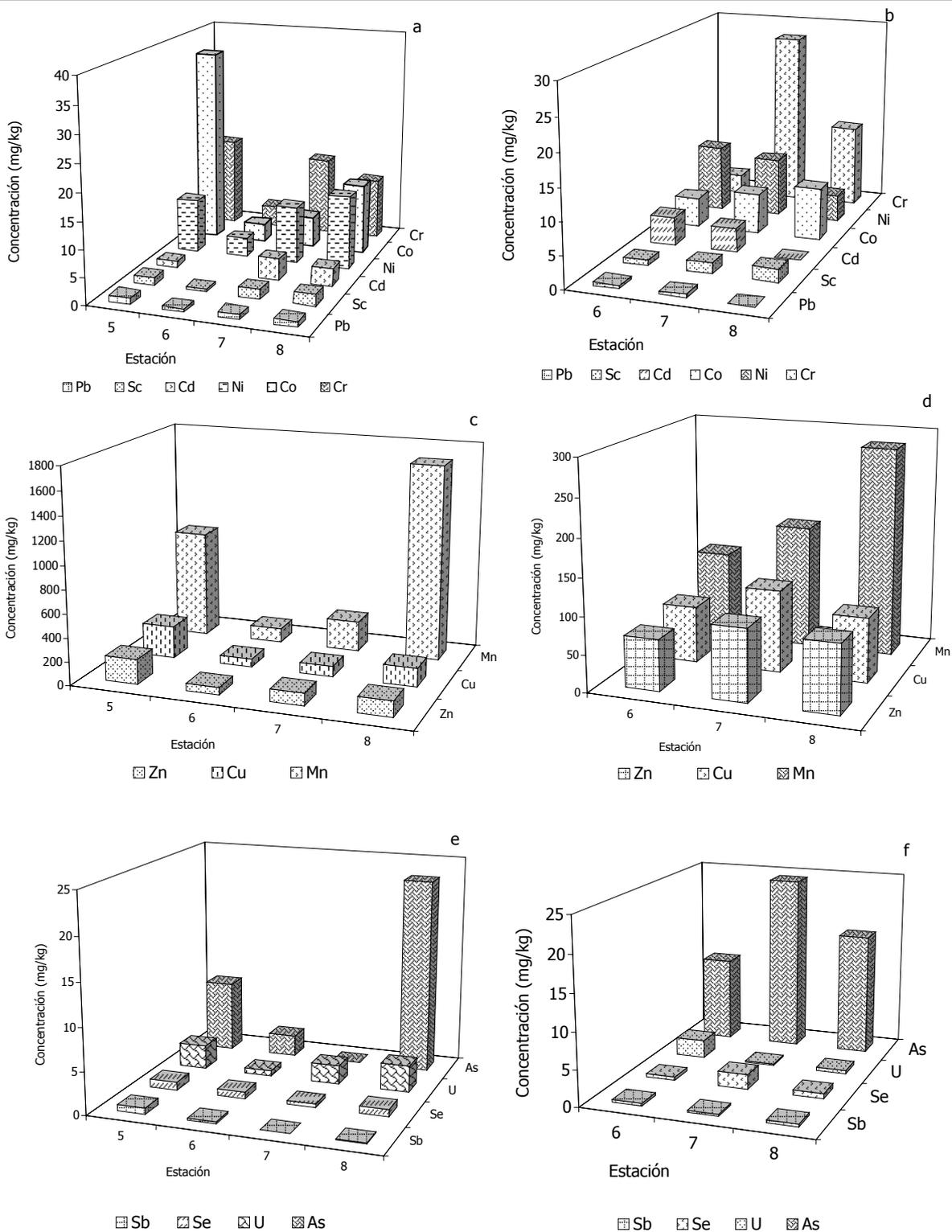


Figura 99. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *P. capillaceae* del área de Santa Rosalía. Agosto del 2000 (a. Pb, Cd, Sc, Ni, Cr, Co; c. Zn, Cu, Mn; e. Sb, Se, U, As) y diciembre del 2000 (b. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr, Co; d. Zn, Cu, Mn; f. Sb, Se, U, As).

Tabla 41. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *P. capillaceae* del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de los elementos
	Elementos mayores y traza (marzo del 2000)
1	Fe> Ca> Br> Mn> Sr> Ba> Cu> Zn> Zr> Co> Rb> Ni> U> Cr> Cd> As> Cs> Sc> Se> Sb> Hf> Pb> Th
2	Br> Ca> Fe> Ba> Sr> Zn> Zr> Co> Cr> Sc> Se> U> Sb> Hf> Th> Cs> Ta
4	Ca> Br> Fe> Zn> Mn> Cu> Zr> Ba> Sr> Ni> Rb> As> Co= U> Cs> Cd> Se> Pb> Cr> Sc> Ta> Th> Hf> Sb
6	Ca> Fe> Br> Mn> Cu> Sr> Ba> Zr> Zn> Cr> Ni> Co> As> Sc> U> Cd> Hf> Pb> Th> Se> Ta
7	Ca> Fe> Br> Sr> Cu> Mn> Zn> Cr> Ni> Zr> Rb> Ba> Co> As> Sc> Hf> Cs> Cd> Th> Pb> Se> Sb
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
2	Ce> Nd> La> Gd> Dy> Sm> Eu> Pr> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
4	Ce> La> Yb> Nd> Er> Dy> Gd> Pr> Lu> Sm> Ho> Tm> Eu> Tb
6	Ce> La> Nd> Gd> Sm= Dy> Pr> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
7	Ce> La> Nd> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
	Elementos mayores y traza (agosto del 2000)
5	Ca> Fe> Br> Mn> Sr> Cu> Ba> Zn> Zr> Co> Rb> Cr> Ni> As> U> Sc> Pb> Cd> Se> Sb> Hf> Ta> Th> Cs
6	Ca> Br> Fe> Sr> Ba> Mn> Cu> Zn> Zr> Cr> Ni> Co> As> Cs> Se> U> Pb> Sc> Th> Sb> Hf
7	Fe> Ca> Br> Mn> Sr> Zn> Cu> Zr> Ba> Cr> Ni> Co> Cd> Rb> U> Sc> Pb> Cs> Se> Th> Hf
8	Fe> Ca> Mn> Br> Ba> Sr= Zr> Cu> Zn> Rb> As> Ni> Co> Cr> Cd> U> Sc> Pb> Se> Hf> Th> Cs> Sb> Ta
	Lantánidos
5	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu
6	Ce> Nd> La> Dy> Gd> Er> Yb> Sm> Pr> Eu> Ho> Tb> Lu> Tm
7	Ce> La> Nd> Gd= Dy> Pr> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm= Lu
8	Ce> Nd> La> Gd> Sm> Dy> Pr> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
	Elementos mayores y traza (diciembre del 2000)
6	Ca> Fe> Br> Sr> Mn> Cu> Zn> Rb> Ba> As> Ni> Co> Cd> Cr> U> Sc> Pb> Se> Sb> Cs> Hf= Ta> Th
7	Ca> Fe> Br> Sr> Mn> Cu> Zn> Ba> Zr> Cr> As> Ni> Rb> Co> Cd> Se> Sc> Pb> Th> Sb> U> Cs> Hf> Ta
8	Ce> Fe> Br> Sr> Mn> Zr> Zn> Ba> Cu> Rb> As> Cr> Co> Ni> Sc> Th> Se> Cs> U> Sb> Hf
	Lantánidos
6	Ce> Nd> Gd> Dy> La= Sm> Er> Yb> Pr> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
7	Ce> La> Nd> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
8	Ce> La> Nd> Gd> Pr> Sm> Dy> Er> Eu> Yb> Tb= Ho> Tm> Lu

Gracilaria sp.

Las concentraciones que se registraron para esta especie corresponden a marzo del 2001, se recolecto en las estaciones 5 a 9, las cuales se encuentran alejadas de la zona urbana.

En las estaciones 6 y 7 se encontraron ejemplares de *Gracilaria sp.* con elementos en concentración alta. En la estación 6 destacaron Sc, Cr, Sb, Cu, Mn, para la estación 7 fueron Se, Sb, Br, Zn y Pb, y únicamente As en la 8. En las Figuras 100 y 101 puede observarse la variación espacial de la concentración de los elementos en esta especie.

En la Tabla 34 se presenta el orden de concentración de los elementos mayores y traza en *Gracilaria* sp. Br, Ca, Fe, Mn y Ba fueron los elementos que destacaron por su alta concentración en las cinco estaciones, entre estos sobresalió Br debido al contenido (405 mg/kg - 16000 mg/kg) que llegó a encontrarse en esta especie. Por otro lado, entre los lantánidos, Ce, La, Nd, Gd y Dy fueron los más abundantes en esta alga y en las otras especies que han sido descritas.

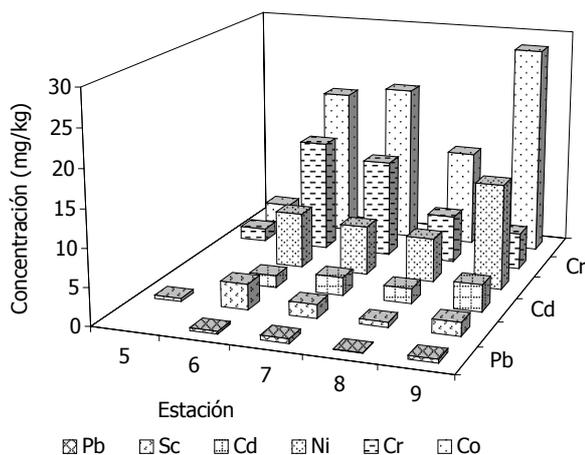


Figura 100. Variación espacial de la concentración de Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co en *Gracilaria* sp. del área de Santa Rosalía

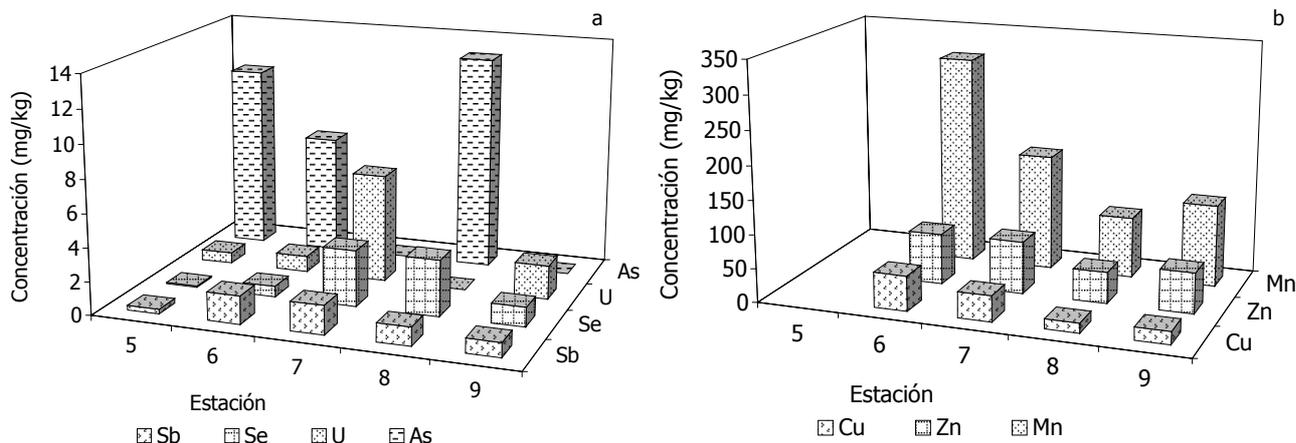


Figura 101. Variación espacial de la concentración (mg/kg) de (a) Sb, Se, U y As, y (b) Cu, Zn y Mn en *Gracilaria* sp. del área de Santa Rosalía

Tabla 42. Orden de concentración de elementos mayores, traza y lantánidos en *Gracilaria* sp. del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de los elementos
	Elementos mayores y traza (marzo del 2001)
5	Ca> Br> Fe> Zn> Rb> Ba> Sr> Ni> As> Co> Cr> U> Sc> Sb> Cs> Hf> Th> Se
6	Br> Ca> Fe> Sr> Ba> Zr> Mn> Zn> Cu> Co> Cr> Ni> As> Sc> Sb> Cd> Th> U> Hf> Se> Pb
7	Br> Fe> Ca> Mn> Ba> Sr> Zr> Zn> Cu> Co> Cr> Ni> U> Se> Cd> Sc> Sb> Cs> Th> Pb> Hf
8	Br> Fe> Ca> Zr> Ba> Mn> Sr> Rb> Zn> Cu> Co= As> Cr> Ni> Se> Th= Cs> Cd> Sb> Hf> Sc> Pb
9	Br> Fe> Ca> Zr> Mn> Zn> Ba> Co> Cu> Ni> Cr> Cd> U> Sc> Se> Sb> Cs> Pb> Hf

Tabla 42 (continuación). Orden de concentración de elementos mayores, traza y lantánidos en *Gracilaria sp.* del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de los elementos
	Lantánidos
5	Ce> Nd> La> Dy> Gd> Eu> Sm> Pr= Er> Yb> Ho> Tb> Tm= Lu
6	Ce> Nd> La> Dy> Gd> Er> Yb> Sm> Pr> Ho> Eu> Tb> Tm= Lu
7	Ce> La> Nd> Yb> Er> Dy> Eu> Gd> Pr> Lu> Sm> Ho> Tm> Tb
8	Ce> Nd> La> Gd> Dy> Er> Sm> Yb> Pr> Ho> Tb> Tm> Lu> Eu
9	Ce> La> Nd> Yb> Dy> Er> Gd> Sm> Pr> Ho> Lu> Eu= Tm> Tb

Colpomenia tuberculata

Esta fue una de las especies con mayor presencia en la zona durante marzo, ya que fue posible recolectarla en todas las estaciones. En ambas épocas (marzo 2000 y 2001) las concentraciones de Cd, Pb, Sc, Ni, Cr, Sb, U, As, Cu, Zn y Mn fueron muy semejantes, sin embargo, la variación espacial fue notoria. Co y Se fueron la excepción debido al incremento que se registró en la concentración en marzo del 2001.

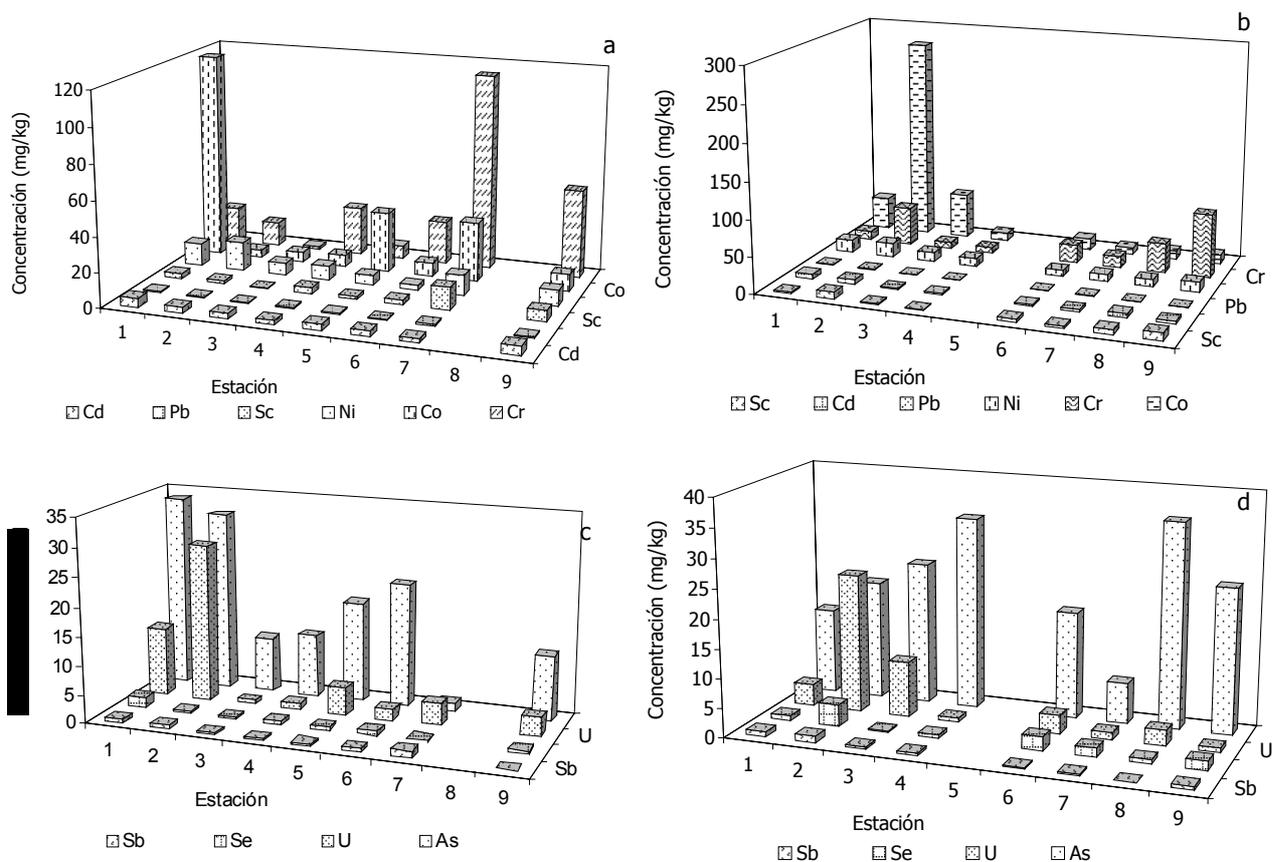


Figura 102. Variación espacial y temporal de la concentración de elementos traza en *C. tuberculata* del área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Cd, Pb, Sc, Ni, Co y Cr; c. Sb, Se, U y As) y marzo del 2001 (b. Sc, Cd, Pb, Ni, Cr y Co; d. Sb, Se, U y As).

La Figura 102 muestra la variación espacial y estacional del contenido de elementos traza en *C. tuberculata*. Durante marzo del 2000, las estaciones que sobresalieron por la concentración fueron 1 (Cd, Co, Se, As), 2 (Ni, U, Cu, Zn, Mn), 7 (Pb, Sb, Sc, Cr) y 9 (Cd). Mientras, en marzo del 2001 fueron la 1 (Cd), 2 (Pb, Co, Ni, Sb, Se, U, Cu, Zn, Mn), 8 (As) y 9 (Sc, Cr). Las estaciones 1, 2 y 7 coincidieron y destacaron en ambos años, por las concentraciones de elementos en esta especie.

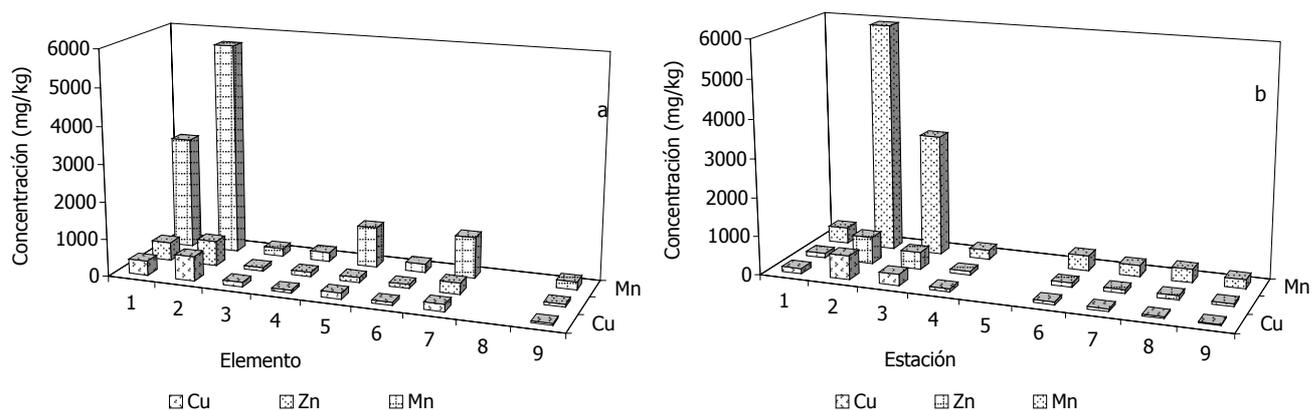


Figura 102 (continuación). Variación espacial y temporal de la concentración de elementos traza en *C. tuberculata* del área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Cu, Zn y Mn) y marzo del 2001 (b. Cu, Zn y Mn).

En la Tabla 42 se muestra el orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *C. tuberculata*. En marzo de ambos años (2000 y 2001) Fe, Ca, Mn, Sr, Br y Ba fueron los elementos de mayor contenido entre las diferentes estaciones de recolecta. En las estaciones (4 y 5) donde se observó descarga de aguas residuales no se percibió mayor variación en el orden de concentración de los elementos antes mencionados. Con respecto a los lantánidos, los elementos principales fueron Ce, La, Nd y Pr, aunque también pueden considerarse Gd y Dy.

Dictyota dichotoma

Los meses en que se recolectó *D. dichotoma* fueron marzo y agosto del 2000 y marzo del 2001. En marzo de ambos años observó mayor presencia de esta especie (Tabla 39). El contenido alto y semejante se encontró en marzo del 2000 y 2001, para Co, Ni, U, Cu, Zn, Mn, As, Se, Pb, Ni y Br.

Tabla 42. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *Colpomenia tuberculata* del área de Santa Rosalía

Orden de los elementos
Elementos mayores y traza (marzo del 2000)
Fe> Mn> Sr> Ca> Ba> Zn> Br> Zr> Co> Rb> As> Cr> Ni> U> Cd> Sc> Cs> Se> Sb> Pb> Th> Hf
Fe> Mn> Ca> Zn> Cu> Sr> Br> Ba> Zr> As> U> Ni> Rb> Cr> Co> Cd> Sc> Hf> Sb> Pb> Th> Cs> Se
Ca> Sr> Fe> Br> Mn> Cu> Zn> Ni> Ba> As> Co> Cd> Rb> Cr> U> Pb> Sc> Se> Cs> Sb> Th> Hf
Fe> Ca> Sr> Br> Mn> Ba> Zr> Zn> Cu> Cr> As> Ni> Rb> Co> Sc> Cd> Hf> Cs> Th> U> Pb> Se> Ta> Sb
Ca> Fe> Mn> Sr> Br> Ba> Cu> Zn> Rb> Zr> Co> As> Cr> Ni> Cd> Sc> Pb> Se> Cs> Sb= Hf> Th
Fe> Ca> Sr> Ba> Br> Mn> Zn> Zr> Cu> Cr> As> Co> Cd> Ni> Sc> U> Cs> Hf> Se> Th= Sb> Pb
Fe> Ca> Mn> Sr> Ba> Zn> Cu> Cr> Br> Co> Sc> Ni> U> Hf> Cd> Th> Cs> As> Sb> Pb> Ta> Se
Fe> Ca> Sr> Br> Ba> Mn> Zr> Zn> Cr> Cu> Rb> As> Co> Ni> Sc> Cd> U> Th> Hf> Pb> Cs> Se> Ta> Sb
Lantánidos
Ce> La> Nd> Pr> Gd= Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Pr> Sm> Gd> Dy> Er> Tb> Yb> Ho> Eu> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Dy> Pr> Gd> Er> Yb> Sm> Eu> Ho> Tb> Lu> Tm
Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> Nd> La> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Gd> Pr> Dy> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Gd> Dy> Pr> Sm> Er> Yb> Ho> Eu> Tb> Tm> Lu
Elementos mayores y traza (marzo del 2001)
Fe> Ca> Br> Sr> Mn> Ba> Cu> Zn> Rb> Co> Ni> As> Cr> Cd> U> Sc> Se> Sb> Pb> Th> Ta> Hf> Cs
Fe> Mn> Ca> Ba> Sr> Zn> Cu> Br> Co> Zr> Cr> Rb> U> As> Ni> Sc> Cd> Se> Cs> Sb> Pb> Th> Hf
Fe> Mn> Ca> Sr> Br> Zn> Cu> Ba> Zr> Rb> Co> As> Ni> U> Cr> Cd> Sc> Cs> Sb> Se> Th> Hf
Fe> Ca> Sr> Br> Mn> Ba> Zn> Cu> Rb> As> Zr> Ni> Co> Cr> Cd> Sc> U> Se> Pb> Sb> Th> Hf
Fe> Ca> Sr> Br> Mn> Ba> Zr> Zn> Cu> Cr> As> Co> Rb> Ni> Sc> U> Se> Cd> Hf> Th> Cs> Pb> Sb> Ta
Fe> Ca> Sr> Br> Mn> Ba> Zn> Rb> Cu> Cr> Ni> Co> As> Cd> Sc> Se> U> Hf> Pb> Th> Cs> Sb
Fe> Ca> Sr> Mn> Br> Ba> Zn> Zr> Rb> Cu> Cr> As> Co> Ni> Sc> Cd> U> Hf> Cs> Th> Se> Pb> Sb
Fe> Ca> Sr> Ba> Br> Mn> Rb> Cr> Zr> Zn> Cu> As> Ni> Co> Sc> Cd> Th> Se> Hf> Cs> U> Sb> Pb> Ta
Lantánidos
Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Gd> Dy> Pr> Sm> Er> Yb> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Gd> Dy> Pr> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Gd> Pr> Sm> Dy> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
Ce> La> Nd> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu

Con respecto a Cr el dato que destaco se observó en marzo del 2000 (estación 2), y para Sb, Se y Cd los niveles altos se encontraron en marzo del 2001. En la mayoría de los elementos las concentraciones menores se detectaron en agosto del 2000. La Figura 103 muestra la variación espacial de la concentración de elementos traza en *D. dichotoma*, en marzo del 2000 y 2001.

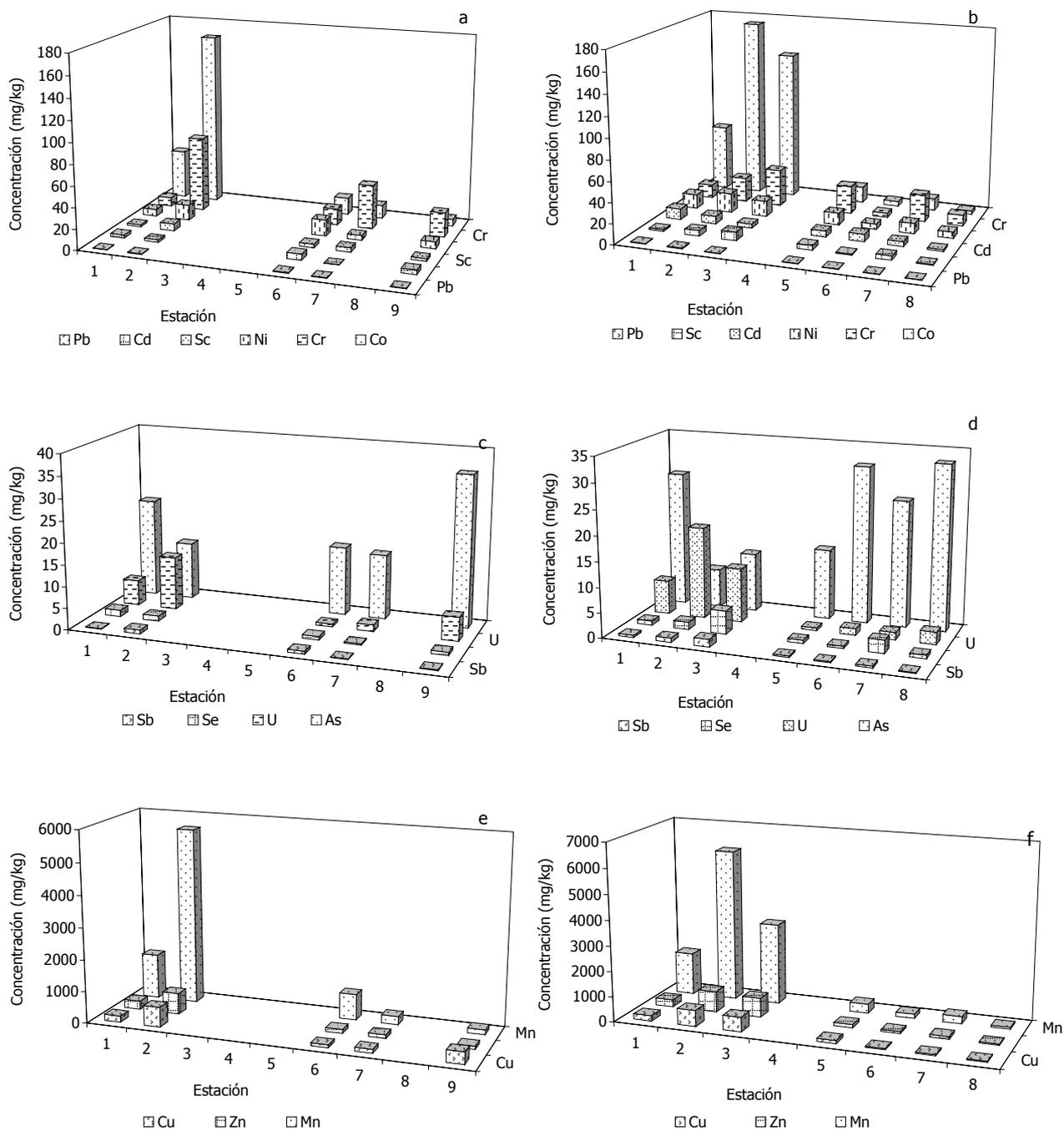


Figura 103. Variación espacial de la concentración de elementos traza en *D. dichotoma* en el área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Pb, Cd, Sc, Ni, Cr y Co; c. Sb, Se, U y As; e. Cu, Zn y Mn) y marzo del 2001 (b. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co; d. Sb, Se, U y As; f. Cu, Zn y Mn)

De acuerdo a los datos de concentración para esta alga, se identificaron algunas estaciones con el mayor número de elementos con alto contenido. En marzo del 2000 fueron la estación 2 (Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Sb, U, Cu, Zn, Mn, Ni), 6 (Cd, Pb, Ni) y 9 (As, Br). Para marzo del 2001, fueron la 1 (Br, Cd), 2 (Co, U, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni) y 3 (Sc, Cr, Se, Sb) (Figura 103). En ambos años, la estación 2 fue la zona donde mayor acumulación de elementos presentó *D. dichotoma*, diferenciándola como una zona importante de aporte de elementos para la biota. Otras fueron la 6 (marzo del 2000) y 3 (marzo del 2001). En la Tabla 43 se indica la variación espacial del orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *D. dichotoma*. Fe y Ca fueron los elementos mayores más abundantes y entre los traza destacaron Mn, Sr, Ba, Zn, además de Cu y Br. Con respecto a los lantánidos, Ce, La, Nd, Pr y Gd fueron los más abundantes en esta especie.

Tabla 43. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *Dictyota dichotoma* del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de los elementos
	Elementos mayores y traza (marzo del 2000)
1	Fe> Ca> Mn> Sr> Ba> Zn> Cu> Br> Co> As> Cr> Ni> U> Cd> Sc> Se> hf> Pb> Th> Cs> Sb
2	Fe> Mn> Ca> Sr> Ba> Zn> Cu> Zr> Br> Co> Cr> Ni> As> U> Sc> Cd> Se> Th> Sb> Hf> Cs> Pb> Ta
6	Fe> Ca> Mn> Sr> Ba> Br> Zn> Cu> Co> As> Cr> Ni> Cd> Se> Th> Pb> U> Sb> Hf
7	Fe> Ca> Sr> Ba> Br> Mn> Cu> Zn> Cr> Zr> As> Co> Ni> Sc> U> Fe> Hf> Pb> Th> Se> Cd> Ta> Sb> Cs
9	Fe> Ca> sr> Br> Cu> Ba> Mn> Zn> As> Cr> Ni> Co> U> Cd> Sc> Hf> Se> Cs> Th> Pb> Ta> Sb
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
2	Ce> La> Nd> Gd> Pr> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> La> Nd> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
7	Ce> La> Nd> Gd> Dy> Pr> Sm> Er> yb> Ho> Tb> Tm> Eu> Lu
9	Ce> Nd> La> Gd> Dy> Sm> Pr> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
	Elementos mayores y traza (agosto del 2000)
7	Ca> Fe> Sr> Br> Mn> Zn> Ba> Cu> Zr> Cr> As> Ni> Co> Cd> Sc> Se> Pb> U> Sb> Hf> Th
8	Fe> Ca> Mn> Sr> Br> Zn> Cu> Ba> As> Co> Cr> Ni> Cd> Se> Sc> U> Th> Pb> Sb> Hf> Cs
	Lantánidos
7	Ce> Nd> La> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Pr> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
8	Ce> La> Nd> Gd> Pr> Sm> Dy> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu> Eu
	Elementos mayores y traza (marzo del 2001)
1	Fe> Ca> Mn> Br> Sr> Ba> Zn> Cu> Co> Rb> Zr> As> Ni> Cr> Cd> U> Sc> Se> Th> Pb> Sb> Hf> Cs
2	Fe> Mn> Ca> Sr> Ba> Zn> Cu> Br> Zr> Co> Cr> Ni> U> Rb> As> Cd> Sc> Se> Hf> Pb> Sb> Th> Cs> Ta
3	Fe> Ca> Mn> Ba> Sr> Zn> Br> Cu> Zr> Co> Ni> Cr> Rb> Ni> As> U> Sc> Se> Cd> Hf> Cs> Sb> Th> Pb
5	Fe> Ca> Sr> Br> Mn> Ba> Zr> Cu> Rb> Cr> Co> As> Ni> Cd> Sc> Th> Hf> Se> Cs> U> Pb> Sb> Ta
6	Fe> Ca> Br> Sr> Mn> Ba> Zn> Rb> Cu> As> Cd> Ni> Co> Cr> U> Sc> Cs> Hf> Se> Pb> Sb> Th
7	Fe> Ca> Sr> Br> Ba> Mn> Zr> Zn> Rb> Cu> Cr> As> Co> Ni> Cd> Hf> Sc> Se> U> Th> Pb> Sb> Cs
8	Ca> Fe> Br> Sr> Ba> Mn> Zn> As> Rb> Cu> Cr> Ni> Co> U> Cd> Sc> Se> Pb> Ta> Sb> Hf> Th

Tabla 43 (continuación). Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *Dictyota dichotoma* del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de los elementos
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu> Eu
2	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Eu> Yb> Tb= Ho> Tm> Lu
3	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
5	Ce> La> Nd> Gd> Dy> Pr> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> Nd> Dy> Gd> Yb> La=Er> Sm> Pr> Ho> Tb> Lu> Eu> Tm
7	Ce> La> Nd> Gd> Pr> Dy> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
8	Ce> La> Nd> Dy> Gd> Er> Yb> Sm> Pr> Ho> Eu> Tb> Lu> Tm

Padina durvillaei

P. durvillaei se encontró en la época de primavera (marzo 2000 y 2001) y en verano (junio del 2000), sobretodo fue el mes correspondiente al verano cuando se observó a esta especie mas ampliamente distribuida en 8 de las 9 estaciones. Las Figuras 104 y 105 muestran la variación espacial de la concentración de elementos mayores y traza durante las tres épocas en que se encontró esta especie. Los resultados muestran a Co, Sc, Cu, Zn, U, Pb, Ni y Mn como los elementos que presentaron contenidos altos y semejantes en los meses de marzo de ambos años (2000 y 2001), mientras que en junio del 2000 los valores fueron bajos.

La distribución temporal de la concentración de Cr y Sb en esta especie permitió observar valores altos en marzo del 2000, para As fue en marzo del 2001 y con Se fue casi similar en las tres épocas (Figura 104). La variación espacial de los valores que corresponden a marzo del 2000 muestra que las estaciones de máximo contenido de elementos en *P. durvillaei* fueron principalmente 1 (Cd), 2 (Co, Cu, Zn, U, Mn), 5 (Se), 6 (As) y 7 (Cr, Sc, Sb, Pb, Ni).

En junio del 2000, el mayor número de elementos en concentración alta para esta especie se encontró principalmente en la estación 3 (Co, Sc, Cu, Zn, U, Ni, Mn), además en 1 (As, Sb), 2 (Cr, U) y 9 (Pb, Se) (Figura 104). En marzo del 2001 ocurrió en la 1 (Cd, Cr, Se), 2 (As), 3 (Co, Sb, U, Pb, Ni, Mn, Cu, Zn), 4 (Se), 6 (Sb) y 7 (Sc) (Figura 105). Las estaciones en común para las tres épocas que presentaron elementos con contenido alto fueron 1, 2, 3 y 7. En la Tabla 44 se indica el orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *P. durvillaei* por estación en los meses en que se colectaron.

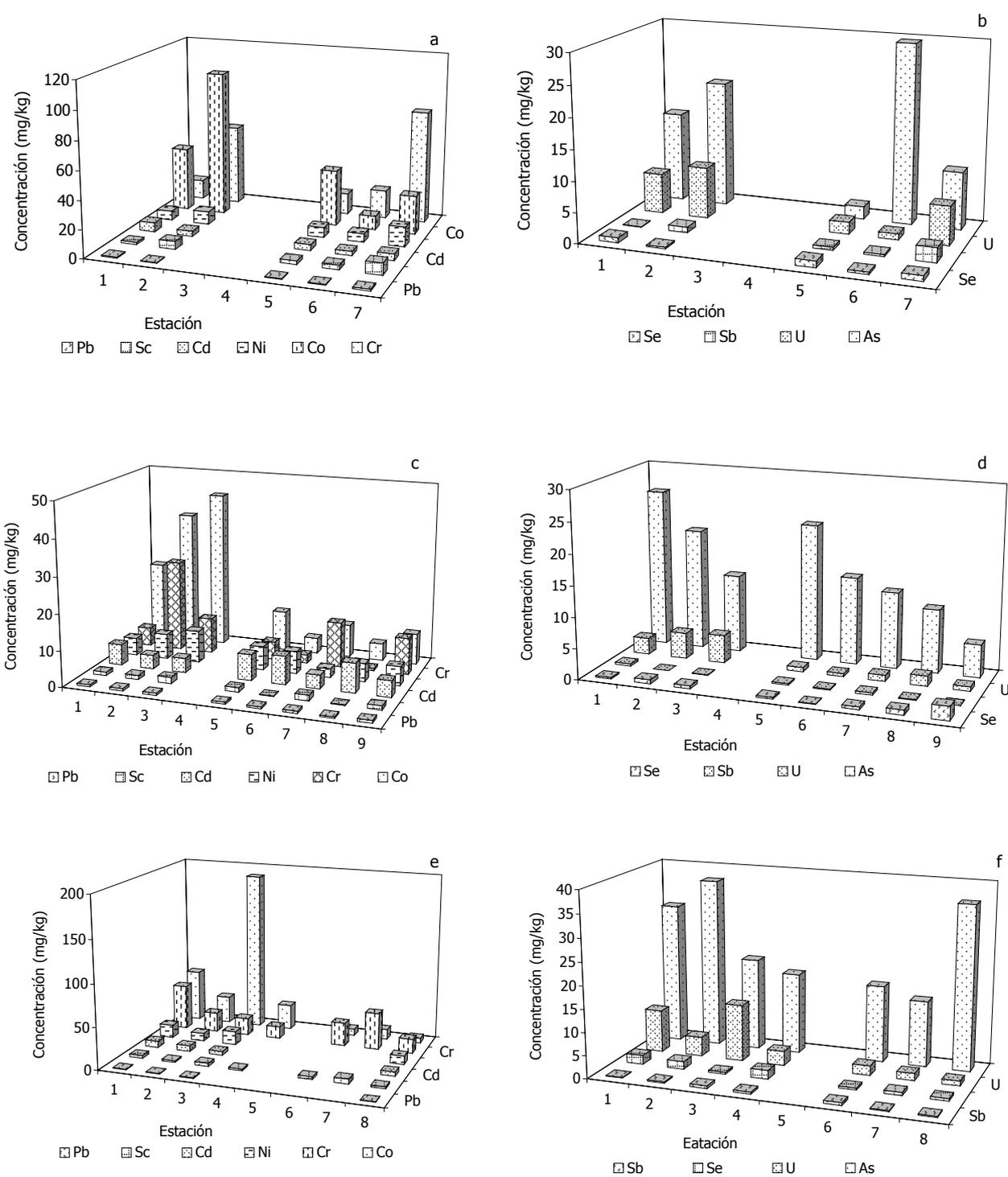


Figura 104. Variación espacial y temporal de la concentración de elementos mayores y traza en *P. durvillaei* en el área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Pb, Sc, Cd, Ni, Co y Cr; b. Se, Sb, U y As), junio del 2000 (c. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co; d. Se, Sb, U y As) y marzo del 2001 (e. Pb, Sc, Cd, Ni, Cr y Co; f. Sb, Se, U y As).

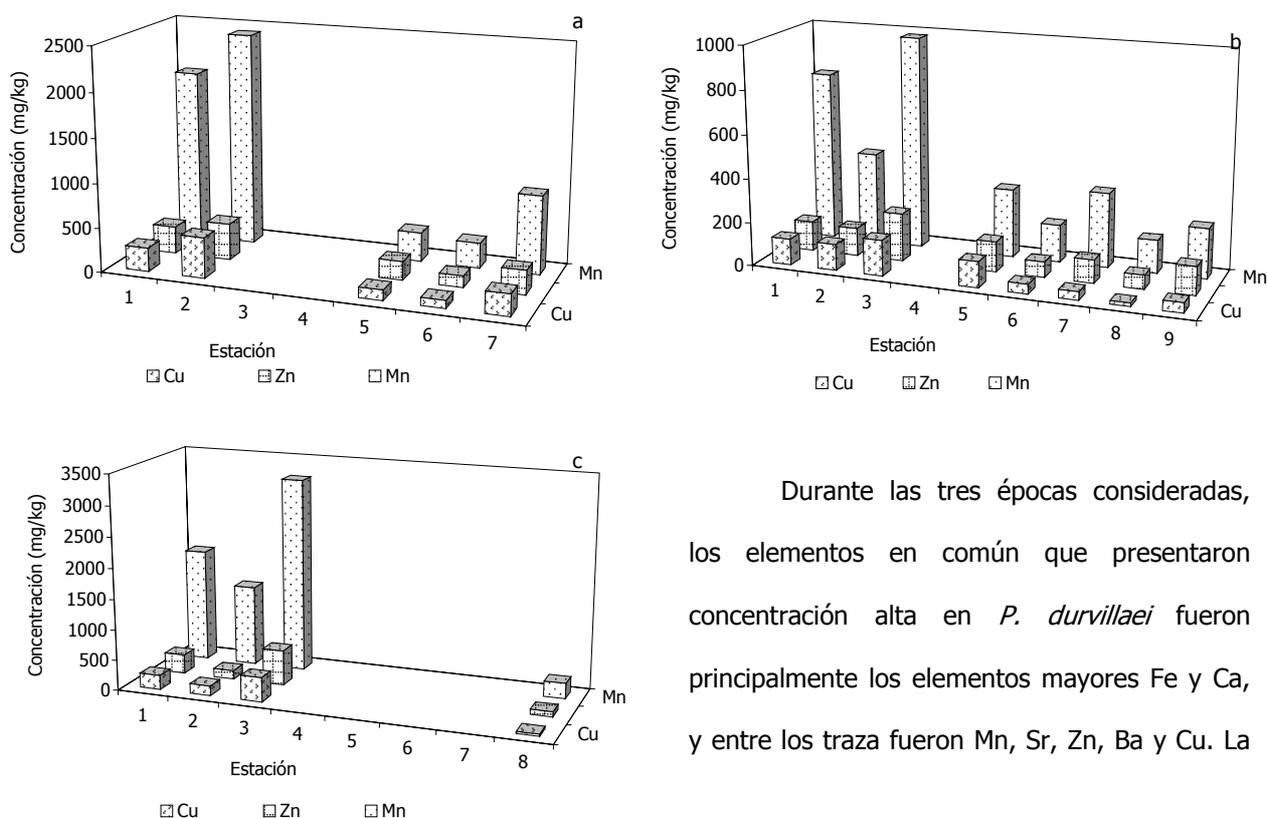


Figura 105. Variación de la concentración de Cu, Zn y Mn en *P. durvillaei* durante (a) marzo del 2000, (b) junio del 2000 y (c) marzo del 2001

Durante las tres épocas consideradas, los elementos en común que presentaron concentración alta en *P. durvillaei* fueron principalmente los elementos mayores Fe y Ca, y entre los traza fueron Mn, Sr, Zn, Ba y Cu. La

mayor variación en el orden de los elementos se encontró observó a partir de la estación 5.

Con respecto a los lantánidos se encontró un orden semejante en las tres épocas, el cual fue Ce, La, Nd, Pr, Gd, Sm y Dy.

Tabla 44. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *Padina durvillaei* durante marzo del 2000, junio del 2000 y marzo del 2001, en el área de Santa Rosalía

Estación	Orden de concentración de los elementos
	Elementos mayores y traza (marzo del 2000)
1	Fe> Ca> Mn> Sr> Zn> Ba> Cu> Zr> Br> Co> As> Cr> Rb> Cd> U> Ni> Sc> Se> Pb> Cs> Th> Hf> Sb
2	Fe> Ca> Mn> Sr> Ba> Zn> Cu> Zn> Br> Zr> Co> Cr> As> Rb> Ni> U> Sc> Cd> Cs> Th> Sb> Pb> Se> Hf
5	Fe> Ca> Sr> Ba> Mn> Zn> Br> Cu> Zr> Co> Cr> Ni> Cd> Rb= Sc> As> U> Se> Pb> Cs> Sb> Hf> Th> Ta
6	Fe> Ca> Sr> Ba> Mn> Br> Zn> Cu> As> Cr> Co> Rb> Ni> Sc> Cd> U> Hf> Th> Pb> Cs> Se> Sb
7	Fe> Ca> Sr> Mn> Ba> Zn> Cu> Br> Zr> Cr> Rb> Co> Ni> As> Sc> U> Cd> Cs> Sb> Hf> Th> Pb> Se> Ta
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
2	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Tb= Ho> Tm> Lu
5	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> La> Nd> Gd> Pr= Dy> Sm> Er> Yb> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu
7	Ce> La> Nd> Gd> Pr> Sm> Dy> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu

Tabla 44 (continuación). Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *Padina durvillaei* durante marzo del 2000, junio del 2000 y marzo del 2001, en el área de Santa Rosalía

Estación	Orden de concentración de los elementos
	Elementos mayores y traza (junio del 2000)
1	Ca> Fe> Sr> Mn> Ba> Br> Zn> Cu> As> Rb> Co> Cd> Cr> Ni> U> Sc> Pb> Sb> Se> Th> Hf
2	Ca> Fe> Sr> Mn> Ba> Br> Zn> Cu> Zr> Co> Cr> As> Ni> U> Cd> Sc> Se> Pb> Th> Cs> Hf
3	Ca> Fe> Sr> Mn> Ba> Br> Zn> Cu> Zr> Co> As> Ni> U> Cd> Sc> Pb> Se> Hf> Sb> Th
5	Ca> Fe> Sr> Mn> Br> Zn> Ba> Cu> Zr> As> Co> Cd> Ni> Cr> Rb> Sc> U> Cs> Pb> Se> Sb> Hf> Th> Ta
6	Ca> Sr> Fe> Ba> Br> Mn> Zn> Cu> As> Cd> Ni> Co> Rb> Cr> Pb> U> Cs> Sb> Sc> Th> Se> Hf
7	Ca> Br> Sr> Fe> Mn> Ba> Zn> Zr> Cu> Cr> As> Co> Cd> Ni> Sc> U> Hf> Pb> Se> Ta> Sb= Th
8	Ca> Sr> Br> Fe> Mn> Zn> Cu> Ba> As> Cd> Zr> Ni> Co> Rb> Cs> U> Se> Cr> Pb> Sc> Th> Sb> Ta
9	Ca> Fe> Sr> Br> Mn> Zn> Zr> Cu> Ba> Cr> Co> Ni> As> Cd> Se> Sc> Pb> U> Th> Hf> Cs> Sb
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu
2	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy= Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
3	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
5	Ce> Nd> La> Gd> Dy> Sm> Pr> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> La> Yb> Nd> Er> Eu> Dy> Pr> Gd> Lu> Ho> Tm> Sm> Tb
7	Ce> Nd> La> Dy> Gd> Er> Yb> Sm> Pr> Eu> Ho> Tb> Lu> Tm
8	Ce> La> Yb> Nd> Er> Dy> Gd> Pr> Lu> Ho> Sm> Tm> Tb> Eu
9	Ce> Nd> La> Gd= Dy> Sm= Er> Yb> Pr> Ho> Eu> Tb> Lu> Tm
	Elementos mayores y traza (marzo del 2001)
1	Fe> Ca> Mn> Sr> Ba> Br> Zn> Cu> Co> Cr> As> Rb> Ni> U> Cd> Sc> Se> Th> Hf> Pb> Cs> Sb
2	Fe> Ca> Mn> Sr> Br> Ba> Cu> Zn> Zr> As> Co> Cr> Rb> Ni> Cd> U> Sc> Se> Pb> Cs= Sb> Th> Ta> Hf
3	Fe> Ca> Mn> Ba> Zn> Sr> Br> Cu> Co> Zr> Cr> As> Ni> U> Cd> Sc> Cs> Pb> Th> Sb> Se> Hf= Ta
4	Ca> Fe> Sr> Br> Zn> Ba> Zr> Co> Rb> As> Cr> Ni> U> Sc> Se> Cs> Th> Sb> Hf> Ta
6	Ca> Fe> Sr> Br> Zn> Ba> Zr> Co> Rb> As> Cr> Ni> U> Sc> Se> Cs> Th> Sb> Hf> Ta
7	Ca> Fe> Sr> Br> Ba> Zr> Zn> Ni> Cr> As> Co> Sc> U> Hf> Th> Se> Cs> Sb> Ta
8	Fe> Ca> Sr> Br> Mn> Ba> Zn> Zr> As> Cu> Rb> Ni> Co> Cd> Sc> U> Se> Pb> Hf> Th> Sb> Cs
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
2	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Yb> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu
3	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Er> Yb> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu
4	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> La> Eu> Nd> Gd> Dy> Pr> Sm> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
7	Ce> La> Nd> Gd> Pr> Dy> Sm< Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu
8	Ce> La> Nd> Gd> Sm> Pr> Dy> Er> Yb> Eu> Ho> Tb> Tm> Lu

Sargassum sinicola

Los datos de concentración de elementos mayores, traza y lantánidos para *S. sinicola* corresponden a los meses de marzo y junio del 2000 y marzo del 2001. La mayor presencia de esta especie en el área de Santa Rosalía se observó en junio del 2000, mientras que en noviembre y diciembre del 2000 no se encontró ningún ejemplar. La presencia de esta especie se asoció al sustrato duro (cantos rodados) de todas las estaciones.

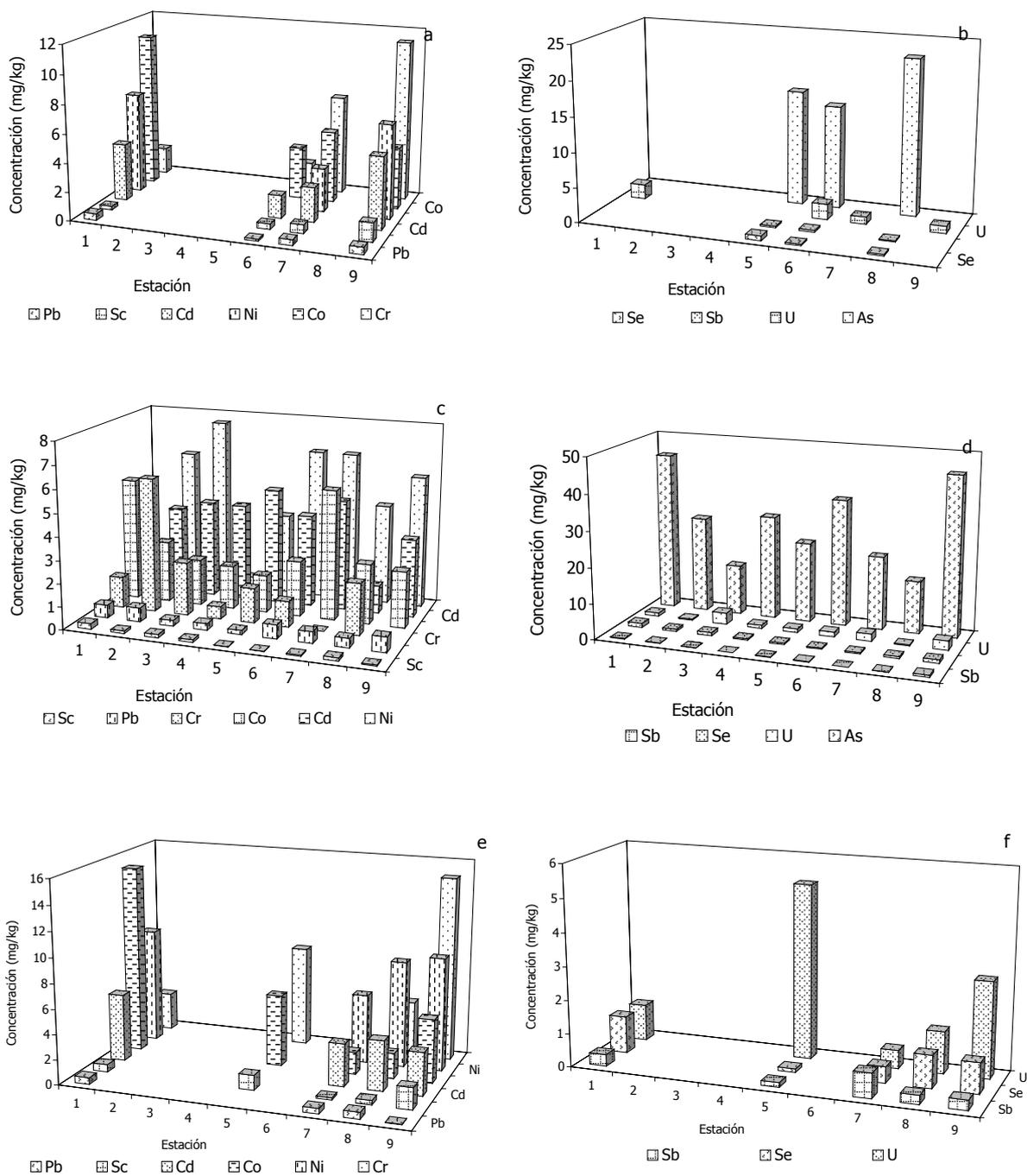


Figura 106. Variación espacial y temporal de la concentración de elementos traza en *Sargassum sinicola* del área de Santa Rosalía. Marzo del 2000 (a. Pb, Sc, Cd, Ni, Co y Cr; b. Se, Sb, U y As), junio del 2000 (c. Sc, Pb, Cr, Co, Cd y Ni; d. Sb, Se, U y As) y marzo del 2001 (e. Pb, Sc, Cd, Co, Ni y Cr; f. Sb, Se y U).

Los elementos cuyas concentraciones fueron altas y semejantes en *S. sinicola* durante marzo del 2000 y 2001 fueron Pb, Cu, Cr, Zn y Mn, mientras en junio del 2000 se detectaron los menores (Figura

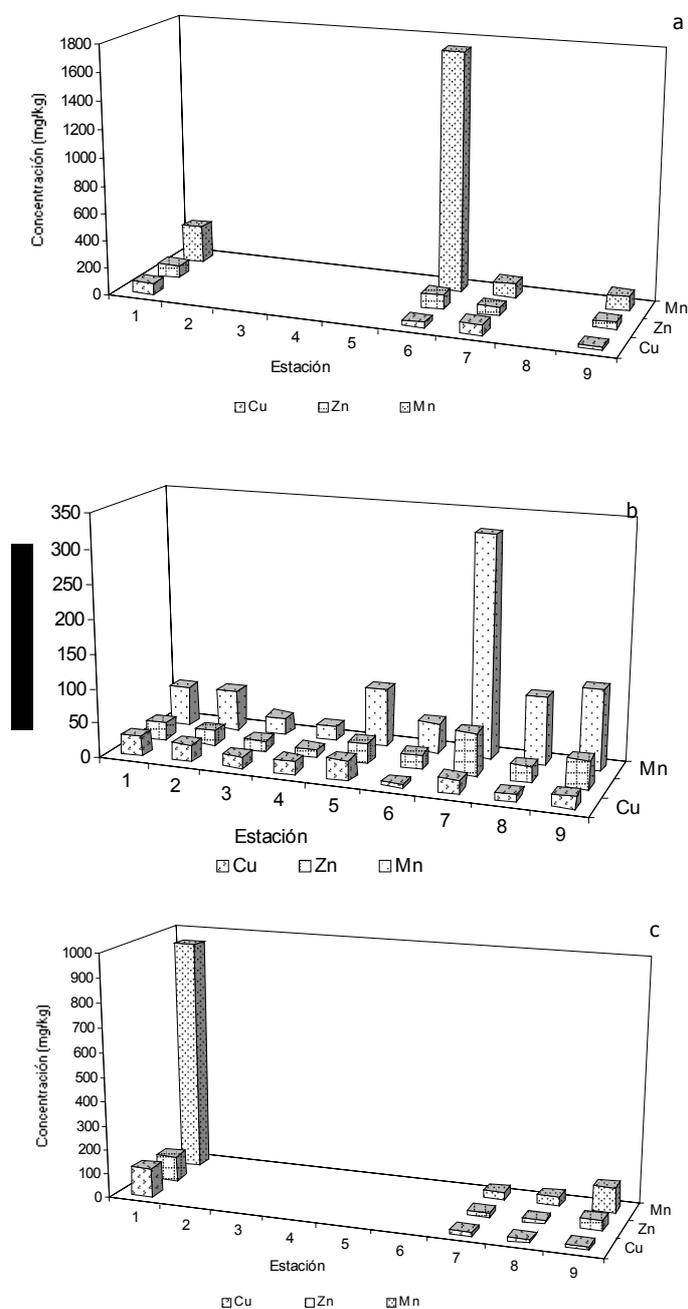


Figura 97. Variación espacial y temporal de la concentración de Cu, Zn y Mn en *S. sinicola* del área de Santa Rosalía durante marzo (a) y junio (b) del 2000, y marzo del 2001 (c)

106 y 107). Con Cd los contenidos fueron similares en las tres épocas (marzo y junio del 2000, y marzo del 2001); y para Se y Sb el nivel alto se encontró en junio del 2000 y marzo del 2001.

En marzo del 2000 las estaciones que destacaron por el contenido de elementos en *S. sinicola* fueron principalmente 1 (Cu, Ni, Co), 6 (Zn, Mn, Sb, U) y 9 (Cd, Pb, Cr, Sc). En el mes de junio del 2000 las estaciones fueron 1 (Se, As), 2 (Cr), 3 (Ni, U), 5 (Cd, Cu), 7 (Co, Zn, Mn) y 9 (Pb, Sb, As) (Figura 96). Durante, en marzo del 2001 fueron 1 (Pb, Cd, Ni, Co,

Se, Cu, Zn, Mn), 5 (U, As), 7 (Sb) y 9 (Ni, Cr, Sc) (Figura 107).

En las tres épocas las estaciones que destacaron por el contenido elevado en *S. sinicola* fueron 1, 7 y 9. Otra estación que destacó fue la 5 por los niveles detectados de los elementos.

En la Tabla 45 se muestra el orden

de concentración de los elementos

mayores, traza y lantánidos en *S. sinicola* por estación y la época en que se recolectaron las muestras en el área de Santa Rosalía. Los elementos en común que destacaron por su alta concentración fueron Ca, Fe, Mn, Sr, Br y Ba; sin embargo, se observó que en junio del 2000 y a partir de la estación 5 hubo mayor

variación en los niveles de los elementos. Con respecto a los lantánidos, los de mayor presencia en esta especie fueron Ce, Nd y La de las tierras raras ligeras, y Dy y Gd dentro de las tierras raras pesadas.

Tabla 45. Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *Sargassum sinicola* del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de concentración de los elementos
	Elementos mayores y traza (marzo del 2000)
1	Ca> Sr> Fe> Mn> Br> Ba> Zn> Cu> Zr> As> Co> Ni> Cd> U> Cr> Pb> Se> Sc> Cs> Ta> Th> Hf
6	Ca> Fe> Mn> Sr> Br> Fe> Zn> Ba> Cu> As> Rb> Zr> Ni> Co> U> Cr> Cd> Se> Sc> Sb> Hf> Pb> Cs> Th
7	Ca> Sr> Fe> Br> Mn> Cu> Zn> Ba> As> Cr> Co> Ni> Cd> U> Sc> Pb> Sb> Hf> Se> Cs> Th
9	Fe> Ca> Sr> Br> Mn> Ba> Zn> As> Cu> Rb> Cr> Ni> Cd> Co> Sc> U> Pb> Th> Se> Hf> Sb> Cs
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Gd> Dy> Pr= Sm= Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
6	Ce> Nd> La> Dy> Gd> Er> Yb> Sm> Pr> Ho> Eu> Tb> Lu> Tm
7	Ce> La> Nd> Dy> Gd> Pr> Er= Yb> Sm> Ho> Tb> Lu> Tm> Eu
9	Ce> Nd> Gd> Dy> La> Sm> Er> Yb> Pr> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu
	Elementos mayores y traza (junio del 2000)
1	Ca> Sr> Br> Fe> Ba> Mn> Rb> As> Cu> Zn> Co> Ni> Cd> Cr> Se> U> Pb> Sc> Sb> Hf> Th
2	Ca> sr> Br> Fe> Mn> Ba> As> Cu> Zn> Rb> Ni> Cr> Cd> Co> Hf> Se> Pb> U> Sb> Sc> Th
3	Ca> Sr> Fe> Br> Ba> Rb> Mn> Cu> Zn> As> Ni> Cd> U> Cr> Co> Se> Pb> Cs> Sc= Hf> Th> Sb
4	Ca> Sr> Br> Fe> Ba> As> Rb> Mn> Cu> Zn> Cd> Co> U> Cr> Ni> Se> Pb> Ta> Sc> Hf> Th
5	Ca> Sr> Br> Fe> Mn> Cu> Zn> As> Ba> Cd> Zr> Ni> Co> Cr> U> Rb> Se> Cs> Pb> Sb> Th> Hf> Sc
6	Ca> Sr> Br> Fe> Mn> As> Rb= Ba> Zn> Ni> Cu> Cd> Co> U> Cr> Pb> Se> Cs> Sb> Hf> Th> Sc
7	Sr> Br> Mn> Fe> Zr> Zn> Cu> As> Ba> Ni> Co> Rb> Cd> U> Ca> Pb> Se> Th> Cs> Hf> Sc
8	Ca> Sr> Br> Fe> Mn> Ba> Zn> As> Cu> Ni> Rb> Co> Cr> Cd> Se> Pb> U> Cs> Sc> Th> Hf> Sb
9	Ca> Sr> Br> Ba> Mn> Fe> As> Zn> Cu> Rb> Ni> Cd> U> Co> Se> Pb> Sb> Cs> Th> Hf> Sc
	Lantánidos
1	Ce> Nd> La> Dy= Yb> Er> Gd> Sm> Eu> Pr> Ho> Lu> Tm> Tb
2	Ce> Nd> Dy= Yb> Er> Gd> La> Sm> Eu> Ho> Pr> Lu> Tm> Tb
3	Ce> La> Nd> Pr> Sm> Gd> Dy> Er> Eu> Yb> Tb> Ho> Tm> Lu
4	Ce> Nd> La> Gd> Dy> Sm> Er> Yb> Pr> Eu> Ho> Tb> Lu> Tm
5	Ce> Nd> Eu> Dy> La> Gd> Er= Yb> Sm> Pr> Ho> Tb> Lu> Tm
6	Ce> La> Nd> Yb> Dy> Er> Gd> Pr> Eu> Sm> Ho> Lu> Tm> Tb
7	Ce> Yb> Nd> Dy> Er> La> Gd> Sm> Ho> Pr> Lu> Tm> Tb> Eu
8	Ce> Nd= La> Dy> Gd= Yb> Er> Sm> Eu> Pr> Ho> Lu> Tb> Tm
9	Ce> Nd> La= Gd> Dy> Sm> Er> Pr> Yb> Ho> Tb> Eu> Tm> Lu

Tabla 45 (continuación). Orden de concentración de los elementos mayores, traza y lantánidos en *Sargassum sinicola* del área de Santa Rosalía

Estación	Orden de concentración de los elementos
	Elementos mayores y traza (marzo del 2001)
1	Fe> Ca> Mn> Sr> Br> Ba> Cu> Zn> Zr> Rb> Ni> Co> As> Ni> Cd> Cr> Se> U> Sc> Pb> Sb> Th> Hf
5	Ca> Br> Sr> As> Ba> Zn> Zr> Rb> Ni> Cr> Co> U> Cs> Sc> Hf> Th> Sb> Se
7	Br> Ca> Sr> Fe> Rb> Ba> Zr> As> Mn> Zn> Cu> Ni> Cd> Co> Sb> Cs> U> Se> Pb> Cr= Hf> Sc> Th
8	Ca> Sr> Br> Fe> As> Mn> Rb> Ba> Zn> Cu> Ni> Cr> Cd> Co> U> Se> Pb> Sc> Sb> Hf> Th
9	Fe> Ca> Br> Sr> Mn> Rb> Zr> Zn> Cu> Cr> Ni> Co> As > Cd> Ba> U> Sc> Cs> Se> Th> Hf> Sb> Pb
	Lantánidos
1	Ce> La> Nd> Pr> Gd> Sm> Dy> Eu> Er> Yb> Ho> Tb> Tm> Lu
5	Ce> La> Nd> Dy> Gd> Sm> Pr> Er> Eu> Yb> Ho> Tb> Lu> Tm
7	Ce> La> Nd> Dy> Yb> Er> Gd> Pr= Sm> Eu> Ho> Lu> Tm> Tb
8	Ce> Nd> La> Yb> Dy> Er> Gd> Sm> Pr> Ho> Lu> Eu> Tm> Tb
9	Ce> Nd> La> Dy> Gd> Er> Yb> Sm> Pr> Ho> Tb> Lu> Tm> Eu

En la Tabla 46 se indican las especies de algas y la concentración de algunos elementos traza en los casos que los datos fueron escasos para permitir hacer una comparación espacial y temporal. Los datos de concentración en *Codium cuneatum* de marzo indicaron mayor acumulación de Cr, Se y U en la estación 2, Zn y As en la estación 6 y Co, Sb y Br en la 9; y en junio del 2000 fueron Zn, Se y Sb en la estación 7, Cr, U, Br en la estación 8 y Co, Zn y As en la 9. Todas las estaciones de ambas épocas fueron importantes para que esta especie acumulara los diferentes elementos disponibles. Para *U. lactuca* solo se encontró en dos estaciones y la concentración fue alta sobretodo en la estación 2. Los elementos que destacaron para esta especie fueron Co, Cr, Ni, Zn, Se y U.

Tabla 46. Datos de concentración de los elementos traza (mg/kg) obtenidos en diferentes especies de macroalgas del área de Santa Rosalía

Especie	Período	Estación	Co	Cr	Ni	Zn	Se	As	Sb	U	Br
<i>Codium cuneatum</i>	Marzo del 2000	2	3.8	7.7	-	50	1.8	33.6	0.4	3.0	790
<i>C. cuneatum</i>	Marzo del 2000	6	11	3.4	20	90	0.6	35.5	0.3	1.5	420
<i>C. cuneatum</i>	Marzo del 2000	9	31	4.7	-	20	0.3	25.2	1.1	0.8	955
<i>C. cuneatum</i>	Junio del 2000	7	7.2	10.4	-	80	0.9	34.8	1.2	0.34	1005
<i>C. cuneatum</i>	Junio del 2000	8	4.5	13.3	30	20	0.2	28.5	0.14	1.11	1300
<i>C. cuneatum</i>	Junio del 2000	9	9.4	12.5	-	80	0.4	53	-	0.8	820
<i>C. cuneatum</i>	Marzo del 2001	1	26.6	5.5	100	170	0.75	-	-	3.35	3100
<i>Ulva lactuca</i>	Agosto del 2000	1	11.1	73.3	100	160	0.72	20.3	0.25	0.75	261
<i>U. lactuca</i>	Agosto del 2000	2	175.3	117.2	310	880	3.9	23.3	0.28	15.4	184

8. 3. 1. 2. Comparación de la concentración de elementos entre las especies de algas

Se obtuvo el intervalo de concentración de los elementos en aquellas especies que contaran con datos suficientes para su comparación y se ordenaron de acuerdo a la división algal. El orden fue el siguiente: i) División Rhodophyta: *L. pacifica*, *P. capillaceae* y *Gracilaria sp*, que se obtuvieron en diferentes épocas del año, pero sobretodo en marzo del 2000 y 2001, ii) División Phaeophyta: *C. tuberculata*, *D. dichotoma*, *P. durvillaei* y *S. sinicola*, que se observaron en marzo, junio y agosto del 2000, y en marzo del 2001. En la iii) División Chlorophyta fueron *U. lactuca* y *C. cuneatum*. En la Tabla 47 se señalan los datos (intervalo de concentración y valor promedio) para las especies de la División Rhodophyta.

En *L. pacifica* se observó que los datos de la época marzo 2001 fueron mayores con respecto a los registrados en marzo del 2000, donde sobresalió Ca, Fe, Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Ni, Zn, Se, Zr, Cu, Mn y Cd. La diferencia entre los datos fue aproximadamente el casi doble o mayor. Mientras, valores altos en marzo del 2002 solo se observaron para As, Sb, Br y Hf. Semejanzas en los contenidos de elementos de ambos años fue con Ni, Th y Pb. *P. capillaceae* se encontró en las épocas de marzo, agosto y diciembre del 2000. En el mes de marzo del 2000 fue cuando se observó un mayor número de elementos con intervalo de concentración alto, para este caso los elementos fueron Fe, Cs, Ba, Cr, Co, Zn, Sb, Th, U, Br y Hf. En agosto del 2002 destacaron Cu, Mn, Pb, Rb, Ta y Zr; mientras en diciembre solo Ca, Sr, Ni, Se, As y Th.

Al comparar los resultados de *L. pacifica* y *P. capillaceae* de marzo del 2000, se detectó que *P. capillaceae* obtuvo valores altos en el intervalo de concentración de la mayoría de los elementos con excepción de Rb, Ni, As, Sb, U y Br que se encontraron en *L. pacifica*. Similitudes entre los resultados solo fue notorio con Th y Pb. Por otro lado, los datos de *L. pacifica* y *Gracilaria sp*. de marzo del 2001 permitieron señalar para la primera especie valores altos de Fe, Ba, Cu, Mn, Cr, Co, Ni, Zn, Se, As y U; y en la segunda, a Ca, Rb, Cs, Sr, Cd, Sb, Th, Br, Hf y Zr. Valores cercanos entre estas especies ocurrieron con Pb y Sc.

Tabla 47. Intervalo de concentración de los elementos mayores y traza presentes en diferentes especies de Rhodophytas del área de Santa Rosalía

Elemento	<i>L. pacifica</i> (marzo del 2000)	<i>L. pacifica</i> (marzo del 2001)	<i>P. capillaceae</i> (marzo del 2000)	<i>P. capillaceae</i> (agosto del 2000)	<i>P. capillaceae</i> (diciembre del 2000)	<i>Gracilaria sp.</i> (marzo del 2000)
Ca (%)	<u>1 - 2</u> 1.5	<u>2.6 - 3.3</u> 3	<u>1 - 5</u> 3	<u>2 - 7</u> 3	<u>5 - 8</u> 6.4	<u>0.7 - 5.0</u> 2
Fe (%)	<u>0.06 - 0.6</u> 0.3	<u>0.2 - 1.0</u> 0.6	<u>0.1 - 1.0</u> 0.6	<u>0.2 - 1.0</u> 0.6	<u>0.2 - 0.5</u> 0.4	<u>0.1 - 0.9</u> 0.4
Rb (mg/kg)	<u>9 - 16</u> 12	<u>2 - 26</u> 11	<u>6 - 11</u> 9	<u>3 - 33</u> 18	<u>8 - 24</u> 19	<u>50 - 55</u> 52
Cs (mg/kg)	<u>0.1 - 0.5</u> 0.3	1.4	<u>0.2 - 2.0</u> 1	<u>0.1 - 1.0</u> 0.5	<u>0.2 - 0.6</u> 0.3	<u>0.2 - 2.0</u> 1
Sr (mg/kg)	<u>19 - 210</u> 111	<u>12 - 700</u> 281	<u>13 - 500</u> 256	<u>135 - 880</u> 364	<u>355 - 1045</u> 607	<u>24 - 820</u> 254
Cu (mg/kg)	<u>132 - 134</u> 133	<u>86 - 260</u> 173	<u>98 - 215</u> 156	<u>69 - 275</u> 148	<u>76 - 111</u> 91	<u>14 - 52</u> 31
Mn (mg/kg)	<u>56 - 180</u> 1198	<u>182 - 2379</u> 1281	<u>106 - 343</u> 209	<u>123 - 1676</u> 743	<u>119 - 283</u> 189	<u>90 - 310</u> 173
Cd (mg/kg)	<u>0.6 - 0.8</u> 1.09	<u>0.8 - 2.0</u> 1.6	<u>1 - 3</u> 1.5	<u>1 - 4</u> 2.9	<u>3.8 - 4.4</u> 4.1	<u>2 - 4</u> 2.4
Pb (mg/kg)	<u>0.4 - 0.6</u> 1.18	<u>0.2 - 0.6</u> 0.4	<u>0.2 - 0.6</u> 0.4	<u>0.5 - 1.0</u> 0.9	<u>0.5 - 0.55</u> 0.5	<u>0.05 - 0.6</u> 0.4
Cr (mg/kg)	<u>4 - 14</u> 7	<u>0.9 - 22.0</u> 13	<u>0.4 - 32</u> 13	<u>4 - 17</u> 12	<u>3 - 27</u> 14	<u>2 - 15</u> 8
Co (mg/kg)	<u>3 - 11</u> 6	<u>5 - 112</u> 61	<u>3 - 42</u> 16	<u>3 - 36</u> 15	<u>5 - 8</u> 6.4	<u>3 - 28</u> 17
Ni (mg/kg)	<u>40 - 60</u> 50	40	<u>20 - 30</u> 25	<u>20 - 30</u> 25	<u>20 - 50</u> 33	20
Zn (mg/kg)	<u>50 - 210</u> 128	<u>30 - 770</u> 283	<u>50 - 320</u> 158	<u>60 - 280</u> 148	<u>60 - 120</u> 90	<u>30 - 120</u> 70
Ba (mg/kg)	<u>41 - 270</u> 103	<u>72 - 1010</u> 434	<u>10 - 525</u> 170	<u>32 - 250</u> 153	20	<u>47 - 480</u> 163
Sc (mg/kg)	<u>0.2 - 2.0</u> 0.8	<u>0.5 - 3.0</u> 1.7	<u>0.3 - 3.0</u> 1.5	<u>0.5 - 2.0</u> 1.5	<u>0.9 - 2.0</u> 1.5	<u>0.4 - 3.0</u> 2
Se (mg/kg)	<u>0.2 - 0.5</u> 0.3	<u>0.4 - 6.0</u> 2	<u>0.3 - 2.0</u> 0.7	<u>0.4 - 1.0</u> 0.7	<u>0.5 - 2.0</u> 1	<u>0.08 - 3.0</u> 2
As (mg/kg)	125	<u>16 - 25</u> 20	<u>3 - 6</u> 4.5	<u>3 - 23</u> 11	<u>12 - 24</u> 18	<u>7 - 13</u> 10
Sb (mg/kg)	<u>0.6 - 4.0</u> 1.7	<u>0.3 - 0.9</u> 0.6	<u>0.02 - 0.8</u> 0.4	<u>0.1 - 0.7</u> 0.4	<u>0.3 - 0.4</u> 0.3	<u>0.3 - 2.0</u> 1
Th (mg/kg)	<u>0.04 - 0.6</u> 0.2	<u>0.12 - 0.6</u> 0.3	<u>0.09 - 1.0</u> 0.3	<u>0.3 - 0.4</u> 0.3	<u>0.1 - 0.7</u> 0.4	<u>0.08 - 2.0</u> 1
U (mg/kg)	<u>0.7 - 7.0</u> 3	<u>2 - 12</u> 6	<u>1 - 5</u> 2.4	<u>0.6 - 3.0</u> 2	<u>0.2 - 2.5</u> 1.0	<u>0.6 - 7.0</u> 3
Br (mg/kg)	<u>2100 - 3500</u> 2853	<u>2110 - 2210</u> 2173	<u>755 - 3100</u> 1456	<u>745 - 1230</u> 949	<u>975 - 1230</u> 1105	<u>405 - 16000</u> 10071
Hf (mg/kg)	<u>0.05 - 1.0</u> 0.5	<u>0.07 - 0.5</u> 0.2	<u>0.06 - 2.0</u> 0.6	<u>0.08 - 0.50</u> 0.3	<u>0.1 - 0.2</u> 0.1	<u>0.1 - 1.0</u> 0.5
Ta (mg/kg)	-	<u>0.07 - 0.10</u> 0.1	<u>0.03 - 0.2</u> 0.1	<u>0.07 - 0.40</u> 0.2	<u>0.1 - 0.14</u> 0.1	-
Zr (mg/kg)	20	<u>63 - 185</u> 108	<u>11 - 115</u> 71	<u>45 - 180</u> 97	<u>30 - 99</u> 64.5	<u>92 - 395</u> 205

Las especies de la División Paheophyta fueron las de mayor distribución espacial y temporal en Santa Rosalía. Los intervalos de concentración de elementos mayores y traza en las especies se indican en la Tabla 48. En *C. tuberculata* de marzo del 2000, destacaron los datos de Ca, Fe, Sr, Sc, Cu, Cr, U, Hf y Ta; y para el mes de marzo del 2001, fueron Rb, Ba, Co, Cd, Mn, Ni, Zn, Se, Br y Zr. A pesar de las diferencias, fue posible identificar elementos cuyos datos fueron semejantes, tal fue el caso de Cs, Pb, As, Sb y Th.

Los datos registrados en *S. sinicola* de marzo del 2001, fueron las mayores concentraciones de casi todos los elementos, con excepción de Ca, Sr, Pb y Hf que destacaron en el mes de junio del 2000. En el caso de *P. durvillaei*, las dos épocas de marzo del 2000 y 2001, fue en las que se encontró las mayores concentraciones con respecto a los de junio del 2000, que obtuvo el menor contenido a excepción de Ca, Sr, Cd y Br.

El comportamiento de los elementos en *D. dichotoma* fue semejante al de *P. durvillaei*, debido que los intervalos con valores altos se registraron en marzo del 2001 para Ca, Sr, Cs, Ba, Cd, Mn, Sc, Co, Ni, Zn, Se, Sb, U, Br y Hf. Mientras el menor contenido ocurrió en las especies recolectadas en agosto del 2000. Los elementos que sobresalieron en marzo del 2000 fueron Ca, Cr, As y Zr.

Comparando los datos registrados en *C. tuberculata*, *S. sinicola*, *P. durvillaei* y *D. dichotoma* del mes de marzo del 2000, se encontró que *C. tuberculata* fue la especie en que se registró la mayor concentración de Ca, Fe, Rb, Sr, Sc, Cr, Cu, Mn, Ni, Se, Th, U y Hf; seguida por *D. dichotoma* (Ba, Co, Zn, Se, As, Br, Zr) y *P. durvillaei* (Cs, Cd, Sb, Ta). Con estas mismas especies pero con los datos de marzo del 2001, se identificó a *C. tuberculata* como la especie principal que presentó intervalos altos de Ca, Fe, Rb, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Pb, Ni, Zn, U y Ta. *D. dichotoma* fue otra especie con menor número de elementos (Cu, Mn, Cd, Se, Sb, Hf y Zr) y *S. sinicola* (As y Br). Los resultados muestran que las principales especies concentradoras fueron *C. tuberculata* y *D. dichotoma* (Tabla 48).

Tabla 48. Intervalo y promedio de la concentración de elementos mayores y traza en las diferentes especies de macroalgas del área de Santa Rosalía

Elemento	División Phaeophyta					
	<i>C. tuberculata</i> (marzo del 2000)	<i>C. tuberculata</i> (marzo del 2001)	<i>D. dichotoma</i> (marzo del 2000)	<i>D. dichotoma</i> (agosto del 2000)	<i>D. dichotoma</i> (marzo del 2001)	<i>P. durvillaei</i> (marzo del 2000)
Fe (%)	<u>0.2 - 4.0</u> 1.3	<u>0.4 - 3.0</u> 1.4	<u>1 - 3</u> 1.3	<u>0.5 - 0.6</u> 0.5	<u>0.3 - 3.0</u> 1.2	<u>0.6 - 3.0</u> 1.6
Ca (%)	<u>2.0 - 6.0</u> 3.5	<u>2 - 5</u> 3.4	<u>2 - 4</u> 1.3	<u>2.7 - 2.8</u> 2.7	<u>1.4 - 4.5</u> 3	<u>2.0 - 6.0</u> 4
Rb (mg/kg)	<u>2 - 77</u> 29	<u>9 - 103</u> 64.5	N. D.	N. D.	<u>13 - 65</u> 42.6	<u>3 - 44</u> 16.5
Cs (mg/kg)	<u>0.2 - 2.0</u> 1.1	<u>0.2 - 2.0</u> 0.91	<u>0.1 - 0.7</u> 0.4	0.1	<u>0.2 - 2.5</u> 0.8	<u>0.4 - 3.0</u> 1.0
Sr (mg/kg)	<u>455 - 2090</u> 1323	<u>615 - 1895</u> 984	<u>670 - 1105</u> 839	705	<u>405 - 1560</u> 802	<u>1025 - 1570</u> 1262
Ba (mg/kg)	<u>13 - 695</u> 333	<u>135 - 1965</u> 473	<u>210 - 1040</u> 453	<u>67 - 125</u> 96	<u>87 - 1420</u> 605	<u>270 - 1030</u> 489
Sc (mg/kg)	<u>0.4 - 13</u> 4	<u>1 - 11</u> 5	<u>2 - 7</u> 4	<u>1.0 - 2.0</u> 1.7	<u>0.87 - 8.2</u> 4	<u>2 - 8</u> 4
Cu (mg/kg)	<u>46 - 658</u> 216	<u>27 - 621</u> 169	<u>91 - 631</u> 284	<u>63 - 92</u> 77	<u>31 - 634</u> 239	<u>90 - 458</u> 236
Mn (mg/kg)	<u>215 - 5680</u> 1470	<u>240 - 5936</u> 1377	<u>149 - 5591</u> 1645	<u>253 - 1693</u> 973	<u>75 - 6026</u> 1688	<u>283 - 2416</u> 1170
Cd (mg/kg)	<u>2 - 5</u> 3.6	<u>2 - 7</u> 4	<u>0.2 - 7</u> 3	<u>3.2 - 3.4</u> 3.1	<u>1.6 - 10.5</u> 6	<u>3 - 7</u> 4.5
Pb (mg/kg)	<u>0.4 - 1.0</u> 0.7	<u>0.4 - 1.1</u> 0.6	<u>0.4 - 0.8</u> 0.6	<u>0.5 - 0.6</u> 0.5	<u>0.3 - 0.9</u> 0.5	<u>0.4 - 1.0</u> 0.7
Cr (mg/kg)	<u>2 - 113</u> 32.6	<u>8 - 87</u> 31	<u>9 - 72</u> 32	<u>12 - 16</u> 13.8	<u>4 - 36</u> 20	<u>14 - 80</u> 37
Co (mg/kg)	<u>4 - 119</u> 27.7	<u>9 - 274</u> 55	<u>7 - 165</u> 49	<u>8 - 14</u> 11	<u>3.4 - 173.4</u> 59	<u>10 - 104</u> 45
Ni (mg/kg)	<u>40 - 100</u> 74	<u>80 - 270</u> 135	<u>10 - 70</u> 37	<u>80 - 90</u> 85	<u>60 - 140</u> 100	N. D.
Zn (mg/kg)	<u>70 - 630</u> 215	<u>90 - 1410</u> 326	<u>90 - 840</u> 314	<u>170 - 230</u> 200	<u>40 - 1080</u> 390	<u>130 - 620</u> 348
Se (mg/kg)	<u>0.2 - 2.0</u> 0.65	<u>0.2 - 4.0</u> 1.5	<u>0.3 - 1.5</u> 0.9	<u>1 - 2</u> 1.7	<u>0.5 - 4.6</u> 1.6	<u>0.3 - 1.0</u> 0.7
As (mg/kg)	<u>1 - 34</u> 17	<u>7 - 35</u> 22	<u>13 - 35</u> 20	<u>9 - 17</u> 13	<u>7.7 - 32.8</u> 21	<u>2 - 30</u> 15
Sb (mg/kg)	<u>0.1 - 1.0</u> 0.5	<u>0.02 - 1.0</u> 0.5	<u>0.1 - 0.9</u> 0.4	<u>0.4 - 0.5</u> 0.4	<u>0.2 - 1.5</u> 0.5	<u>0.1 - 2.0</u> 0.8
Th (mg/kg)	<u>0.1 - 2.0</u> 0.9	<u>0.1 - 2.0</u> 0.9	<u>0.4 - 1.0</u> 0.7	<u>0.2 - 0.6</u> 0.4	<u>0.003 - 1.0</u> 0.6	<u>0.2 - 1.0</u> 0.7
U (mg/kg)	<u>1 - 28</u> 7	<u>1 - 24</u> 6	<u>1 - 12</u> 5	<u>0.4 - 1.0</u> 0.7	<u>0.6 - 18.3</u> 6	<u>1.0 - 8.4</u> 5
Br (mg/kg)	<u>75 - 620</u> 342	<u>320 - 780</u> 482	<u>77 - 775</u> 331	<u>495 - 510</u> 503	<u>350 - 872</u> 569	<u>96 - 230</u> 172
Hf (mg/kg)	<u>0.03 - 3.0</u> 1	<u>0.04 - 2.0</u> 0.7	<u>0.5 - 1.0</u> 0.8	<u>0.2 - 0.3</u> 0.2	<u>0.07 - 4.1</u> 1.5	<u>0.2 - 2.0</u> 0.8
Ta (mg/kg)	<u>0.2 - 0.7</u> 0.4	<u>0.1 - 0.4</u> 0.2	<u>0.1 - 0.3</u> 0.2	N. D.	<u>0.07 - 0.2</u> 0.2	<u>0.07 - 0.7</u> 0.4
Zr (mg/kg)	<u>35 - 140</u> 89.5	<u>24 - 175</u> 113	<u>33 - 395</u> 214	52	<u>55 - 280</u> 188	<u>52 - 210</u> 122

Tabla 48 (continuación). Intervalo y promedio de la concentración de elementos mayores y traza en las diferentes especies de macroalgas del área de Santa Rosalía

Elemento	División Phaeophyta				
	<i>P. durvillaei</i> (junio del 2000)	<i>P. durvillaei</i> (marzo del 2001)	<i>S. sinicola</i> (marzo del 2000)	<i>S. sinicola</i> (junio del 2000)	<i>S. sinicola</i> (marzo del 2001)
Fe (%)	<u>0.04 - 0.7</u> 0.4	<u>0.6 - 2.0</u> 0.4	<u>0.1 - 0.4</u> 0.2	<u>0.01 - 0.10</u> 0.04	<u>0.08 - 0.50</u> 0.2
Ca (%)	<u>2 - 9</u> 4	<u>3 - 5</u> 4	<u>2.0 - 2.4</u> 2.3	<u>2.0 - 2.4</u> 2.4	<u>1 - 3</u> 2
Rb (mg/kg)	<u>2 - 25</u> 8	<u>18 - 51</u> 8.4	<u>13 - 16</u> 14	<u>1 - 48</u> 19	<u>34 - 85</u> 62
Cs (mg/kg)	<u>0.1 - 2.0</u> 0.6	<u>0.1 - 2.0</u> 0.6	<u>0.1 - 0.15</u> 0.12	<u>0.2 - 0.3</u> 0.2	<u>0.6 - 2.3</u> 1.5
Sr (mg/kg)	<u>1030 - 1895</u> 1278	<u>560 - 1220</u> 1278	<u>1490 - 1735</u> 1629	<u>1330 - 2100</u> 1544	<u>830 - 1075</u> 923
Ba (mg/kg)	<u>15 - 440</u> 202	<u>125 - 635</u> 202	<u>20 - 92</u> 67	<u>10 - 165</u> 59	<u>3 - 225</u> 93
Sc (mg/kg)	<u>0.1 - 2.0</u> 1	<u>2 - 6</u> 1	<u>0.25 - 1.3</u> 0.64	<u>0.01 - 0.2</u> 0.097	<u>0.2 - 2.0</u> 0.8
Cu (mg/kg)	<u>17 - 164</u> 84	<u>35 - 400</u> 84	<u>21 - 82</u> 55	<u>5 - 30</u> 19	<u>14 - 119</u> 41
Mn (mg/kg)	<u>151 - 979</u> 423	<u>256 - 3184</u> 423	<u>102 - 1733</u> 553	<u>21 - 323</u> 93	<u>31 - 956</u> 281
Cd (mg/kg)	<u>4 - 8</u> 6	<u>5 - 8</u> 6	<u>2 - 5</u> 3.3	<u>1.2 - 5.0</u> 3.6	<u>3.0 - 5.0</u> 4
Pb (mg/kg)	<u>0.4 - 1.0</u> 0.6	<u>0.5 - 1.0</u> 0.6	<u>0.1 - 0.5</u> 0.4	<u>0.2 - 0.7</u> 0.5	<u>0.03 - 0.50</u> 0.4
Cr (mg/kg)	<u>1 - 26</u> 9	<u>14 - 5</u> 9	<u>2 - 11</u> 5.5	<u>0.5 - 6.0</u> 2.1	<u>0.4 - 15.0</u> 6
Co (mg/kg)	<u>4 - 44</u> 18	<u>6 - 189</u> 48	<u>4 - 11</u> 6	<u>1.6 - 5.7</u> 3	<u>2 - 15</u> 6
Ni (mg/kg)	<u>30 - 80</u> 55	<u>10 - 120</u> 49	<u>10 - 40</u> 25	30	<u>10 - 70</u> 28
Zn (mg/kg)	<u>10 - 330</u> 163	<u>90 - 810</u> 306	<u>40 - 70</u> 55	<u>4 - 70</u> 32	<u>20 - 80</u> 44
Se (mg/kg)	<u>0.1 - 2.0</u> 0.7	<u>0.4 - 2.0</u> 1.0	<u>0.2 - 0.7</u> 0.4	<u>0.3 - 1.2</u> 0.6	<u>0.1 - 1.0</u> 0.7
As (mg/kg)	<u>5 - 26</u> 15	<u>14 - 37</u> 25	<u>15 - 25</u> 20	<u>14 - 45</u> 28	<u>4 - 434</u> 114
Sb (mg/kg)	<u>0.02 - 0.4</u> 0.2	<u>0.1 - 0.6</u> 0.4	<u>0.2 - 0.3</u> 0.2	<u>0.06 - 0.6</u> 0.2	<u>0.1 - 0.7</u> 0.4
Th (mg/kg)	<u>0.05 - 0.5</u> 0.2	<u>0.3 - 1.0</u> 0.6	<u>0.06 - 0.4</u> 0.14	<u>0.03 - 0.3</u> 0.09	<u>0.07 - 0.7</u> 0.3
U (mg/kg)	<u>0.5 - 5.0</u> 2	<u>1 - 12</u> 5	<u>1 - 2</u> 1.6	<u>0.3 - 3.3</u> 1.4	<u>0.6 - 5.0</u> 2
Br (mg/kg)	<u>177 - 2450</u> 558	<u>330 - 550</u> 434	<u>113 - 615</u> 268	<u>180 - 1020</u> 487	<u>855 - 1630</u> 1137
Hf (mg/kg)	<u>0.1 - 1.0</u> 0.3	<u>0.1 - 1.0</u> 0.5	<u>0.04 - 0.3</u> 0.2	<u>0.04 - 0.9</u> 0.2	<u>0.1 - 0.7</u> 0.4
Ta (mg/kg)	<u>0.05 - 0.4</u> 0.2	<u>0.1 - 0.2</u> 0.2	0.08	0.13	N. D.
Zr (mg/kg)	<u>6 - 120</u> 50	<u>42 - 190</u> 97	<u>12 - 41</u> 26.5	<u>4 - 71</u> 38	<u>54 - 91</u> 67

Tabla 48 (continuación). Intervalo y promedio de la concentración de elementos mayores y traza en las diferentes especies de macroalgas del área de Santa Rosalía

Elemento	División	Chlorophyta	
	<i>U. lactuca</i> (diciembre del 2000)	<i>C. cuneatum</i> (marzo del 2001)	<i>C. cuneatum</i> (junio del 2000)
Fe (%)	$\frac{1-7}{4}$	$\frac{0.3-0.6}{0.4}$	$\frac{0.2-0.6}{0.4}$
Ca (%)	$\frac{3-5}{4}$	$\frac{1-2}{1.5}$	$\frac{1.5-4.1}{2.6}$
Rb (mg/kg)	18	$\frac{10-11}{10}$	$\frac{4-21}{11}$
Cs (mg/kg)	1	$\frac{0.05-0.4}{0.2}$	$\frac{0.2-0.6}{0.4}$
Sr (mg/kg)	$\frac{595-1000}{798}$	$\frac{160-275}{225}$	$\frac{140-650}{323}$
Ba (mg/kg)	$\frac{135-1670}{903}$	$\frac{41-140}{99}$	$\frac{39-180}{106}$
Sc (mg/kg)	$\frac{4-11}{8}$	$\frac{0.6-2.0}{1.2}$	$\frac{1-2}{1.6}$
Cu (mg/kg)	N. D.	15	$\frac{19-32}{26}$
Mn (mg/kg)	N. D.	73	$\frac{145-380}{233}$
Cd (mg/kg)	N. D.	9	$\frac{2-4}{3}$
Pb (mg/kg)	N. D.	0.54	$\frac{0.7-0.8}{0.7}$
Cr (mg/kg)	$\frac{73-117}{95}$	$\frac{8-31}{17}$	$\frac{10-13}{12}$
Co (mg/kg)	$\frac{11-175}{93}$	$\frac{3-4}{4}$	$\frac{5-9}{7}$
Ni (mg/kg)	$\frac{100-310}{205}$	20	30
Zn (mg/kg)	$\frac{160-880}{520}$	$\frac{20-90}{53}$	$\frac{20-80}{60}$
Se (mg/kg)	$\frac{1-4}{2}$	$\frac{0.3-2.0}{0.9}$	$\frac{0.2-0.9}{0.5}$
As (mg/kg)	$\frac{20-23}{22}$	$\frac{25-36}{31}$	$\frac{29-53}{39}$
Sb (mg/kg)	$\frac{0.25-0.28}{0.26}$	$\frac{0.3-1.0}{0.6}$	$\frac{0.1-1.0}{0.7}$
Th (mg/kg)	$\frac{0.7-1.0}{0.9}$	$\frac{0.07-0.43}{0.3}$	$\frac{0.1-1.0}{0.5}$
U (mg/kg)	$\frac{1-15}{8}$	$\frac{0.8-3.0}{2}$	$\frac{0.3-1.0}{0.8}$
Br (mg/kg)	$\frac{184-261}{223}$	$\frac{420-955}{722}$	$\frac{820-1300}{1042}$
Hf (mg/kg)	$\frac{0.8-1.0}{1}$	$\frac{0.09-0.3}{0.2}$	$\frac{0.4-1.0}{0.7}$
Ta (mg/kg)	N. D.	0.4	0.05
Zr (mg/kg)	300	$\frac{33-120}{68}$	53

Con respecto a las Chlorophytas (Tabla 48), *C. cuneatum* fue la especie que se observó en dos épocas, marzo y junio del 2000, en esta última fue en la que se registró la mayor concentración de la mayor parte de los elementos, excepto Cd, Cr, Zn, Se, U, Ta y Zr, que se encontraron altos en los ejemplares recolectados en marzo del 2000. Los datos en ambos periodos fueron diferentes, pero pequeñas similitudes se apreciaron con Sc, Zn y Sb. Debido a la escasa información para *U. lactuca*, los niveles se compararon con los de *C. cuneatum* y se encontró que *Ulva* obtuvo mayor contenido de los elementos.

Las Tablas X, X y X, muestran los coeficientes de correlación entre las concentraciones promedio obtenidas de los elementos en las

diferentes especies recolectadas para cada época del año.

El coeficiente entre las especies de algas encontradas en marzo del 2000 fue mayor 0.5 ($p < 0.05$). Los mejores valores que fueron mayores a 0.9, corresponden a las especies *C. tuberculata*, *P. durvillaei*, *D. dichotoma*, *P. capillaceae* y *C. cuneatum*, a excepción de *L. pacifica* y *S. sinicola* cuyos datos obtenidos oscilaron de 0.5 a 0.76 ($p < 0.05$).

Tabla X. Coeficientes de correlación (significancia $p < 0.05$) entre las especies de macroalgas recolectadas en la época de marzo del 2000 en el área de Santa Rosalía

	<i>C. tuberculata</i>	<i>S. sinicola</i>	<i>P. durvillaei</i>	<i>D. dichotoma</i>	<i>P. capillaceae</i>	<i>L. pacifica</i>	<i>C. cuneatum</i>
<i>C. tuberculata</i>	1						
<i>S. sinicola</i>	0.84	1					
<i>P. durvillaei</i>	0.99	0.87	1				
<i>D. dichotoma</i>	0.96	0.65	0.93	1			
<i>P. capillaceae</i>	0.87	0.75	0.92	0.84	1		
<i>L. pacifica</i>	0.72	0.52	0.76	0.73	0.94	1	
<i>C. cuneatum</i>	0.98	0.92	0.99	0.98	0.96	0.82	1

En junio del 2000 solo *S. sinicola*, *P. durvillaei* y *C. cuneatum* se encontraron, la mayor correlación se observó entre *P. durvillaei* con *C. cuneatum* ($r = 0.94$, $p < 0.05$) y *S. sinicola* ($r = 0.96$, $p < 0.05$). En cambio, el coeficiente que se obtuvo entre *S. sinicola* y *C. cuneatum* fue un poco menor y fue de 0.81 ($p < 0.05$).

La Tabla X muestra los coeficientes entre las especies de marzo del 2001, donde se puede observar que los valores altos ($r = 0.9$, $p < 0.05$) de esta estimación corresponden a *C. tuberculata*, *P. durvillaei*, *D. dichotoma* y *L. pacifica*. En cambio, la relación de *Gracilaria sp.* con las otras especies permitió obtener coeficientes bajos, sobretudo con *L. pacifica* (0.7), como también se apreció con *S. sinicola* y el resto de las algas ($r < 0.6$, $p < 0.05$).

Tabla X. Coeficientes de correlación (significancia $p < 0.05$) entre las especies de macroalgas recolectadas en la época de marzo del 2001 en el área de Santa Rosalía

	<i>C. tuberculata</i>	<i>S. sinicola</i>	<i>P. durvillaei</i>	<i>D. dichotoma</i>	<i>L. pacifica</i>	<i>Gracilaria sp.</i>
<i>C. tuberculata</i>	1					
<i>S. sinicola</i>	0.73	1				
<i>P. durvillaei</i>	0.98	0.63	1			
<i>D. dichotoma</i>	0.98	0.59	0.99	1		
<i>L. pacifica</i>	0.91	N. S.	0.95	0.97	1	
<i>Gracilaria sp.</i>	0.90	0.85	0.82	0.84	0.70	1

8. 3. 1. 3. Variación del valor normalizado de lantánidos

El contenido de los lantánidos en las macroalgas de Santa Rosalía se normalizaron con los datos de referencia de Ross y McLennan (1985). Esto contribuyó a definir las variaciones de los elementos entre las especies de algas y las estaciones donde ocurrían (espacial); así como, los periodos de colecta (temporal).

Las algas de esta área de estudio, como se señaló pertenecen a cinco periodos que fueron marzo, junio, agosto y diciembre del año 2000, y marzo del 2001. La mayor presencia de especies se encontró en en los meses de marzo de ambos años, los cuales se tomaron para ejemplificar los patrones de comportamiento de los lantánidos.

Los patrones identificados en las macroalgas fueron similares a los registrados en los sedimentos de Bahía Concepción y el complejo lagunar Magdalena-Almejas, los cuales se definieron de la siguiente manera:

- i) Anomalía positiva de Eu, caracterizado por un incremento en el valor normalizado de Eu (enriquecimiento) con respecto a los otros elementos. Como ejemplo se presentan los datos de *C. tuberculata* de la estación 4 (CTM4, marzo 2000) (Figura 108) y en *D. dichotoma* de la estación 7 (DDM7, marzo 2001) (Figura 109),
- ii) Anomalía negativa de Eu que representa la disminución en el valor normalizado con respecto a los elementos vecinos (empobrecimiento). Se representa por los datos de *L. pacífica* de la estación 1 (LPM1, marzo 2000) (Figura 108) y *P. durvillaei* de la estación 3 (PDM3, marzo 2001) (Figura 109),
- iii) Agua de mar, que se identifica por la disminución en el valor de Ce y mayor valor normalizado de las tierras raras pesadas (ETRP). Ejemplo de este comportamiento se observó en *S. sinicola* de la estación 6 (SSM600) (Figura 108) y en *Gracilaria* sp de la estación 9 (GM9, marzo 2001) (Figura 109),

Sin embargo, en algunos casos fue posible observar ciertos patrones no bien definidos como se presenta en la Figura 109 (PDM801), que bien puede considerarse como anomalía negativa de Eu o patrón lutita que ha sido observado en los sedimentos de las otras áreas de estudio.

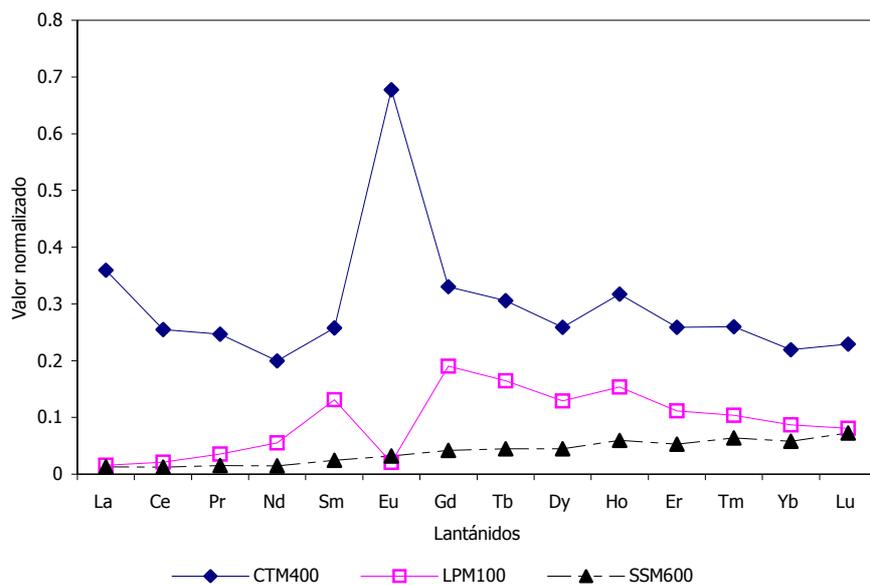


Figura 108. Variación del valor normalizado de los lantánidos en *Colpomenia tuberculata* (estación 4, CTM400), *Laurencia pacifica* (estación 1, LPM100) y en *Sargassum sinicola* (estación 6, SSM600) de marzo 2000.

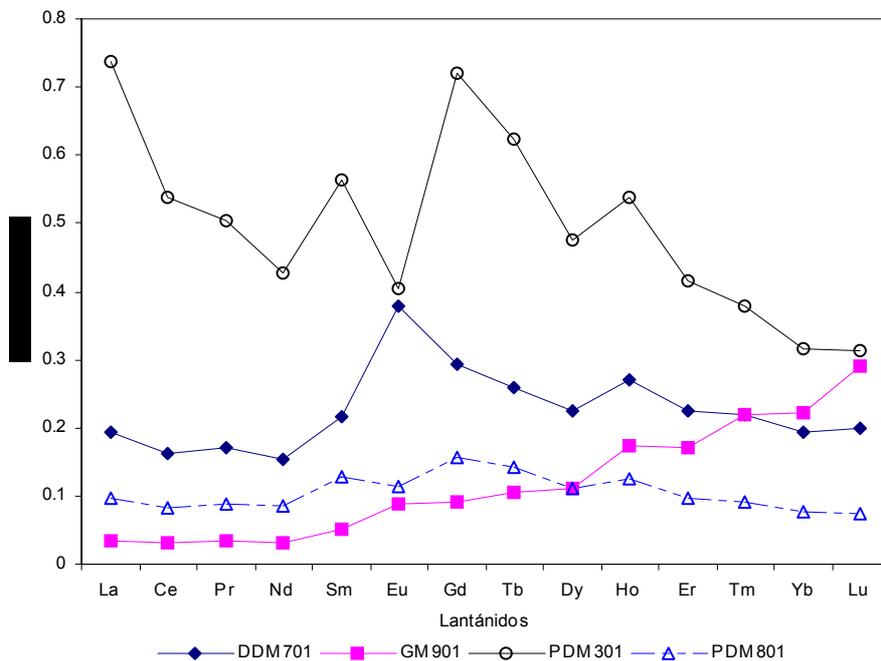


Figura 109. Variación del valor normalizado de los lantánidos en *D. dichotoma* (estación 7, DDM701), *Gracilaria sp.* (estación 9, GM901) y en *P. durvillaei* (estación 3, PDM301; estación 8, PDM801) de marzo 2001.

Los patrones que se observaron principalmente en las algas de Santa Rosalía fueron el enriquecimiento (i) y empobrecimiento de Eu (ii). El primer patrón lo presentaron: *L. pacifica*, *P. capillaceae*, *C. tuberculata*, *D. dichotoma*, *P. durvillaei*, *S. sinicola* y *Gracilaria sp.*

De acuerdo a su ubicación geográfica y a la época de colecta, se encontró en marzo del 2000 que las especies recolectadas en las estaciones 1, 2, 5 y 6 presentaron este tipo de patrón estaciones; y para marzo del 2001, fueron la 1, 2, 3, 4 y 7. En las otras épocas la presencia de algas fue muy baja.

El segundo

patrón incluyó las mismas especies, pero sobretodo en marzo del 2000 y marzo del 2001, las estaciones

donde se encontró este comportamiento de los lantánidos fueron 1, 2, 3, 7, 8 y 9. El último patrón fue posible observarlo en un menor número de especies, tales como *L. pacífica*, *P. capillaceae*, *D. dichotoma*, *S. sinicola* y *Gracilaria* sp. La época en que más se observó este patrón fue en marzo del 2001 y sobretodo en las estaciones 6 y 8; en septiembre y diciembre del 2000 fue en la 6 y 7.

La variación del valor normalizado de lantánidos en los sedimentos de las estaciones de recolecta de las algas mostraron resultados semejantes a los antes señalados para las diferentes especies de macroalgas. Se definieron tres patrones que coincidieron con los descritos para las algas de Santa Rosalía,

los cuales se representan en la Figura 110.

El patrón descrito como enriquecido en Eu (anomalía positiva) es el que se observó

principalmente en los sedimentos de

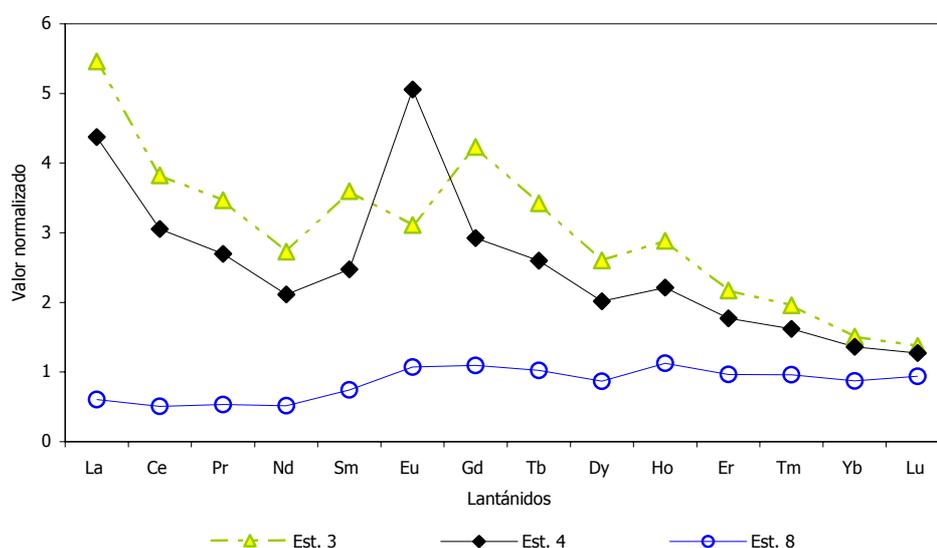


Figura 110. Variación de los valores normalizados en los sedimentos superficiales de Santa Rosalía (datos tomados de Rodríguez-Figueroa, 2004)

las estaciones 1, 2, 4, 5, 6 y 9. En cambio, para el patrón con empobrecimiento de Eu solo se encontró en la estación 3, y las estaciones 7 y 8 se diferenciaron con el patrón agua de mar.

De acuerdo a estos resultados es posible señalar la posible influencia de los sedimentos, sin embargo la presencia de dos o más patrones en una misma estación, indica la complejidad en el comportamiento de los lantánidos.

9. DISCUSIÓN

9. 1. Caracterización geoquímica de los sedimentos superficiales

9. 1. 1. Concentración de los elementos traza

La Tabla 39 muestra la concentración promedio de los componentes, elementos mayores y traza de las áreas sujetas a estudio, así como de otros ambientes adyacentes a la Península de Baja California. Los resultados que se obtuvieron en los sedimentos de Bahía Concepción y el complejo Magdalena-Almejas, muestran que la primera zona fue en donde se observó el mayor contenido de carbonatos, carbono orgánico y de Fe, Ca, Sr, Sc, Co, Ni, Zn, Br, Cd, Cu y Pb; entre los cuales destacaron Sr, Br, Cd y Pb por sobrepasar los datos de la corteza continental en aproximadamente 4, 8, 20 y 3 veces, respectivamente. Mientras, en el complejo lagunar Magdalena-Almejas Ba, Cr, As, Sb y U presentaron un mayor contenido con respecto a Bahía Concepción, entre los cuales solo As, Sb y U sobrepasaron el valor de referencia en 6, 6 y 10 veces. El incremento en el contenido fue corroborado al obtener el factor de enriquecimiento (FE) donde se identificó a Se, Cd, Sr, Pb, Ca y As como los elementos altamente enriquecidos ($FE > 10$) en los sedimentos de Bahía Concepción, mientras en el complejo Magdalena-Almejas se encontró solo a Se, Sb, Cd y As. En ambos casos destacó la presencia de Se y Cd sobretodo en Bahía Concepción y de As en el complejo Magdalena-Almejas. Tomando en cuenta la escasa influencia antropogénica en las zonas, la fuente de estos elementos se considera de tipo natural y su distribución en el ambiente esta controlada por componentes biogénicos (carbono orgánico, carbonatos) y de aporte terrígeno (Fe, Al).

Las concentraciones promedio de lantánidos en los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas fueron mayores a las registradas en Bahía Concepción, siendo abundantes las tierras raras ligeras (La, Ce, Pr, Nd, Sm) y las tierras raras pesadas (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu), y solo se observó similitud en los contenidos de Eu (1 mg/kg) y Tm (~2 mg/kg). La correlación entre los elementos del grupo de los lantánidos fue significativa ($r > 0.8$) en los sedimentos de Bahía Concepción; sin embargo esto no fue así en el complejo lagunar, debido que coeficientes poco significativos se obtuvieron con Eu cuyos valores oscilaron de 0.5 a 0.6, y entre las tierras raras ligeras (La a Sm) con Tm (0.5 - 0.6) y Lu (0.45 - 0.5). La escasa semejanza de los elementos con Eu se asocia a las propiedades químicas considerando que bajo

condiciones de reducción puede cambiar del estado normal $\text{Eu}^{(3+)}$ a $\text{Eu}^{(2+)}$ (forma reducida) (Clark, 1984; McArthur y Walsh, 1984), lo que incrementa el radio iónico y afecta para un comportamiento geoquímico distinto produciendo enriquecimiento o empobrecimiento de Eu (Román *et al.*, 1995). Esto se ha observado en procesos hidrotermales (Chester, 1990), magmáticos (Jafri *et al.*, 1993) y en reacciones geoquímicas donde incluye cambios del pH en el fondo y en agua de ríos. Otro elemento que puede llegar a presentar anomalías es Ce debido a cambios en su estado de oxidación ($\text{Ce}^{(3+)}$ condición normal y $\text{Ce}^{(4+)}$ oxidación) (De Baar *et al.*, 1985).

9. 1. 3. Calidad de los sedimentos apartir de la normalización de los datos

Los datos del contenido en los sedimentos de la muestra total y libre de carbonatos, permitió observar un incremento en los datos sin el diluyente de aproximadamente de 2 veces en la mayoría de los elementos, sin embargo, este fue mayor en el caso de Ca, Sr, Cd, Pb, Zn y U.

De esta manera, en los sedimentos libres de carbonatos es donde se registraron los valores de lantánidos normalizados más altos con respecto al material terrígeno y los datos totales de los sedimentos. Esto se ve claramente con los datos, para el sedimento total oscilaron de 0.24 a 0.55, en los sedimentos sin carbonatos de 0.43 a 0.92 y en el material terrígeno de 0.34 a 0.84.

Estos resultados no se puede asociar a actividades antropogénicas debido a la ausencia de industrias, y a la escasez asentamientos humanos en la zona. Mas bien su origen se atribuye a las características geológicas de la cuenca de drenaje en donde destacan las rocas volcánicas de la Formación Comondú y algunos prospectos mineros de origen hidrotermal.

En Bahía Concepción, los elementos altamente enriquecidos cuyo origen puede ser por aportes antropogénicos o, bien, a la presencia de depósitos minerales. En este caso, se considera que son reflejo de las características geológicas de la zona, debido que a lo largo de la línea de costa de la porción este, ocurren depósitos de óxidos de Fe y Mn (Pilares, Guadalupe, Mantitas) y que la bahía presenta poca actividad humana. Los resultados del FE se presentan en la Fig. 29. Probablemente, la presencia de un mayor número de elementos con un FE alto en los sedimentos se debe a la acumulación de diversos

materiales característicos de la cuenca y el que llega por las corrientes litorales o con la materia orgánica y partículas finas que contribuyen a una mayor adsorción de elementos.

Tabla X. Intervalo, valor promedio y desviación estándar de la concentración de elementos eliminando el contenido de carbonatos, como factor de dilución en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción y el complejo lagunar

Elemento	Bahía	Concepción	Complejo	Magdalena-Almejas
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio
K (%)	0.1 - 44.0	3 6	0.1 - 10.0	1.4 ± 2.0
Ca (%)	3 - 616	38 89	1 - 42	5 ± 7
Fe (%)	0.1 - 9.0	4 2	0.5 - 9.0	1.5 ± 1.4
Rb (mg/kg)	1 - 188	28 ± 22	2 - 89	30 ± 16
Cs (mg/kg)	0.04 - 8.0	2.0 ± 1.5	0.1 - 2.0	0.9 ± 0.5
Sr (mg/kg)	481 - 111986	5372 ± 14054	197 - 3756	667 ± 583
Ba (mg/kg)	4 - 1905	475 ± 263	73 - 1005	533 ± 160
Sc (mg/kg)	0.4 - 3.0	15 ± 6	3 - 45	9 ± 7
Cr (mg/kg)	2 - 381	106 ± 70	14 - 2452	102 ± 271
Co (mg/kg)	0.4 - 874	27 ± 89	2 - 37	6 ± 7
Cu (mg/kg)	6 - 191	31 ± 31	0.1 - 82.0	5 ± 9
Zn (mg/kg)	4 - 168	54 ± 33	0.1 - 80.0	10 ± 17
Cd (mg/kg)	1 - 210	13 ± 35	0.2 - 12.0	3 ± 3
Pb (mg/kg)	14 - 1503	92 ± 256	0.1 - 74.0	6 ± 12
Ni (mg/kg)	14 - 862	69 ± 146	1 - 236	20 ± 33
Se (mg/kg)	0.4 - 102.0	6 ± 11	0.3 - 7.5	2 ± 1
As (mg/kg)	0.3 - 95.0	15 ± 17	1 - 76	13 ± 11
Sb (mg/kg)	0.01 - 7.0	0.8 ± 1.0	0.1 - 11.0	1.6 ± 1.6
Th (mg/kg)	0.07 - 6.0	2 ± 1	0.4 - 45.0	3.2 ± 4.1
U (mg/kg)	0.5 - 69	5 ± 10	1 - 22	5 ± 4
Br (mg/kg)	1 - 636	45 ± 75	0.1 - 43.0	2.5 ± 5.0
Hf (mg/kg)	0.1 - 9.0	3 ± 1	0.6 - 16.0	4 ± 3
Ta (mg/kg)	0.02 - 1.0	0.3 ± 0.2	0.003 - 2.0	0.5 ± 0.4
Zr (mg/kg)	6 - 532	103 ± 91	20 - 820	179 ± 141

En esta zona un aspecto a destacar es la presencia de gases y fluidos calientes que Greene y Forrest (2002) indican para esta bahía, tal es el caso de Santispac y Santa Bárbara. En ambas localidades se encontraron valores altos del FE de Se, Cd, Sr y Ca (Pb y As no tan evidente) que quizás están asociados con el material volátil que emanan estos fluidos. Sin embargo, no se cuenta con datos o estudios que permitan actualmente corroborar la hipótesis de la posible relación con la presencia de altos

FE y posibles aportes de elementos de las aguas geotermales o hidrotermales. Sin embargo, se considera que la mayor influencia en la bahía es por el aporte de material de la cuenca de drenaje, aunque hay que considerar la presencia de los fluidos terminales debido que en la distribución espacial, el máximo valor de Sb coincidió con la zona en donde se ha observado este tipo de fluidos. Dichas emanaciones son de gases (metano) y fluidos calientes (hasta 90°C) en aguas someras alineadas con una falla fuera de la costa, con transporte de material (Greene y Forrest, 2002), lo cual puede estar contribuyendo con el enriquecimiento de los sedimentos a través de la precipitación de elementos por los cambios físicos y químicos en el medio circundante.

Tabla X. Datos del intervalo, valor promedio y desviación estándar de la concentración de lantánidos en los sedimentos de Bahía Concepción y del complejo Magdalena-Almejas

	Bahía Concepción		Complejo Magdalena Almejas	
	Min - Max	Promedio	Min - Max	Promedio
La	0.9 - 70	17 ± 10	4 - 39	18 ± 8
Ce	2 - 196	32 ± 22	8 - 85	35 ± 13
Pr	0.2 - 36	4 ± 3	1 - 11	4 ± 2
Nd	0.8 - 210	14 ± 17	4 - 51	16 ± 7
Sm	0.2 - 89	4 ± 7	1 - 15	4 ± 2
Eu	0.08 - 4.0	1.0 ± 0.6	0.4 - 2.0	1.0 ± 0.3
Gd	0.3 - 109	5.0 ± 9.0	2 - 17	5.0 ± 2.0
Tb	0.05 - 12	0.7 ± 1.0	0.3 - 3.0	0.8 ± 0.3
Dy	0.3 - 53.0	4 ± 4.5	2 - 13	4.0 ± 2.0
Ho	0.07 - 9.0	0.8 ± 0.8	0.4 - 3.0	0.9 ± 0.4
Er	0.2 - 19.0	2.0 ± 2.0	1.0 - 8.0	2.0 ± 1.0
Tm	0.03 - 2.0	0.3 ± 0.3	0.1 - 1.0	0.4 ± 0.2
Yb	0.2 - 9.0	1.7 ± 1.4	1.0 - 7.0	2.0 ± 0.8
Lu	0.03 - 1.0	0.3 ± 0.2	0.1 - 1.0	0.3 ± 0.1

Por otro lado, el incremento en los valores de K, Ba, Cr, Zn, Hf, Cs, Cu, Fe y Zr, fue en la mayor parte de los sedimentos fue de 2 lo que indica su cercanía con el valor de referencia. Aunque pequeñas excepciones pueden observarse, posiblemente como resultado del (i) aporte proveniente de la porción este por los depósitos minerales y (ii) la presencia de los fluidos hidrotermales en la zona de Santispac y Santa Bárbara, que es en estas últimas zonas en las cuales el FE puede llegar a ser mayor a 3. Con el factor de enriquecimiento de Rb, Th y Ta. La distribución muestra que la mayoría de los sedimentos

tienen valores menores a 1. Sin embargo, por arriba de la unidad se encontraron adyacentes a la zona de Santispac y de Santa Bárbara, probablemente asociados al aporte de aguas termales y de los depósitos de partículas asociadas a estos eventos.

En el complejo lagunar el factor de enriquecimiento de Se, Sb, Cd y As, puede originarse por la presencia de depósitos minerales o, bien, a la contribución antropogénica en el ambiente marino; sin embargo, dada la escasa actividad antropogénica y a los puntos principales de concentración de los elementos se considera que es un origen únicamente natural. De acuerdo a las características geológicas de la zona, las rocas fosfáticas y volcánicas son quizás el material que mayor influencia tiene en las características geoquímicas de los sedimentos, esto a través de los escurrimientos por los arroyos Las Bramonas y La Presa. El primero de estos, con descarga a la Laguna Soledad (porción norte) y el otro en el interior de Bahía Almejas (porción sur). Los puntos importantes en la distribución de FE de Se se asocian al aporte de material volcánico proveniente de la cuenca por los arroyos, la transformación del material inorgánico y orgánico en los sedimentos por actividad biológica, así como, al desgaste por acción de procesos físicos. En el material terrígeno los valores altos del FE, pueden indicar que el complejo funciona como una trampa de material, que asociado con la actividad biológica y al aporte de material orgánico marino han contribuido que este enriquecido en Se así como en otros elementos.

Los valores del FE para U, sr, Ba, Hf, Zr, Ca, Br y K, tanto en sedimentos como en el material terrígeno, permiten considerar a los depósitos de material continental (aluvial y litoral) en Magdalena, así como el aporte del arroyo La Presa (fragmentos de roca y minerales de cuarzo y feldespato), al material en suspensión que llega por corrientes y es atrapado en las zonas de manglar, como algunos de los factores que influyen en el enriquecimiento de los sedimentos por este grupo de elementos.

La presencia de valores altos del FE de Cr, Th, Rb y Pb, sobretodo en la isla Margarita se asocia En la isla destaca por la presencia de magnetita, que probablemente contribuye con la depositación de óxidos de Fe y Mn, y otros elementos asociados en una zona poco profunda y poco dinámica.

Factor de enriquecimiento de Cs, Ta, Ni, Co, Zn, Cu y Fe, y su distribución, indican la presencia de valores altos en la isla e interior de Almejas se asocian a: (i) la contribución continental del arroyo La Presa, que debe influenciar mayormente la porción adyacente al arroyo y central de Bahía Almejas; y (ii)

al aporte de la Isla Margarita donde depósitos de magnetita y magnesita (óxidos de Fe y Mn) destacan, quizás dando como resultado que los valores altos del FE se hayan encontrado en dicha zona. Quizás la influencia por el arroyo La Presa se ve reflejado en los valores obtenidos en la Isla Creciente, que obtuvo de 1 a 2 del FE, zona que debe funcionar como barrera de depósito por la baja profundidad y por ser un ambiente poco dinámico.

Tomando en cuenta los valores del factor de enriquecimiento en los sedimentos del complejo lagunar, se identificó que entre los elementos denominados altamente enriquecidos se encontraron varios de importancia ambiental, que destacaron por el incremento que pueden llegar a presentar tomando como referencia el contenido en la corteza continental. Estos elementos fueron Se, As, Sb y Cd, cuyo incremento fue de 40, 6, 5 y 10 veces, respectivamente. Dichos resultados indican que el complejo Magdalena-Almejas es una zona importante de concentración para elementos de importancia debido a la toxicidad que pueden generar en concentraciones altas, aunque dichas condiciones son producto de las características de la cuenca y sobretodo a la presencia de la fosforita que es un mineral concentrador de diversos elementos, como se ha podido observar en otras localidades de la Península de Baja California.

Los resultados que se obtienen del FE en Bahía Concepción la diferencian de otras localidades que han sido estudiadas como la Laguna de La Paz y la Bahía de La Paz debido que en estas zonas los elementos denominados altamente enriquecidos fueron Se, As y Sb, mientras en Bahía Concepción destacaron Se, Cd, Sr, Pb, Ca y As. Probablemente, la diferencia entre estos ambientes se asocia al tipo de roca que caracteriza la cuenca de drenaje considerando que las rocas ígneas pueden llegar a contener varios cientos de partes por millón de lantánidos y otros elementos, distribuidos a través de los minerales mayores y accesorios (Clark, 1984). Mientras, en el complejo lagunar predominaron las rocas sedimentarias marinas.

La normalización del contenido de lantánidos en los sedimentos de Bahía Concepción y del complejo Magdalena-Almejas, permitió observar que las tierras raras pesadas (ETRP) fueron al parecer las de mayor abundancia en ambos ambientes. Sin embargo como se pudo definir más claramente a través de la relación La_n/Yb_n (Tabla 43), que representan el empobrecimiento o enriquecimiento de tierras raras ligeras (ETRL) con respecto a tierras raras pesadas (ETRP), esto no sucedió así.

Los datos obtenidos de esta relación para las dos zonas fue 1 y las diferencias fueron más notorias al tomar en cuenta los intervalos (0.4 a 2.7 en Bahía Concepción y 0.2 a 1.9 en el complejo lagunar) en donde se encontró mayor presencia de los ETRL en los sedimentos de la bahía que en el complejo lagunar. Estos resultados fueron parecidos pero con menor magnitud a los reportados por Jafri *et al.* (1993), en donde hubo un marcado enriquecimiento de ETRL (valor de 1.9) en las islas Andaman-Nicobar, lo cual atribuyen a una fuente terrígeno particulado en la zona y de un componente enriquecido en ETRL. Probablemente, los valores de Bahía Concepción reflejan que la contribución terrígena es más importante en este ambiente que en el complejo debido a la presencia de un solo arroyo (El Salado) en el interior de Bahía Almejas.

La presencia de mayor concentración de ETRL en los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas, probablemente es resultado de la acción de los parámetros fisico-químicos que remueven más fácilmente ETRL mientras en el terrígeno hay mayor disposición de esos elementos considerando que el material continental o terrígeno no es modificado constantemente como ocurre en la zona costera (actividad bacteriana, oleaje, marea)

En los sedimentos de la Laguna de La Paz se obtuvo también mayor presencia de ETRL con 1.25, mientras en Bahía Vizcaíno, Daesslé obtuvo un valor de solo 0.8, el cual refleja mayor abundancia de ETRP para esa zona y que no se observó en ningún otro ambiente adyacente a la península (Tabla 43). La variabilidad de los lantánidos entre los diferentes depósitos en el registro geológico puede ser resultado de diferencias en los medios ambientes de depósito, la mezcla de agua y lutita de composición diversa en el depósito, cuya composición en ETR sea característica; y las reacciones diagenéticas de movilización (Daesslé, 1993).

Por otro lado, en ambos ambientes el comportamiento por estación de los valores normalizados de los lantánidos permitió identificar tres tipos de patrones gráficos, definidos como: a) incremento en Eu, b) decremento en Eu y c) incremento en Gd. De acuerdo a los trabajos realizados por Jafri *et al.* (1993), Daesslé (1993) y Román *et al.* (1995), este incremento se traduce en una anomalía positiva que se define como un enriquecimiento de Eu en minerales concentradores de los elementos de tierras raras y a la importante contribución de material terrígeno. La presencia de anomalía positiva de Eu en los sedimentos

de ambos ambiente, se asocia al cambio de su estado normal Eu^{+3} a una reducida Eu^{+2} , tal como se señalo anteriormente.

Tabla 43. Estimaciones realizadas a las concentraciones de lantánidos normalizados en las áreas de estudio y datos de referencia de otras áreas

Localidad	La_n/Yb_n	Anomalía de Eu	Anomalía de Ce
Bahía Vizcaíno ¹	-	0.18 - 0.67	-
Isla Andamar-Nicobar ²	0.5 - 1.9	1.02 - 1.13	-
Nódulo-sedimento ³	-	-	0.24
Sedimentos del Lago Mascaradi, Argentina ⁴	0.53	1.03	0.8
Basalto del Lago Mascaradi, Argentina ⁴	0.59	1.51	0.9
Namibia, Africa ⁵	-	-	0.04
Laguna de La Paz ⁶	1.25	1.2	0.9
Sedimentos de Bahía Concepción	1.1	1.4	0.9
Material continental, Bahía Concepción	1.0	1.4	0.9
Sedimentos del complejo Magdalena-Almejas	1.0	1.1	0.9

¹Daesslé (1993), ²Jafri *et al.* (1993), ³Pattan y Banakar (1993), ⁴Román *et al.* (1995), ⁵Watkins *et al.* (1995) ⁶Rodríguez-Meza (1999)

Tomando en cuenta los datos de Eu_{anom} se observó que los sedimentos y el material continental de Bahía Concepción fueron los que obtuvieron un valor mas alto (1.4) con respecto al sedimento del complejo lagunar (1.1), probablemente la diferencia radica en el aporte de material continental que tenga cada cuenca y sobretodo a la presencia de minerales que se definen como concentradores de ETR. Entre los minerales de rocas ígneas destacan los clinopiroxenos cálcicos y anfíboles, mientras en rocas graníticas se encuentran en minerales accesorios como esfeno, apatita y monazita, que son frecuentemente enriquecidos en tierras raras ligeras (Clark, 1984). Probablemente, la presencia de apatita, sobretodo en el complejo lagunar explica la mayor abundancia de las ETRL con respecto a ETRP (La_n/Yb_n). Otros son las arcillas, plagioclasas, feldespatos (Román *et al.*, 1995). El análisis mineralógico realizado por Álvarez-Arellano (1995) muestra que algunos de los minerales (cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, hornblenda, magnetita, apatita y calcita) del sedimento del complejo Magdalena-Almejas son clasificados como concentradores de lantánidos, resultado que quizás favorece a obtener mayor concentración de ETR en esta área que en Bahía Concepción.

La presencia de la anomalía positiva de Eu en Bahía Concepción, se asocia al aporte de material continental con presencia de Eu en minerales como feldespatos, plagioclasas, clinopiroxenos, mica, que tienen la capacidad de incorporar Eu en su estructura bajo condiciones reductoras (Clark, 1984). La

presencia excesiva de Eu en el ambiente típicamente se relaciona a eventos hidrotermales que también dieron origen a varios de los prospectos mineros de la zona adyacente a Bahía Concepción, y actualmente es posible observar en algunas zonas pequeñas, estos flujos como en Santispac y playa Buena Aventura. Sin embargo, para la presencia de Eu deben actuar también otros factores debido que en esos puntos y en la playa El Coyote, el sedimento no presentó un incremento en el valor normalizado de Eu. Un aspecto que mas adelante se señalará a detalle es que las algas extraídas cercas de uno de los puntos con el flujo hidrotermal presentaron concentraciones altas de elementos, probablemente los elementos son liberados en formas iónicas o interacción con otros ligandos que permiten fácilmente ser absorbidos por las algas.

Comparación de la relación La/Yb con otras localidades(complejo lagunar). Datos de referencia de la relación La_n/Yb_n se indican para los sedimentos de Bahía Vizcaíno cuyo resultado fue cercano a la unidad (Daesslé, 1993), para las islas Andaman-Nicobar los datos oscilaron de 0.5 a 1.93 (Jafri *et al.* 1993) y muestran que algunas de las zonas presentan marcado enriquecimiento de los sedimentos por tierras raras ligeras (ETRL) y reflejan la influencia de tipo terrígeno. Probablemente, el aporte terrígeno, y quizás la depositación del material transportado por las corrientes marinas, son los factores principales que determinan este enriquecimiento adyacentes a la línea de costa de ambas bahías.

La anomalía de Eu en los sedimentos del complejo lagunar fue parecida a lo registrado en los sedimentos del Lago Mascardi y en las islas Andaman-Nicobar. Mientras para Bahía Concepción se encontró semejanza con el basalto del Lago Mascardi (Argentina). El enriquecimiento de Eu en el lago y en las islas se asocia al aporte de feldespatos que proviene de las rocas basálticas caracterizadas con alto contenido de Eu por la sustitución de $Eu^{(+2)}$ por $Sr^{(+2)}$ en los lugares de $Ca^{(2+)}$ (Jafri *et al.*, 1993; Román *et al.*, 1995). Sin embargo, los sedimentos de Bahía Vizcaíno fueron los de mayor diferencia entre los ambientes adyacentes a la península, al obtener en dicha localidad valores que oscilaron de 0.18 - 0.67 y que representan anomalía de Eu negativa. Esto refleja la diferencia que existe entre los ambientes, ya sea por las características geológicas de la cuenca, el aporte continental y marino, dinámica del cuerpo de agua, entre otros.

Anomalía de Eu en Bahía Magdalena (tanto negativa como positiva), quizás porque esta es una zona más dinámica e influenciada por las surgencias y con más intenso intercambio de agua con el

Océano Pacífico, que favorece en la presencia de un cierto tamaño de partícula, resuspensión del material, cambios en las condiciones físicas y químicas del agua, entre otras.

La distribución de Euanom en el complejo lagunar indico mayor presencia de este índice en los sedimentos de los canales Bocana, Gaviota y el interior de Almejas, que quizás se relaciona con el material orgánico e inorgánico de origen marino y terrígeno, que es sobretodo modificado y transportado en las partes más dinámicas como fueron los canales debido al recambio de agua por efecto de las corrientes marinas y de la marea. La distribución de este elemento en los sedimentos del complejo lagunar se asoció a: (1) el aporte de material continental donde hay que destacar la presencia de fosforita y en donde los lantánidos son abundantes, (2) influencia del Océano Pacífico a través del intercambio de agua, (3) depositación de material en suspensión en las zonas de manglar considerando que es un ambiente de escasa profundidad que permite la fácil depositación de partículas, (4) aporte de material desde la Isla Margarita y al aporte desde el canal Rehusa.

Mientras, en Bahía Concepción los datos altos de Euanom se observaron frente a Mulegé. Estos valores fueron mayores a 2, lo cual indica que Eu en esta parte fue abundante quizás como resultado de la descarga de material desde la cuenca de drenaje ante precipitaciones pluviales (sobre todo en verano), además del material que llega desde otras zonas por acción de las corrientes y la acción de factores químicos y biológicos en los sedimentos de fondo. La concentración en el interior de la bahía, porción oeste y centro de la bahía, son probablemente por el aporte del continente y por la depositación en la zona profunda.

El incremento en los valores de Eu_{anom} contribuye a considerar a los sedimentos de la boca de Bahía Concepción como una posible fuente de aporte de Eu hacia el interior del cuerpo de agua y, probablemente, de otros elementos como resultado del intercambio de agua que existe entre el Golfo de California y el interior de la bahía.

La presencia de una anomalía positiva de Eu en los sedimentos ha sido observada en otras localidades como la corteza continental de Australia (Nance y Taylor, 1977) y rocas fosfatadas del sur de África (Watkins *et al.*, 1995), y se asocia a un efecto local que se produce del intemperismo y depositación de materiales provenientes de rocas sedimentarias donde ocurre acumulación de feldespatos

y plagioclasas, el cual también puede estarse presentando en este cuerpo de agua y estar reflejando las características de la cuenca. Otros minerales que son importantes concentradores de lantánidos son las micas, ortopiroxenos, biotita y granate (Clark, 1984; Fleet, 1984; Román *et al.* 1995). En la bahía, pocas fueron las zonas donde los sedimentos no presentaron un enriquecimiento de Eu, como fue en Santispac, en El Remate y algunas zonas en la boca, donde se asocian a la presencia de carbonatos que actúan como un componente que diluye o enmascara la presencia de los elementos.

El Ce es otro elemento susceptible a presentar cambios en su estado de oxidación ($Ce^{(+3)}$ a $Ce^{(+4)}$) ocasionando la presencia o no de anomalías (De Baar *et al.*, 1985). Los datos obtenidos en los sedimentos de Bahía Concepción como del complejo Magdalena-Almejas fueron iguales con 0.9, y semejante a lo reportado por Román *et al.* (1995) para los sedimentos (0.8) y el basalto del Lago Mascardi (Argentina), que se denomina como una anomalía positiva. La explicación para esta anomalía es que a pH y pO_2 bajo conducen a la liberación de $Ce^{(3+)}$ a la solución, pero en pO_2 alto el $Ce^{(3+)}$ disuelto es removido para la formación de $Ce^{(4+)}$ insoluble, dando como resultado que Ce disminuya en aguas oceánicas, pero que bajo el umbral de pO_2 las aguas serán normales o enriquecidas. Por otro lado, en los sedimentos de las Islas Andamar-Nicobar los valores oscilaron de 0.91-1.01, 0.63-0.72 que presentan anomalías ligeramente de positivas a negativas, los primeros datos son cercanos a los obtenidos en las áreas sujetas a estudio (0.80 - 0.96 en Bahía Concepción y 0.85 - 0.97 en el complejo lagunar). Es por ello, que los sedimentos de Bahía Concepción y del complejo Magdalena-Almejas se considera que presentan una anomalía positiva de Ce.

En un ambiente adyacente a la Península de Baja California, como lo es la Laguna de La Paz, se encontró que el intervalo para esta anomalía fue de 0.8 a 0.9 (Rodríguez-Meza, 1999), que es menor a lo obtenido tanto en los sedimentos como en el material terrígeno del complejo lagunar. Esta diferencia observada puede permitir señalar al complejo Magdalena-Almejas como un ambiente con una anomalía ligeramente positiva en Ce.

Hasta el momento, los sedimentos superficiales de ambos cuerpos de agua, Bahía Concepción y del complejo lagunar Magdalena-Almejas, se pueden caracterizar con respecto a los lantánidos por tres aspectos: i) mayor abundancia de elementos de tierras raras ligeras (ETRL), ii) anomalía positiva de Eu y

iii) anomalía positiva de Ce. De acuerdo a esta información, es posible establecer el tipo de patrón de distribución que presenta este grupo de elementos en los sedimentos de ambos ambientes, tomando como referencia la descripción realizada por McArthur y Walsh (1984), que definen cuatro tipos de patrones denominados: (a) lutita, (b) agua de mar, (c) intemperizado y (d) ninguno de los anteriores. Sin embargo, ninguna de las áreas sujetas a estudio presento algunas de las características señaladas para los tres primeros patrones, considerando que en ninguno de los casos se indica una anomalía positiva de Eu y un ligero enriquecimiento de ETRL y de Ce, de tal manera que los sedimentos caen dentro del ultimo patrón el cual se caracteriza por no presentar ninguna de las características. De esta manera, se puede considerar a Bahía Concepción y al complejo Magdalena-Almejas como zonas complejas y de importantes interacciones cuyas características son peculiares y distintas a otras regiones.

Watkins y colaboradores reportaron datos de -0.11 en fango diatomáceo y de -0.23 en rocas fosfatadas de Namibia (África), ambos casos reflejando anomalías marcadamente negativas. Resultados diferentes fueron señalados por Pattan y Banakar (1993) para sedimentos de la India, quienes reportaron una anomalía de Ce positiva con 0.24. En una localidad cercana a Bahía Concepción, como lo es la Laguna de La Paz, los datos oscilaron de -0.02 a -0.03 en sedimentos marinos y representaron una anomalía ligeramente negativa (Rodríguez-Meza, 1999). De acuerdo a estos resultados y a la semejanza con el valor en fango diatomáceo de Namibia, se considera que los sedimentos de Bahía Concepción presentan una anomalía de Ce negativa.

Complejo lagunar, obtenidos de comparar la anomalía de Ce con otras zonas. Los valores en los sedimentos del complejo son pequeños considerando los datos que llegaron a encontrarse en el fango diatomáceo de -0.11 y en las rocas fosfatadas con -0.23 en Namibia (África), que representan una anomalía de Ce marcadamente negativa (Watkins *et al.*, 1995). En contra parte, en los sedimentos de la India la anomalía de Ce positiva se definió con un valor de 0.24 (Pattan y Banakar, 1993).

Con base en los resultados de la concentración de elementos obtenidos en los sedimentos de la Laguna de La Paz, Bahía de La Paz, Santa Rosalía y las áreas sujetas a estudio, fue posible diferenciarlas por los valores registrados en el índice de geoacumulación propuesto por Müller (1979) (citado en de Groot *et al.*, 1982; Salomons y Förstner, 1984).

Los resultados permiten señalar a Cr, Co, Se, As, Sb y Cd como elementos cuya concentración obtenida en las cinco localidades puede hacerlos considerar como ambientes de fuerte a muy fuertemente contaminados (Tabla 41). Sin embargo, dadas las características en dichas localidades, con excepción de Santa Rosalía, en estas predominan la escasa actividad antropogénica y las características geoquímicas, son el resultado del tipo de roca y de la descarga de material por las cuencas de drenaje. Estos resultados fueron semejantes al factor de enriquecimiento, que de acuerdo al valor obtenido se consideran como altamente enriquecidos y asociados al aporte antropogénico. En el caso de Fe, Co, Zn, Ni y Cr se consideran como elementos que representan el aporte terrígeno, ya que en la mayoría de las zonas los valores obtenidos permiten considerarlos como no contaminados. Para Santa Rosalía los elementos fueron solamente Fe y Cr, el resto de los elementos permiten considerar a esta zona como de moderada (Ni) a muy fuertemente contaminada (Co, Se, As, Sb, Cu, Zn y Pb).

Tabla 41. Índice de geoacumulación (I_{geo}) obtenido de elementos mayores y traza en los sedimentos de las áreas de estudio y de otras localidades de la Península de Baja California

Elemento	Complejo Magdalena-Almejas*	Bahía Concepción*	Laguna de La Paz ¹	Bahía de La Paz ²	Santa Rosalía ³
Fe	2	3	3	3	4
Cr	12	12	11	11	12
Co	6	7	6	7	11
Se	-4	-4	-5	-5	-5
As	3	3	4	4	3
Sb	-3	-5	-3	-3	-3
Cu	6	9	9	N. D.	14
Zn	7	11	11	11	9
Pb	3	8	9	N. D.	9
Cd	-3	-1	-1	N. D.	-4
Ni	9	11	11	N. D.	13
La	8	8	8	9	9
Lu	-4	-5	-4	-3	-3

*Presente estudio, ¹Rodríguez-Meza (1999), ²Rodríguez-Castañeda (2001), ³Rodríguez-Figueroa (2004)

9. 1. 2. Zonas de acumulación

Bahía Concepción. Las distribuciones espaciales de Rb, Cs, Ba, As, Sb, Th y Hf en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción muestran que los sedimentos con la mayor concentración se encontraron adyacentes al Estuario Mulegé y a la porción este de la bahía, en donde destaca la presencia de depósitos minerales. Entre los depósitos minerales que contribuyen en el aporte de material rico en estos elementos traza están Pilares (Fe, Cu) y Guadalupe (Fe, Mn, Co, Ni), y con respecto a los arroyos fueron Guadalupe, Minitas, Mantita, Beatriz, León, Cardoncito, Color de Rosa, las Tres Marías y de Luis (McFall, 1968). La distribución de Fe en los sedimentos muestra algunas semejanzas con estos elementos debido a su presencia en los puntos ya señalados, pero además su presencia destaca en la porción central asociado al contenido de carbono orgánico. Algunas peculiaridades en la distribución espacial de Hf permite considerarlo dentro de otro grupo de elementos, por lo que se describirá posteriormente.

En la porción central, la particularidad que destaca de este tipo de sedimento es su alta capacidad de adsorción de elementos y la presencia de componentes orgánicos. La capacidad de adsorción de los sólidos está determinada por el tamaño de la partícula (radio superficie-masa), aspecto que influye en el transporte, depositación, adsorción y/o liberación de los elementos (Warren y Zimmerman, 1993). Chester (2003) señala que las arcillas, los óxidos y el material orgánico (tamaño $\leq 2 \mu\text{m}$) acumulan mas elementos traza que otros componentes de los sedimentos. Aunque hay que considerar algunos aspectos que influyen el proceso de adsorción, como son: (i) la presencia de ligandos en la superficie mineral que facilita o no la adsorción, (ii) la naturaleza de la partícula y (iii) los procesos diagenéticos que redistribuyen los elementos traza.

En los sedimentos de la bahía, la asociación de los carbonatos con Ca, Sr y Pb fue más claramente observada en las distribuciones espaciales donde los sedimentos con alto contenido se encontraron adyacentes a Punta Aguja, Santispac, Santa Bárbara y Playa la Pasajera donde es común observar los diferentes tipos de material carbonatado y de algas coralinas que señalaron Montolinía (1996), Shumilin *et al.* (1996) y Forrest *et al.* (2002). En el complejo Magdalena-Almejas las zonas con mayor contenido de estos elementos se observaron principalmente adyacentes a las islas Margarita y Magdalena, en donde se localizan los bancos de moluscos bivalvos además que MgCO_3 (magnesita) es

uno de los minerales abundantes particularmente en las islas, características que probablemente contribuyen a la presencia de Ca, Sr y de Pb en esos puntos, donde además fue abundante el Fe, y probablemente Mn y Mg, provenientes de las rocas ofiolíticas y los depósitos de magnetita y magnesita.

Mason (1960) señala que la precipitación de CaCO_3 como calcita o aragonita es un factor importante debido que la estructura de la aragonita permite fácilmente la sustitución por cationes más grandes, tal es el caso de Sr y Pb. En sedimentos del Golfo de México, Rosales *et al.* (1982) obtuvieron una correlación de 0.84 entre Sr y el contenido de carbonatos, el cual es semejante al registrado en Bahía Concepción y en el complejo Magdalena-Almejas. El Sr también es posible observarlo en las espículas de protozoarios en forma de SrSO_4 (Bruland, 1983), lo cual probablemente ocurre debido a la alta productividad biológica en la zona. La relación de Pb con los carbonatos en los sedimentos ha sido observada por Dossi y Warren (1980) quienes señalaron que una alta proporción del Pb total se encontró en las conchas, fragmentos de concha, débris orgánico, cuarzo y otras partículas minerales, lo cual coincide con los resultados obtenidos para Bahía Concepción.

El complejo Magdalena-Almejas no fue la excepción, dada la presencia de depósitos de magnesita (MgCO_3) y magnetita ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$) asociadas a rocas ofiolíticas de origen volcánico en las islas Margarita y Magdalena, cuyo intemperismo contribuye a la presencia de óxidos de Fe, Mn y de carbonatos. Los sedimentos superficiales adyacentes a las islas Magdalena y Margarita se identificaron como una importante área de acumulación de carbono orgánico, Ca, Co, Cr, Cu, Sc, Ni, Pb, Zn, Br y sobretodo de Fe derivado de estas rocas. La Figura 100, muestra el coeficiente de correlación de la concentración de Fe y Sc, el cual fue mayor a 0.94 e indica la procedencia terrígena de este elemento sobretodo en los sedimentos adyacentes a las islas debido que en dicha zona se obtuvieron los máximos de la concentración. Valores significativos se observaron entre Fe y Co (0.9), Cr (0.5), Cu (0.6), Sc (0.9), Ni (0.6) y Zn (0.8) (producto-momento de Pearson con 99% del nivel de confianza), las excepciones fueron Ca, Pb y Br, aunque sus máximos también se encontraron cerca de las islas pero probablemente asociados, por un lado, a los carbonatos (Ca y Pb) y, por otro lado, al carbono orgánico (Br).

Con respecto a los lantánidos, en Bahía Concepción lo que mas sobresalió es la presencia de valores altos frente a Mulegé, lo que parece ser una fuente de lantánidos y de otros elementos traza

debido al aporte de material durante época de precipitación pluvial y a la comunicación que existe con el interior de la bahía por acción de las corrientes marinas. La distribución descrita para los lantánidos fue semejante a Fe, Ba y Hf, principalmente; debido a la semejanza entre las zonas de contenido alto. Esto se corroboró a partir del coeficiente de correlación de La con estos elementos y cuyos resultados fueron 0.87, 0.80 y 0.82, respectivamente; lo que probablemente indica una asociación de lantánidos con los óxidos de hierro.

9. 1. 3. Factores que determinan la variación espacial de los elementos

El efecto de algunos de estos se observó en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción, en donde se encontró la presencia de un mayor número de elementos en concentración. Este resultado se asocia a la presencia de los carbonatos, carbono orgánico, los depósitos minerales a lo largo de la línea de costa de la porción este (Pilares, Guadalupe, Mantitas) y al aporte de material por algunos arroyos (Guadalupe, Minitas, Mantita, Beatriz, León, Cardoncito, Color de Rosa, las tres Marías y de Luis) que cortan estas rocas (Consejo de recursos Minerales, 1999).

La presencia de carbono orgánico en los sedimentos fue más notorio en Bahía Concepción (valor promedio 2%) que en el complejo Magdalena-Almejas (valor promedio 0.3%), probablemente resultado del aporte orgánico que realizan las diversas especies (plancton, macrofitas, pastos marinos, árboles de manglar y otros) al ambiente marino y por la eutroficación de las aguas con el incremento de nutrientes y de florecimientos algales (*Alexandrium catanella*, *Gymnodinium catenatum*, *D. sanguineum* y *Prorocentrum micans*) (Herrera y Ojeda, 1999; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2004), estos dos últimos aspectos característicos de la zona. Probablemente, la diversidad biológica, los procesos de eutroficación y eventos de anoxia asociados a la oxidación del material orgánico en ciertas épocas del año (finales de verano y mediados de otoño) (Lechuga-Devéze *et al.*, 2001), contribuyen a un mayor flujo e interacción de los elementos con los diversos componentes bióticos en este ambiente. López-Cortés *et al.* (2003) señalan que dichos eventos en la bahía son el resultado del exceso de material orgánico fitoplanctónico, el cual propicia el incremento en las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (verano-otoño) y la generación de un ambiente subóxico o anóxico. Ambos aspectos son resultado de la actividad bacteriana, lo cual, puede

favorecer a la disponibilidad de los elementos traza y que en dicho cuerpo de agua se encuentre un mayor número de elementos en concentración alta en comparación con el complejo lagunar.

Falkowski (1999) señala que la actividad biológica interviene en la producción de materia orgánica por procesos de asimilación, transformación biogeoquímica, transporte físico, movilización geológica y química, en la transferencia y retención de algunos elementos que son perpetuados y regenerados. Dentro del componente biológico, las algas que son comunes observar en Bahía Concepción y en el complejo Magdalena-Almejas, favorecen a la removilización de los metales desde los sedimentos, en la liberación de metales de acuerdo a sus necesidades fisiológicas y/o cambios físicos y químicos en el sedimento y por las condiciones en el agua; mientras los florecimientos algales permiten la formación de complejos disueltos con sustancias húmicas marinas (Drude De Lacerda, 1994). La oxidación de la materia orgánica por la actividad bacteriana contribuye a la remineralización de los nutrientes esenciales, disolución y precipitación, oxidación y reducción, y metilación y dealquilación en los sedimentos (Johnson-Barrie, 1998), a través de utilizar la energía de compuestos inorgánicos como H_2S , metano, amonio, nitrito, azufre, gas hidrógeno (Valiela, 1984). Es por ello, que la interrelación de la parte biótica y los procesos antes señalados, permiten considerar a Bahía Concepción como una zona compleja y dinámica en la transferencia de los elementos traza por los diferentes componentes que lo caracterizan. Destacando sobretodo los sedimentos debido que pueden actuar como una fuente de elementos traza al agua suprayacente, como lo señalaron Ciceri *et al.* (1992). Estos autores encontraron una transferencia de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn desde los sedimentos al agua debido a la disolución de los oxihidróxidos de Fe y Mn o la materia orgánica.

Entre los minerales de estos depósitos se encuentra hematita, limonita, pirolusita y cuarzo, que son óxidos de Fe y Mn, y puede también encontrarse de Si. El aporte y distribución de los óxidos, sobre todo de Fe y Mn, es una de las características que destaca en la bahía, ya que estos se consideran como partículas con alta capacidad de adsorción de elementos. De acuerdo a esta capacidad, los óxidos junto con otras partículas se han ordenado de la siguiente manera: $MnO_2 > \text{ácidos húmicos} > \text{oxihidróxidos de hierro} > \text{minerales arcillosos}$ (Förstner *et al.*, 1978), demostrando que los óxidos, las arcillas y el material orgánico acumulan mas elementos traza (Chester, 2003). Esta capacidad de adsorción de los sólidos está

determinada por el tamaño de la partícula (radio superficie-masa) e influye en el transporte, depositación, adsorción y/o liberación de los elementos (Warren y Zimmerman, 1993).

La fuente principal de Fe y, probablemente para otros elementos en la bahía, es el aporte continental. La Figura 98, muestra la relación de la concentración de Fe y Sc, y se encontró una correlación mayor a 0.9 (producto-momento de Pearson con 99% del nivel de confianza). Esto permite

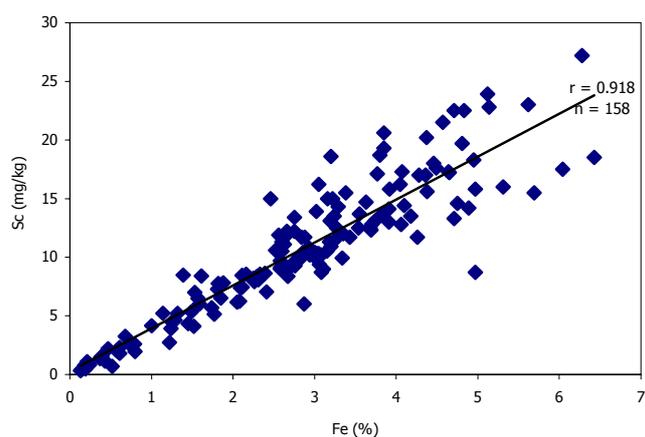


Figura 98. Variación de la concentración de Fe (%) con Sc (mg/kg) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

considerar al Fe como un elemento representante del material terrígeno, tomando en cuenta que el Sc se consideró para este estudio como un elemento normalizador y representante del material continental, debido que es análogo al Al, el cual se caracteriza por ser el mayor constituyente de los aluminosilicatos.

En la bahía los elementos que se encontraron en las zonas muy probablemente influenciadas por los óxidos del aporte continental y por la presencia de las partículas finas del sedimento fueron Rb, Cs, Ba, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Se, As, Sb, U, Br, Ta, Th, Zr y los lantánidos. Sin embargo, la relación fue mayor a 0.5 (producto-momento de Pearson con 99% del nivel de confianza) entre Fe y Ba, Cr, Zn, Cu, Th, además de los lantánidos (Figura 99). El resto de los elementos obtuvo un coeficiente menor a 0.4 (producto-momento de Pearson con 99% del nivel de confianza), lo que refleja su poca relación con los óxidos de Fe pero probablemente con alguno de los otros elementos.

Resultados similares obtuvieron Daskalakis y O'Connor (1995) en los sedimentos de la costa de Estados Unidos. Los coeficientes de correlación fueron positivas entre As (0.7), Cr (0.6), Cu (0.4), Ni (0.6), Pb (0.7) y Zn (0.5) con Fe (producto-momento de Pearson con 99% del nivel de confianza). Esto sugiere, que los óxidos de Fe ó Mn ejercen un control dominante en la adsorción o coprecipitación en los sedimentos, como lo señala Turner (2000) debido a la significancia encontrada entre los óxidos de Fe ó Mn (ó ambos) y Cu, Zn y Pb. Otros elementos que se pueden observar asociados a estos componentes

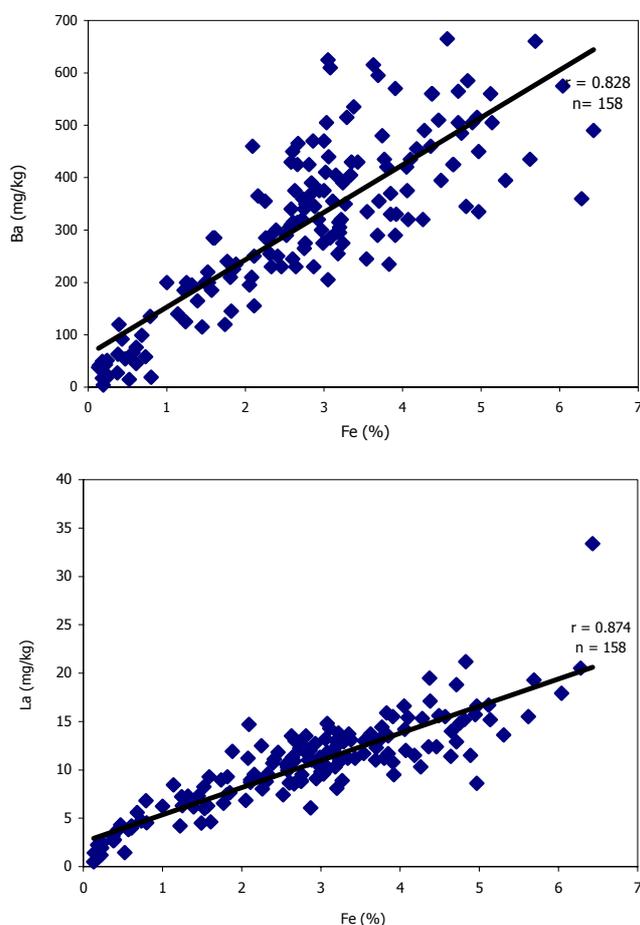


Fig. 99. Coeficientes de correlación de la concentración de Fe (%) con Ba (mg/kg) y La (mg/kg) en los sedimentos superficiales de Bahía Concepción

del sedimento son V, Mn, Ni, Cu, Zn, Mo y As en los óxidos de hierro, y Fe, Co, Ni, Zn y Pb en los óxidos de manganeso (Siegel, 2002). Los cuales abarcan elementos que han sido señalados para Bahía Concepción, y por lo tanto, en este ambiente el aporte continental y la presencia de los óxidos cumplen un papel importante en el aporte, depositación y transporte de los elementos. Otros factores que influyen en el comportamiento de los elementos traza en el ambiente son la presencia de los componentes biogénicos mayores. Los carbonatos y carbono orgánico en los sedimentos determinan la depositación y distribución espacial de los elementos, sobretodo en Bahía Concepción debido que la concentración de ambos fue mayor para

esta localidad.

Los carbonatos en esta bahía se observaron como fragmentos de conchas de moluscos bivalvos y gasterópodos, fragmentos de corales, testas de foraminíferos planctónicos y espículas de esponjas síliceas (Shumilin *et al.*, 1996) además de rodolitos de organismos libres y algas coralinas (Montolinía, 1996; Forrest *et al.*, 2002), que son el resultado de la actividad biológica y que han contribuido a que elementos como Ca, Sr y Pb sean absorbidos y precipitados para la formación de CaCO_3 , SrCO_3 y PbCO_3 . Los coeficientes de correlación entre los carbonatos y los elementos mencionados fueron de 0.9, 0.8 y 0.9 en los sedimentos de Bahía Concepción, y para el complejo lagunar los valores se estimaron en 0.7, 0.7 y 0.4, la correlación baja de carbonatos y Pb posiblemente es resultado de la asociación de este elemento

con otra clase de minerales considerando los bajos coeficientes con Fe (0.33), carbono orgánico (0.13) y los carbonatos (0.40). La Figura 101 presenta la relación de Ca con carbonatos y carbono orgánico de Bahía Concepción y del complejo Magdalena-Almejas, este elemento se asocia principalmente a la productividad de los organismos bentónicos que a la productividad generada por los organismos planctónicos.

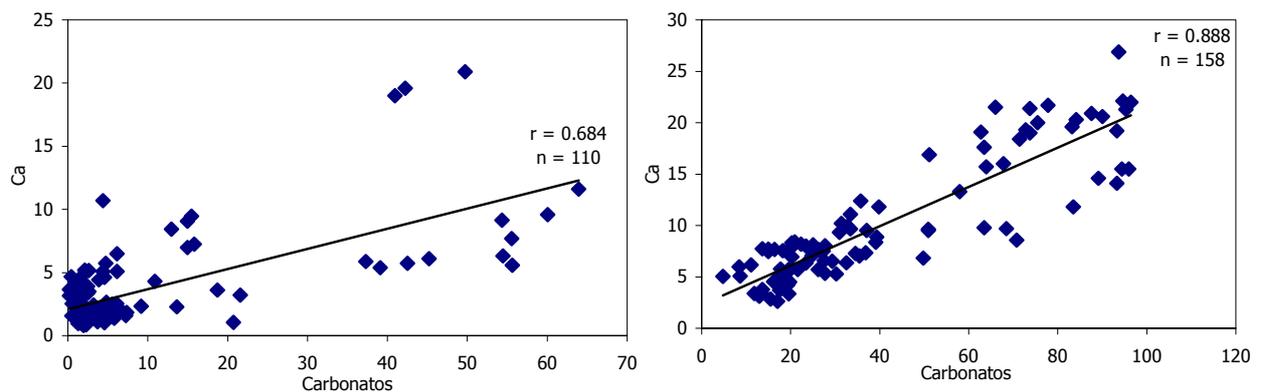


Fig. 101. Relación de la concentración de Ca con los carbonatos de los sedimentos superficiales de Bahía Concepción (a y b)

Es necesario señalar que en la Península de Baja California destaca la presencia de fosforita y que influencia los sedimentos de la Laguna de La Paz, Bahía de La Paz y, muy probablemente del complejo lagunar Magdalena-Almejas a través del aporte de material continental de la Formación San Gregorio que llega por los arroyos Las Bramonas y La Presa, debido que las ramificaciones de dichos arroyos cortan las rocas enriquecidas en fosforita que Piper (1991) señala en la Fig. 12. Sin embargo, otra fuente potencial de fosforita podría provenir del Océano Pacífico, debido que D'Anglejan (1967) determinó en sedimentos marinos de la plataforma continental de hasta 100 m de profundidad, concentraciones altas de fosforita que oscilaron entre 5 y 10% desde Punta Abreojos hasta la zona de canales en el interior del complejo lagunar, aunque en las zonas adyacentes a la boca de Santo Domingo y Las Animas los valores alcanzaron hasta 20% de fosforita. Los promedio mundiales para sedimentos marinos y rocas sedimentarias oscilan de 300 mg/kg a 750 mg/kg como P (0.08% a 0.17% como P_2O_5) (Levinson, 1974; Krauskopf, 1979; Chester, 1990 citados por Álvarez-Arellano, 1995). La fosforita ($Ca_{10}(PO_4, CO_3)_6 F_{2-3}$)

son rocas que están significativamente enriquecidas en fósforo y pueden llegar a presentar de 15 a 20% de P_2O_5 e incluyen Ag, Cd, Mo, Se, Sr, U, Yu, Zn y los lantánidos. Entre las sustituciones mejor conocidas en la apatita están los elementos de Tierras Raras, U, Mn y Sr por Ca (Clark, 1984; Fleet, 1984); Cl^- y $(OH)^-$ por F; y CO_3^{2-} , SiO_4^{4-} y SO_4^{2-} por PO_4^{3-} (Levinson, 1974).

Es por ello, que los estudios realizados por Álvarez-Arellano (1995), Rodríguez-Meza (1999) y Rodríguez-Castañeda (2001) señalan a este mineral que aflora en San Juan de la Costa, como uno de los factores principales en el aporte de elementos al ambiente marino adyacente. Estimaciones de la concentración de pentóxido de fósforo oscilaron de 22.3% a 23.5% en las capas fosfáticas (Formación San Gregorio) de San Juan de la Costa (Álvarez-Arellano, 1989). La influencia hacia otros ambientes como la Bahía de La Paz y la Laguna de La Paz ocurre por la descarga de material continental durante el aporte pluvial, transporte eólico, corrientes litorales y de marea. Green y Larrinaga (1986) demostraron la presencia de gránulos fosfáticos en la barrera arenosa El Mogote (localizada en la porción sur) y una concentración del fósforo entre 1% y 6%. La depositación de este material fue uno de factores que se consideró contribuyen con la presencia de As, Ca, Cr, K, Sc, Th, Zn, Zr y lantánidos en los sedimentos superficiales adyacentes al Estero Zacatecas del interior de la Laguna de La Paz, algunos asociados directamente a la fosforita (Rodríguez-Meza, 1999; Shumilin *et al.*, 2001).

En el complejo lagunar Magdalena-Almejas, probablemente ocurre algo similar a la Laguna de La Paz, debido a la presencia de una barrera arenosa (Isla Creciente) frente a la desembocadura del arroyo La Presa que puede contribuir con la depositación de material continental (como la fosforita) acarreado desde el continente y del mar adyacente por corrientes litorales, probablemente de algunas de las zonas señaladas por D'Anglejan (1967). Quizás esto ha motivado que en el sedimento de esta barrera se haya encontrado a Fe, Co, Cr, Sc, Zn, Zr, Ta, U, lantánidos y otros (Fig. 18, 23, 33), en concentración alta como ocurrió en la Laguna de La Paz. Tomando en cuenta la localización de las zonas ricas en fosforitas señaladas por Piper (1991), posiblemente este material llega al interior del complejo lagunar a través de la descarga de los arroyos Las Bramonas y La Presa durante el verano o por eventos meteorológicos, de tal manera que por su localización este material puede llegar a influenciar los sedimentos superficiales de

la zona de canales y en el interior de Bahía Almejas, ya que ambas se detectaron como zonas de depósito de los diferentes elementos. El trabajo realizado por D'Anglejan (1967) permite considerar a los sedimentos marinos contiguos al complejo y aquellos de Boca de Las Animas a Boca de Soledad, como una fuente potencial de fosforita (pelets fosfatados, guijarro fosfatado, apatita) hacia la porción norte del complejo lagunar (zona de canales) (Fig. X). La presencia de dicho material se atribuye al aporte continental y al alto contenido de fosfato disuelto que es aportado por los eventos de surgencia que ocurren (abril, mayo y junio, particularmente intensas en Punta Eugenia y Punta Abrejos) que caracterizan a la región. Valores altos (5% - 20%) fueron señalados cerca de la Bahía de Las Animas y Boca de Santo Domingo, ambas localizadas en la porción norte que posiblemente llega a influenciar la zona de canales en donde se detectaron algunos elementos con contenidos altos.

A pesar que la fosforita es un recurso mineral que fue explotado por la empresa ROFOMEX por algunos años, no se tiene conocimiento de problemas por posible efecto de contaminación. Aunque esta actividad antropogénica es una fuente potencial de elementos, los valores obtenidos son comparables con los datos registrados para otras localidades con presencia de fosforita, tal es el caso de Namibia en África (Watkins *et al.*, 1995). Sin embargo, fue posible observar diferencias en la concentración de elementos en sedimentos de la Laguna de La Paz, Bahía de La Paz y en el complejo Lagunar. Bahía de La Paz fue la zona donde se encontró contenido alto de los componentes y elementos mayores, y de Sr, Zn y Br, considerando los datos registrados en este estudio, los de Álvarez-Arellano (1995) y Rodríguez-Meza (1999). Aunque diferencias se encontraron entre las localidades, el contenido promedio de Cd, Co, Cr y Cu, fueron menores a los datos señalados por Piper (1991) para los depósitos sedimentarios fosfatados de la porción sur de la península. Tomando en cuenta estos datos, es posible señalar que la presencia de y el aporte de este mineral al ambiente marino es una fuente potencial para la entrada de diversos elementos.

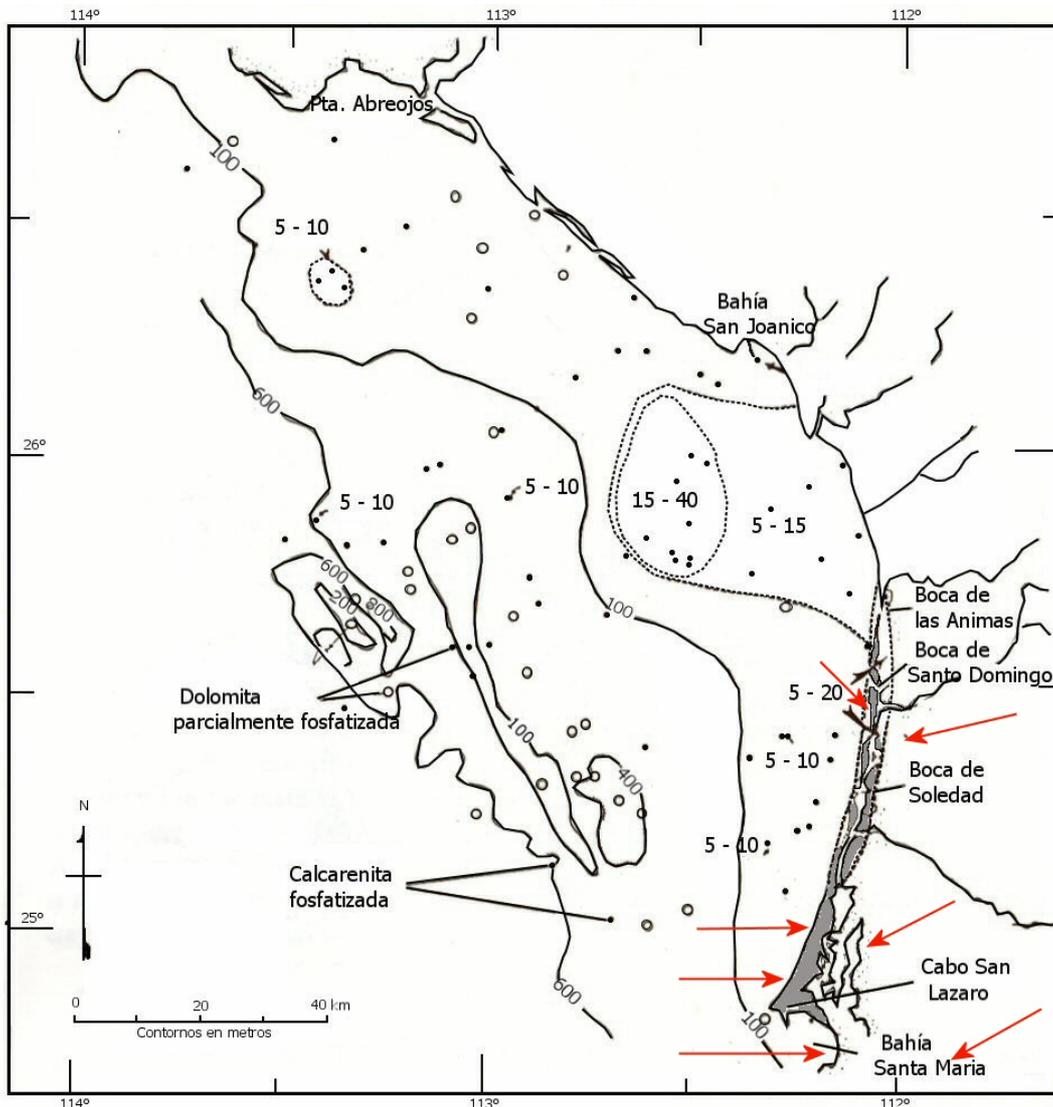


Fig. X. Distribución de plataforma continental. Los números representan el peso en porcentaje de fosforita de grano-fino en los sedimentos superficiales. Puntos negros: muestras conteniendo fosforita. Circulos abiertos: muestras sin fosforita (tomando y modificado de D'Anglejan, 1967).

A pesar que la fosforita es un recurso mineral que fue explotado por la empresa ROFOMEX por algunos años, no se tiene conocimiento de problemas por posible efecto de contaminación. Aunque esta actividad antropogénica es una fuente potencial de elementos, los valores obtenidos son comparables con los datos registrados para otras localidades con presencia de fosforita, tal es el caso de Namibia en África (Watkins *et al.*, 1995). Sin embargo, fue posible observar diferencias en la concentración de elementos en sedimentos de la Laguna de La Paz, Bahía de La Paz y en el complejo Lagunar. Bahía de La Paz fue la zona donde se encontró contenido alto de los componentes y elementos mayores, y de Sr, Zn y Br,

considerando los datos registrados en este estudio, los de Álvarez-Arellano (1995) y Rodríguez-Meza (1999). Aunque diferencias se encontraron entre las localidades, el contenido promedio de Cd, Co, Cr y Cu, fueron menores a los datos señalados por Piper (1991) para los depósitos sedimentarios fosfatados de la porción sur de la península. Tomando en cuenta estos datos, es posible señalar que la presencia de y el aporte de este mineral al ambiente marino es una fuente potencial para la entrada de diversos elementos.

El efecto de la explotación de los recursos minerales es evidente en Santa Rosalía, debido que altas concentraciones se han detectado en sedimentos de playa, sedimentos marinos, material de arroyos y en desechos sólidos como resultado de la actividad minera y a la presencia en la zona de diferentes depósitos minerales ricos en Cu, Co y Pb (Shumilin *et al.*, 2000). Comparando los resultados en sedimentos, se observó que en la zona de playa fue donde se encontró los niveles mayores de los elementos, tales como Sr, Ba, Co, Ni, Zn, As, Sb, U, Cd, Cu y Pb debido a la presencia de las arenas negras que son desechos de la minería (Rodríguez-Figueroa, 2004). Tomando en cuenta los datos reportados para esta localidad y los obtenidos en este estudio para el complejo Magdalena-Almejas y para Bahía Concepción, el área de Santa Rosalía destacó por el incremento que osciló de 1 a 2779 y de 2 a 556, con respecto a cada localidad y fue notoria la presencia de Co, Zn, Cu, Pb, U y Sb. Las diferencias en el intervalo permite considerar a los sedimentos del complejo como los de menor contenido, como se ha señalado anteriormente, además que los resultados en Bahía Concepción y en el complejo lagunar, permiten considerarlos como zonas escasamente impactadas cuyas características son determinadas por el aporte continental y la hidrodinámica en el cuerpo de agua.

El incremento en las concentraciones de los ETRL y ETRP en los sedimentos del complejo Magdalena-Almejas se asocia a la presencia de rocas fosfatadas o fosforita que es una característica que fue señalada por Álvarez-Arellano (1995). Estos minerales parecen encontrarse en regiones de intensas surgencias costeras y con condiciones de oxígeno bajas, como es fuera de Perú donde probablemente se forman en sedimentos anóxicos y ricos en material orgánico (Pilson, 1998). Esta es otra de las particularidades que distingue al complejo lagunar debido que la zona oceánica adyacentes al sistema Magdalena-Almejas es una zona típica de surgencias (Zaytsev *et al.*, 2003). La presencia de Cd en los

sedimentos del Canal la Bocana puede considerarse como indicador de estos eventos, debido que hay Libes (1992) señala que hay buena correlación entre Cd y fósforo probablemente porque se encuentran en el mismo tipo de materia orgánica particulada y que similares procesos actúan para la redisolución de ellos. Por otro lado, el aporte continental al ambiente marino tiene influencia en las distribuciones espaciales de los elementos dada la presencia de fosforita en la Formación san Gregorio que aflora en San Juan de la Costa. La presencia de este material en el complejo lagunar se asocia a la descarga de los arroyos intermitentes La Bocana y La Presa, considerando que los sedimentos frente a la descarga del arroyo La Presa y en el material terrígeno de la Isla Creciente se encontraron concentraciones altas de elementos, como ocurrió en la zona de canales, con excepción de los sedimentos cercanos a las islas Magdalena y Margarita debido a la presencia de carbonatos que actúan como diluyentes de la concentración, así como también se cuarzo y a los precipitados autógenos (Fleet, 1984; Windom *et al.*, 1989; Román *et al.*, 1995). En el caso de Bahía Concepción la distribución de los lantánidos en los sedimentos fue amplia destacando aquellos localizados frente a Mulegé, Punta San Ignacio y Playa de la Armenta; mientras las zonas con bajo contenido coincidieron con la presencia de abundantes fragmentos calcáreos (Santispac, El Remate, Santa Bárbara, y en la boca), como fue señalado para el complejo lagunar.

9. 1. 4. Comparación con otras localidades

En la Tabla 40 se indican algunos datos de concentración de elementos determinados en ambientes marinos adyacentes a la Península de Baja California, tomando en cuenta que algunos de estos son ambientes con baja actividad humana (Bahía Loreto, Laguna de Guerrero Negro, Laguna Ojo de Liebre, Bahía Concepción), moderada (complejo lagunar Magdalena-Almejas, Laguna de La Paz y Bahía de La Paz) y alta (Santa Rosalía). La comparación de los resultados muestra diferencias que son atribuibles a las características geológicas, biológicas, hidrodinámicas, químicas, así como a la actividad antropogénica (principalmente en Santa Rosalía).

Estudios geoquímicos previos en sedimentos realizados por Álvarez-Arellano (1995) para el complejo lagunar Magdalena-Almejas y por Shumilin *et al.* (1996) para Bahía Concepción permiten

observar diferencias en los niveles de concentración de los elementos con los datos de este estudio. En el complejo lagunar, los datos obtenidos de Cr y Ni fueron mayores a lo registrado en el estudio anterior y similares con Co y Cd, mientras las diferencias más notorias fueron con respecto a Fe, Zn y Cu. Lo anterior, quizás es resultado de la variación espacial y temporal en que se colectaron las muestras, los cambios naturales en el fondo marino derivado del material acarreado de los arroyos (La Presa y Las Bramonas), cambios climáticos (El Niño y La Niña) y las condiciones hidrodinámicas, variables que afectan el transporte litoral. Para Bahía Concepción los datos de K, Sc y U fueron semejantes en ambos estudios; y las diferencias se observaron con respecto a los datos de Fe, Cr, Ni y Se debido al incremento en el valor que registraron Shumilin *et al.* (1996), probablemente los cambios en las concentraciones son efecto de algunos de los procesos señalados para el complejo lagunar, considerando que en ambos ambientes los elementos que presentaron mayores variaciones se asocian al elemento representante del material continental (Fe).

Tomando en cuenta las otras referencias, se observó que los datos para los sedimentos de ambos cuerpos de agua fueron comparables a lo registrado en la Laguna de Ojo de Liebre, Laguna de Guerrero Negro, Laguna de La Paz, Bahía Loreto y Bahía de La Paz, debido que son localidades cuya fuente principal de material y de elementos es la descarga de partículas terrígenas desde la cuenca de drenaje, que ocurre principalmente durante la presencia de fenómenos meteorológicos. Aunque algunas diferencias fueron observadas, probablemente son resultado de: (i) las características geológicas de cada cuenca que determinan el tipo de sedimento y su composición, (ii) la batimetría que influye en la entrada y salida del material, la velocidad de las corrientes y las mareas y en la depositación de las partículas; (iii) la hidrodinámica que determinará los cambios en el nivel de marea, resuspensión del sedimento, transporte de las partículas en suspensión, entre otros.

Por otro lado, los contenidos de los elementos se compararon con los registrados en los sedimentos de ambientes libres de actividad humana y que reflejan las características propias de la zona, y con ambientes altamente impactados como resultado de la descarga de aguas residuales domésticas, industriales y de la actividad minera (Tabla 40). Esta igualación se realizó debido que límites permisibles universales de los elementos no se tienen por las diferencias entre los ambientes costeros con fondos

constituidos por material de diferente origen (Choumilin *et al.*, 2000). Los datos obtenidos en sedimentos del complejo Magdalena-Almejas y en Bahía Concepción fueron semejantes (Co, Co) y en algunos casos se encontraron por debajo (Zn, Pb) de las zonas que carecen de influencia antropogénica, como sucedió con los sedimentos del sur de California (Katz y Kaplan, 1981), en los sedimentos de Grecia (Nicolaidou y Nott, 1998) y en las costas de la India (Subramanian y Mohanachandran, 1990) y los reportados por la agencia de Conservación Ambiental de N. Y. (Royal Marina Applications, 1998). Sin embargo, fue posible observar que algunos de los resultados fueron semejantes a lo registrado en ambientes con impacto antropogénico (Cd, Cu), tal fue el caso de los sedimentos de Thermaikos (Haritonidis y Malea, 1999) y adyacente al área de una fundidora de Ni (Nicolaidou y Nott, 1998) ambos localizados en Grecia, probablemente por la reducida contaminación a pesar del aporte de desechos. Sin embargo, al considerar las zonas altamente impactadas señaladas en la Tabla 40, se pudo observar que los contenidos de los elementos en este estudio fueron mucho menores dada la escasa influencia antropogénica en estas localidades y el incremento observado en algunos elementos, es resultado de la presencia de depósitos minerales característicos de la región (fosforita, magnetita, magnesita, entre otros).

Tomando como referencia las características geológicas de la región y la cuenca de drenaje del complejo lagunar, es probable que las rocas fosfatadas de la Formación San Gregorio influyen las características de este ambiente. Sin embargo, para corroborar esto se obtuvo valores de correlación entre los datos reportados por Piper (1991) para los depósitos fosfatados de la porción sur de la península (arroyo de San Gregorio, San Hilario y de San Juan de La Costa), con los datos obtenidos de las áreas sujetas a estudio. Los coeficientes oscilaron de 0.4 a 0.8, lo cual indica que hay semejanza entre las concentraciones de los lantánidos, además se encontró correlación significativa entre los valores normalizados en los sedimentos con los datos de una muestra del arroyo San Gregorio (coeficiente de 0.7 producto-momento de Pearson), lo que confirma que la fosforita de la Formación San Gregorio llega al complejo lagunar (Fig. 103). Con base en estos resultados, la existencia de fosforita en la región sur es uno de los principales factores que distingue al complejo Magdalena-Almejas de Bahía Concepción, y que puede contribuir a la diferencia en el contenido de los lantánidos, y de otros elementos como se señaló anteriormente. Hay que añadir los eventos de surgencia de aguas ricas en nutrientes en el Océano

Pacífico, que de acuerdo a los trabajos de Goldberg (1963) y Pilson (1998), son un factor determinante para la formación de estas rocas debido que los nutrientes contribuyen a la alta productividad, en la depositación de partículas orgánicas en el fondo, la descomposición en un ambiente reductor y en la presencia de fosfatos.

Tabla 39. Concentración promedio de los componentes mayores (%), elementos mayores (%) y traza (mg/kg) en los sedimentos de diferentes ambiente marinos a lo largo de la Península de Baja California

Elemento	Complejo Magdalena-Almejas*	Bahía Concepción*	Complejo Magdalena-Almejas ¹	Laguna de La Paz ²	Bahía de La Paz ³	Laguna Ojo de Liebre ⁴	Laguna de Guerrero Negro ⁴	Área de Loreto ⁵	Bahía Concepción ⁶	S. Rosalía sedimento marino ⁷	S. Rosalía sedimento Playa ⁷
Carbonatos (%)	10	44	-	-	26.8	-	-	-	-	-	-
C. orgánico (%)	0.3	2.0	-	-	0.83	-	-	-	-	-	-
K (%)	1.3	1.0	-	-	-	-	-	-	0.72	2.7	-
Fe (%)	0.3	0.7	1.1	2	1.8	1.2	1.2	2.4	4.0	3.5	4.8
Ca (%)	4.0	10	-	5	14.6	-	-	-	12.9	9.9	6.6
Sr	523	1470	-	615	1552	-	-	-	1220	1163	2386
Ba	488	301	-	382	505	464	482	270	330	911	2388
Sc	8.0	10.0	-	6	7.9	-	-	-	10.7	11.3	10.9
Cr	74	65	20.0	22	40.2	23	21.7	32	93	58.6	63.4
Co	5	17	5.6	5	5.3	3.1	3.44	8.2	9.4	112	578
Ni	14	30	7.8	48	-	6.7	4.5	50	106	136	182
Zn	7	39	16.6	45	36.8	22.3	21.4	50	-	521	1652
Se	2	3	-	1	1	2.3	2.5	2.5	4.6	1.0	3.0
As	11	9	-	10	11	4.4	2.7	5.9	-	7.0	24.2
Sb	1	0.4	-	1	0.9	0.71	0.6	1.44	-	0.7	4.7
U	4	2	-	3	4.8	1.8	2.9	4.2	1.42	11.5	70.5
Br	2	20	-	2	10	-	-	-	-	0.5	0.1
Cd	2	4	1.3	3.3	-	0.12	0.2	-	-	0.5	13
Cu	4	20	6.0	10	-	3.5	2.5	131	-	489	11114
Pb	4	31	-	50	-	-	-	-	-	60	1066

*Presente estudio, ¹Álvarez-Arellano (1995), ²Rodríguez-Meza (1999), ³Rodríguez-Castañeda (2001), ⁴Choumilin *et al.* (2000), ⁶Rodríguez-Figueroa *et al.* (1980), ⁶Shumilin *et al.* (1996), ⁷Rodríguez-Figueroa (2004)

Tabla 40. Concentración promedio de elementos mayores (%) y traza (mg/kg) en los sedimentos de ambientes con y sin impacto antropogénico en diferentes partes del mundo.

Localidad	Característica	Cr	Cd	Co	Cu	Fe	Ni	Zn	Pb
Sur de California ¹	Impactado	1317	60.8	-	782	-	107	2096	537
Sedimento marino ²	Impactado	-	-	-	2 - 700	-	-	5 - 100000	10 - 200
Río Kishon, Mediterraneo ³	Impactado	-	1.4	-	33.8	14784	-	116.1	36.9
Fundidora de Ni, Grecia ⁴	Impactado	678	0.1	50	13.2	39.2	889.4	152.5	-
Thermaikos, Grecia ⁶	Impactado	-	0.4	-	2.7	0.005	-	27	52.9
Santa Rosalía ⁸	Impactado	58.6	0.5	112	489	3.5	136.5	521	60
Sur de California ¹	No impactado	25.5	0.43	-	9.02	-	15.4	44.4	105
Sedimento marino, Grecia ⁴	No impactado	105	0.1	6.7	17	13	60.5	44	-
Conservación Ambiental de NY ^{5*}	No impactado	26	0.8	-	19	-	22	85	27
Costas de India ⁷	No impactado	138	2700µg/kg	-	17	1.09	-	62	53
Bahía Concepción*	-	74	2	5	4	0.3	14	7	4
Complejo Magdalena-Almejas*	-	65	4	17	20	0.7	30	39	31

* Este estudio, ¹Katz y Kaplan (1981), ²Leland y Kuwabara (1985), ³Herut *et al.* (1993), ⁴Nicolaidou y Nott (1998), ⁵Royal Marina Applications (1998), ⁶Haritonidis y Malea (1999), ⁷Subramanian y Mohanachandran (1990), ⁸Shumilin *et al.* (2000)

La Tabla 42 muestra las concentraciones promedio de lantánidos obtenidas en este estudio, en áreas adyacentes a la península y en otras regiones del mundo. Las localidades adyacentes a la península en su mayoría están influenciadas por el aporte terrígeno de las fosforitas, con excepción de Bahía Concepción y Santa Rosalía cuyas cuencas de drenaje están constituidas por rocas volcánicas, volcanoclásticas (Formación Comondú) y vulcanosedimentarias marinas con mineralización de Cu, Co, Mn y yeso, respectivamente (Consejo de recursos minerales, 1999).

En los sedimentos de San Juan de la Costa fue donde se encontraron las mayores concentraciones de La, Ce, Pr, Sm, Gd, Er, Yb y Lu, y se asocian a las arenas fosfáticas que constituyen la Formación San Gregorio que aflora en esa zona (Piper, 1991). Con menor concentración se encontró a los sedimentos de Bahía de La Paz (Rodríguez-Castañeda, 2001) y el complejo Magdalena-Almejas (este estudio), ambos cuerpos de agua con semejantes resultados en Pr, Gd, Tb, Dy, Er, Yb y Lu; además de la Laguna de La Paz (Rodríguez-Meza, 1999), cuyos valores fueron menores considerando los datos registrados en San Juan y la bahía probablemente porque son localidades donde reciben la mayor influencia de la fosforita, derivada de procesos naturales y de la extracción por actividad minera, mientras el contenido de lantánidos en la laguna fue similar al complejo lagunar, así como en la Bahía Vizcaíno (Daeeslé, 1993). La disminución en el contenido quizás en estos tres ambientes, quizás es producto de la escasa influencia que reciben de las rocas fosfatadas, y únicamente reflejan los remanentes que llegan por contribución marina, eólica y por la disolución del material acumulado. Semejanzas entre las localidades se observó con Eu, cuyo valor promedio (1 mg/kg) fue el mismo en Bahía Concepción, complejo Magdalena-Almejas, Laguna de La Paz, Bahía de La Paz y San Juan de la Costa; con respecto a Tm y Ho los valores fueron muy semejantes entre las localidades, a excepción de Bahía Concepción al considerar Ho (Tabla 39). Posiblemente la semejanza en la concentración de los elementos entre las localidades es resultado de su amplia distribución de los elementos en diversos minerales de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (clinopiroxenos, feldespatos, pigeonita, mica y ortopiroxeno) (Goldberg *et al.*, 1963), la estabilidad ante variaciones en las condiciones ambientales (con excepción de Eu y Ce).

Las estimaciones obtenidas en las dos localidades de este estudio se encontraron por debajo de lo reportado por McArthur y Walsh (1984), Klaver y Van Weering (1993) y Watkins *et al.* (1995), cuyos datos reflejan la influencia natural de fosforita en los sedimentos de estos ambientes. Sobretudo el incremento en el contenido de estos elementos es debido a la alta concentración de materia orgánica, y las variaciones en las relaciones de ETRL y ETRP se asocia a cambios de pH y concentración de oxígeno en los sedimentos, además de encontrarse un mayor contenido en las partículas finas (arcillas) que en las gruesas. Estos resultados demuestran la importancia de este tipo de rocas en las características geoquímicas del ambiente y sobre todo de los sedimentos en que llega a depositarse este material.

Un caso especial fueron los datos reportados en Santa Rosalía, cuyo ambiente ha sido caracterizado como fuertemente impactado por la depositación de los desechos mineros en la zona de arroyos y en la línea de costa. La concentración de lantánidos fue estimada para los sedimentos marinos y de playa, destacando los contenidos en este último dada la acumulación de los desechos principalmente en esta zona, el incremento fue tanto de las tierras raras ligeras y las tierras raras pesadas con excepción de Tb, Tm y Lu (Rodríguez-Figueroa, 2004), y que fueron cercanos a los registrados en este estudio. El incremento del contenido en estos elementos con relación a Bahía Concepción y el complejo lagunar osciló de 3 a 10 y 2 a 7, respectivamente, y fue más notorio con ETRL.

Los datos en los sedimentos de playa de Santa Rosalía fueron semejantes a los señalados por McArthur y Walsh (1984) para la Formación Monterrey, de tal manera que los resultados muestran que los lantánidos también pueden ser indicadores del impacto antropogénico como sucede en Santa Rosalía. De manera contraria, la concentración de las tierras raras en los sedimentos marinos de Santa Rosalía fue semejante a los datos de Klaver y Van Weering (1993) y Piper (1991) que obtuvieron para ambientes con condiciones naturales, sedimentos de Skagerrak (Mar Norte) y San Juan de la Costa (B.C.S.), respectivamente.

Tabla 42. Concentración promedio de lantánidos en los sedimentos de Bahía concepción, complejo Magdalena-Almejas y otras localidades de referencia

Elemento	Bahía Concepción*	Complejo Magdalena- Almejas*	Bahía Vizcaíno ¹	San Juan de la Costa ²	Laguna de La Paz ³	Bahía de La Paz ⁴	Formación Monterrey ⁶	Sedimento Skagerrak ⁸	Roca fosfatada de Namibia ⁹	Sta. Rosalía sedimento de playa ⁵	Sta. Rosalía sedimento marino ⁵
La	10.0	16.0	11.5	38.0	15.0	21.9	110	39.5	67.3	104	30
Ce	19.0	31.0	14.5	46.0	26.0	39.6	89	74.4	153	169	53
Pr	2.0	4.0	-	6.0	3.0	4.2	15	-	18	17	5
Nd	8.0	14.0	7.0	-	10.0	15.3	66	-	74	57	20
Sm	2.0	4.0	2.0	5.0	3.0	0.08	14	6.88	17	13	5
Eu	1.0	1.0	0.5	1.4	1.0	1.0	2.9	1.4	3.9	3	2
Gd	3.0	5.0	2.0	6.5	3.0	4.6	15	-	18.5	14	6
Tb	0.4	1.0	-	-	0.4	0.7	-	0.99	2.6	2	0.8
Dy	2.0	4.0	1.6	-	3.0	4.0	15	-	15.2	10	3
Ho	0.4	1.0	0.25	1.0	0.6	0.9	3.5	-	-	2	1
Er	1.0	2.0	1.0	3.0	1.6	2.3	9.3	-	7.2	6	3
Tm	0.2	0.3	-	-	0.2	0.4	-	-	-	0.7	0.4
Yb	1.0	2.0	0.8	2.6	1.0	2.0	7.1	2.4	4.9	4	2
Lu	0.1	0.3	0.2	0.4	0.2	0.3	1.1	0.4	-	0.6	0.3

*Presente estudio, ¹Daesslé (1993), ²Piper (1991), ³Rodríguez-Meza (1999), ⁴Rodríguez-Castañeda (2001), ⁵Rodríguez-Figueroa (2004), ⁶McArthur y Walsh (1984), ⁷Glasby *et al.* (1987), ⁸Klaver y Van Weering (1993), ⁹Watkins *et al.* (1995)

9. 2. Caracterización geoquímica de los macroalgas

9. 2. 1. Concentración de los elementos traza

La caracterización del contenido de elementos traza en diferentes especies de algas es un aspecto relevante y actual, debido que estos se emplean como indicadores valiables para la investigación de los elementos traza en áreas costeras por su alta capacidad de acumulación (concentran iones inorgánicos por varios ordenes de magnitud mayores a los que se encuentran en solución y no limitan su incorporación en el tejido), tolerancia a altos niveles de metales que permiten monitorear posibles fuentes de contaminantes en el ambiente (Cullinane *et al.*, 1987; Riget *et al.*, 1997; Haritonidis y Malea, 1999).

Las especies encontradas en las tres áreas y que permitió la comparación de la concentración promedio de los elementos, fueron: *Laurencia pacifica*, *L. johnstonii*, *C. sinuosa*, *C. tuberculata*, *D. dichotoma*, *Padina durvillaei*, *Sargassum sinicola* y *Ulva lactuca*. Sin embargo, el contenido de Cu, Cd, Pb y Mn, solo se obtuvo para la especie de Santa Rosalía por lo que, su comparación se limitó al resto de los elementos.

9. 2. 1. 1. *Laurencia johnstonii* y *L. pacifica*

La concentración alta de elementos mayores se registró en las especies recolectadas de Bahía Concepción, zona cuyos sedimentos superficiales se caracterizaron la abundancia de estos elementos (Tabla 9) con respecto al complejo Magdalena-Almejas. Los valores registrados oscilaron para Ca de 4.6% a 6.5% con un promedio de 5.6% y para Fe de 0.8% a 3.4% con 2% de promedio. Sin embargo, en los elementos traza se encontró mayor variación entre las zonas, debido que Santa Rosalía fue la zona en donde *L. pacifica* obtuvo valores altos de Ba, Co, Zn, Se, As, U, Br, Hf y Zr. Algunos de estos, como se pudo apreciar son elementos asociados a la actividad minera del Cu, debido que el estudio precio y realizado por Shumilin *et al.* (2000) reporta valores altos de Co y Zn, que oscilaron en los sedimentos de 680 mg/kg a 6870 mg/kg y 3141 mg/kg a 26970 mg/kg, respectivamente. Mientras, en esta especie los valores fueron 5 mg/kg a 112 mg/kg de Co y 30 mg/kg a 770 mg/kg para Zn. La presencia de estos dos elementos con mayor contenido en el tejido de *L. pacifica* de Santa Rosalía, con respecto a los ejemplares recolectados en Bahía Concepción y el complejo Magdalena-Almejas, se asocia a algunos de los aspectos

que Haritonidis y Malea (1999). Debido, que la abundancia de los metales en el alga puede reflejar (i) la proporción en que se encuentran en los sedimentos, (ii) la disponibilidad de estos en el área y (iii) la capacidad del alga para tomarlos (permeabilidad de la membrana), además de (iv) los requerimientos metabólicos. Los primeros dos puntos se relacionan con la duración de la exposición a los metales (Brian-Genter, 1996), aspecto relevante en Santa Rosalía si se toma en cuenta que la actividad minera comenzó aproximadamente en 1872 (Consejo de Recursos Minerales, 1999) lo que ha motivado que el ambiente marino, incluyendo la biota, ha estado expuesta por mas de 100 años a los desechos mineros que contienen altas concentraciones de Cu, Co, Zn, Pb y otros elementos (Shumilin *et al.* 2000, Rodríguez-Figueroa, 2004)

El tercer aspecto se asocia a las características morfológicas de la especie, que se caracteriza por un tamaño pequeño (aproximadamente de 6 a 16 cm de alto) (Abbott y Hollenberg, 1976) con fuerte ramificación. Característica que es importante para las algas de Santa Rosalía, dada la relación con el sedimento y la materia suspendida. El periodo de lluvias es considerado como el mayor contribuidor de metales y de material en suspensión al ambiente marino, además de ser la vía más importante para el transporte y distribución de los metales (Haritonidis y Malea, 1999). Aspecto que podría ser poco relevante en la región de la península por las condiciones desérticas que prevalecen, sin embargo, anualmente son vertidos grandes cantidades de material cuando se presentan eventos meteorológicos caracterizados con alta precipitación pluvial.

La presencia de materia en suspensión de diversas partículas (orgánicas e inorgánicas) que se adhieran a los folios y propiamente a todo el talo, dada la cercanía con el sedimento de fondo.

La comparación de la concentración en las algas de las tres áreas de estudio se realizó a partir de diferenciarlas por la morfología del talo. Este aspecto fue descrito por Littler (1980), Littler y Arnold (1982), Littler *et al.* (1983) y Littler y Littler (1984), quienes categorizan y asocian a las algas con varios sucesos de su ciclo de vida, debido que sus características (morfología y adaptaciones) juegan un papel crítico en la supervivencia y reproducción de los individuos (Koehl y Wainwright, 1977; citado en Littler y Littler, 1984). Además de estar relacionados con procesos metabólicos y ecológicos (Littler *et al.*, 1983), y a su vez, afectan la asimilación de los metales (Stengel *et al.*, 2004).

Es por ello que las especies se ordenaron como:

- Formas como hojas delgadas incluyo a *D. dichotoma*, *D. divaricata*, *Enteromorpha intestinalis*, *E. clathrata*, *U. lactuca*, *U. expansa* y *R. californica*. Este grupo se caracterizado por una morfología externa en forma de hoja (foliosa), delgada; textura suave y en la anatomía interna por la presencia de una a varias células de grosor.
- Grupo filamentosos que considero a *Spyridia filamentosa*, cuya morfología externa es ramificación delicada (filamentosa), la anatomía interna oscila uniseriada, multiseriada, o ligeramente corticada y con textura suave.
- Grupo ramificado fuertemente, caracterizado por *L. johnstonii*, *L. pacífica*, *P. capillaceae* y *T. fragilis*, la morfología externa se diferenció por fuerte ramificación, erecta o erguida; la anatomía es corticada y textura como brazos carnosos o ásperos.
- Grupo con talo parecido a piel o cuero (grueso) se considero a *P. durvillaei* y *S. sinicola*; la morfología externa se describe como ramificada, hojas gruesas y espesas, la anatomía interna diferenciada, fuertemente corticada y la pared gruesa; la textura es tiesa o gruesa parecida a la piel,

Sin embargo, algunas de las especies no fue posible ordenarlas en algún grupo debido que las características morfológicas no correspondieron a ninguno de los grupos descritos, como fue el caso de *Colpomenia sinuosa*, *C. tuberculata*, *Codium cuneatum* y *C. longiramosum*. Para estos casos, solo se manejaron por su nombre científico.

Los datos permitieron identificar al alga filamentosos (*L. pacífica*) como la especie que obtuvo los intervalos de concentración mayores de Ba, Sc, Fe, Co, Ni, Zn, Sb, U y Br, con respecto a otras algas estudiadas. Estos resultados se asocian a algunas de las características morfológicas de *L. pacífica*, debido que es de tamaño pequeño (aproximadamente de 6 a 16 cm de alto) (Abbott y Hollenberg, 1976), con talo filamentosos que puede contribuir a que diversas partículas del sedimento y del material particulado en suspensión queden adheridos a la superficie de los folios y propiamente del talo, dada la cercanía con el sedimento del fondo. Relación de las concentraciones en esta especie con el aporte continental se debe a la presencia de Fe y Sc, los cuales fueron señalados como representantes del aporte terrígeno para esta área de estudio. Dichos resultados son semejantes a lo reportado por Villares *et al.* (2002) quienes

reportaron correlaciones significativas entre Al, Cr y Fe en *Enteromorpha* debido a la contaminación por material particulado. Estos autores consideran que el aporte fluvial es una fuente para los metales en solución. Aspecto que podría ser poco relevante en la región de la península por las condiciones desérticas que prevalecen, sin embargo es importante señalarlo en este estudio debido que grandes cantidades de material drenado anualmente son vertidos al interior de los ambientes marinos durante la presencia de eventos meteorológicos con alta precipitación pluvial.

Boudou y Ribeyre (1989) definen a la materia suspendida como una mezcla compleja de materiales poliligandos que actúan como una trampa para los elementos traza. Entre los materiales se encuentran organismos vivos, productos metabólicos y de descomposición, donde los elementos traza adsorbidos pueden formar quelatos o complejos con compuestos solubles de bajo peso molecular (Mills y Saiers, 1993), o bien, precipitar con compuestos inorgánicos productos de la descomposición de las rocas (feldespatos, arcillas y cuarzo), restos silíceos y calcáreos de organismos muertos y minerales autogénicos (Chester, 2003). Entre los elementos que pueden observarse en esta fracción son Hg, Cu, Pb, Zn y Cd (Hart, 1982), los cuales son fuertemente adsorbidos por los compuestos orgánicos que cubren una partícula y permite su dispersión. Es por ello, que la resuspensión del sedimento y la presencia de materia suspendida pueden contribuir de manera significativa en las concentraciones de las algas.

En el caso de *D. dichotoma* los elementos con intervalo alto del contenido fueron Ca y Se principalmente, además destaco la presencia de Cr, Ta y Hf. Para *C. tuberculata* fueron Rb y Zn. Ambas especies difieren con respecto a *L. pacifica* debido a la baja concentración que se obtuvo de los elementos, lo cual contrasta con los señalado por otros autores, debido que consideran a las especies con talo en forma de hoja, folios delgados y grandes con mayor capacidad de adsorción de elementos, en tal caso, los resultados registrados en *D. dichotoma* indican lo contrario en Bahía Concepción. Esto fue señalado por Stengel *et al.* (2004), quienes indican que las algas de hojas delgadas generalmente obtuvieron las concentraciones altas de Zn (> 115 mg/kg) pero en algunos ejemplares también llegaron a registrarse los datos menores (30 mg/kg Zn). De tal manera que para Bahía Concepción, la especie filamentosa (*L. pacifica*) fue la especie con la mayor capacidad de adsorción o, probablemente de capturar las partículas que las otras especies. De esta manera, la especie filamentosa (*L. pacifica*) y la

hoja delgada (*D. dichotoma*) fueron las especies que mayor capacidad de absorción de elementos tuvieron a diferencia de la especie de talo globoso (*C. tuberculata*) y ramificado (*S. sinicola*).

Los coeficientes de correlación entre las especies de algas y los sedimentos fueron principalmente significativos y pequeñas variaciones fueron observadas (Tabla X). Las especies que principalmente se observaron fueron de la División Phaeohyta, que tienen amplia distribución, y fueron las especies que mejor estuvieron correlacionadas.

concentraciones de elementos de las algas y las especies identificadas y los sedimeos datos de *L. pacifica* y las otras variables, probablemente resultado del incremento en la concentración de los elementos asociado a las características morfológicas. Básicamente estas diferencias se atribuyen al tamaño del alga, la forma de ramificación, el área expuesta al medio circundante y, probablemente por la composición química de la pared celular. En las Rhodophytas la pared celular contiene varios polímeros de galactana sulfatados como el agar, carragenina, funorano y furcellarina (Brawley y Wetherbee, 1981), mientras en las Phaeophytas es el ácido algínico. Es posible señalar a la composición de la pared celular y la morfología como los factores importantes, debido que Brian-Genter (1996) mencionan que las especies de algas difieren en importancia relativa de biosorción por las características de los lugares de unión en la pared celular y las matrices extracelulares. Sawadis y Voulgaropoulos (1986) reportan diferencias en la bioacumulación de Fe, Co y Cu, el cual fue mayor en *Ulva lactuca* (Chlorophyta) que en el alga roja, *Gracilaria verrucosa*, debido a las concentraciones altas de proteínas en la pared celular, mientras en la otra especie se encontró concentraciones altas de carbohidratos.

Los resultados de la correlación además de diferenciar a *L. pacifica* permite considerar a *P. durvillaei*, *C. tuberculata* y *S. sinicola* como especies indicadoras de las condiciones que prevalecen en este ambiente debido a la relación con los sedimentos. Sin embargo, Haritonidis y Malea (1999) y Villares *et al.* (2002) señalan que el contenido de elementos en algas también puede reflejar la influencia de otras variables no consideradas como los cambios en las características morfológicas de la especie, época del año, estado de desarrollo

de la especie, características individuales (edad, sexo), variación en crecimiento, factores ambientales, entre otros. Cambios que se vieron reflejados en los datos registrados para las especies de Santa Rosalía.

Por otro lado, se aplicó el análisis de cluster para la media de la concentración de los elementos. Este permitió diferenciar dos grupos (Fig. 103): (i) Fe, Sc, Co, Cs, Th y U, y (ii) Rb, Sr, Zn, As, Sb, Br, Ca, Ba, Cr. En el primer grupo fue posible identificar algunos elementos que en los sedimentos presentaron un similar patrón de distribución espacial, la relación entre ellos se asocia al aporte continental (fuente terrígena), la presencia de abundantes óxidos que caracterizan las zonas mineralizadas (óxidos de Fe y Mn) y a las trazas de Co - Ni (Consejo de Recursos Minerales, 1999). De acuerdo a lo anterior, las tres especies de algas reflejan las condiciones en que se encuentra este cuerpo de agua, y pueden reflejar los elementos que en dicho ambiente son disponibles desde el ambiente circundante.

Otro aspecto a destacar de Bahía Concepción es la presencia de ventilas hidrotermales localizadas frente a Santispac y cerca de Santa Bárbara. Para esta región los estudios enfocados a estos flujos son escasos, sin embargo es importante considerarlo en el aporte de elementos debido que observaciones realizadas por Greene y Forrest (2002) indican emanaciones de gases a través de los sedimentos del fondo y el transporte de material.

9. 2. 2. Complejo lagunar Magdalena-Almejas

La presencia de especies que se emplean como bioindicadoras (*Ulva lactuca* y *Codium cuneatum*) frente a Isla Magdalena, se relaciona con la actividad humana, dada la presencia de embarcaciones, desechos orgánicos (peces, valvas de moluscos) y asentamientos humanos. Sin embargo, la influencia de condiciones naturales también pueden ser importante debido a las altas concentraciones de nitritos, nitratos y fósforo que señala Rosales-Villa (2004), que contribuyen con el afloramiento *Ulva* que aprovecha los nutrientes ricos en nitrógeno (Fundación Patagonia Natural, 1999; García-Rodríguez, 2000; Ancarola *et al.*, 2001).

Con relación a la presencia de *Padina durvillaei* en la isla Magdalena y en la isla Margarita. *P. durvillaei*, la cual probablemente, tiene mayor dispersión en la localidad y soporta diferentes condiciones ambientales considerando que el punto 3 se localizó en una zona mas expuesta a las corrientes que provienen del Océano Pacífico mientras la otra está mas protegida, es menos dinámica y está sometida a los factores de desecación.

En el caso de *C. sinuosa* el orden de concentración de estos elementos fue un poco diferente, probablemente resultado de los requerimientos propios de la especie, la ubicación espacial y el mes en que se extrajeron los ejemplares.

Estas especies se encontraron sobretodo adyacentes a las islas Magdalena y Margarita, donde los sedimentos obtuvieron la mayor concentración de elementos debido a la presencia de rocas ricas en óxidos de Fe y Mn, los elementos absorbidos en este caso probablemente reflejan parte de los elementos que se encontraron biodisponibles en el ambiente. Aspecto que depende de la concentración en que se encuentran en los sedimentos y a la disponibilidad en el agua de mar, además de estar influenciado por factores geoquímicos, procesos biológicos y también por los requerimientos metabólicos del alga (Haritonidis y Malea, 1999). El empleo de ácido clorhídrico diluido es una forma para extraer la fracción biodisponible del sedimento, esto fue aplicado en la Bahía de Larymna en el Golfo de Evolkos (Grecia), donde se encontró que el elemento mas disponible fue Mn, y esto puede ocurrir bajo condiciones de reducción y que llega al fondo asociado a las hojas de mangle (*Zostera*). A su vez, los elementos biodisponibles son de aquellos elementos que su concentración es alta en el sedimento. Para el complejo Magdalena-Almejas, los elementos biodisponibles en los sedimentos adyacentes a las islas son Fe, Sc, Co, Zn y Cu.

Aun no esta claro porque *P. capillaceae* difiere con respecto a *S. filamentosa* y *L. johnstoni*, tomando en cuenta que son especies que presentan cierta semejanza morfológica en cuanto a la ramificación, los folios son pequeños, son algas rojas. Sin embargo, una probable causa es la diferencia en la capacidad de absorción por la forma de ramificación, para *P. capillaceae* esta es irregular y los folios son delgados pero escasa considerando a las anteriores especies, debido que tienen un mayor número de ramificaciones finas y delgadas lo que le da un aspecto "felpudo" y además le confiere mayor área de

retención de los elementos disueltos y del material particulado que se adhiere en las paredes. El tamaño del alga no parece ser un factor importante en la acumulación del alga, debido que en los tres casos la longitud que llegan a alcanzar es baja, pero esto mismo puede ayudar a que estas mismas especies estén en mayor contacto con los sedimentos de fondo, que es en donde se concentran la mayor cantidad de elementos.

En algunos casos fue posible observar semejanzas entre las especies por el intervalo de concentración de Ca, Zn, As, Sb, U y Zr. Esto se asoció a varios factores (i) la semejanza en la capacidad de absorción considerando las características morfológicas como la forma del talo, tipo de ramificación, tamaño del alga y de los folios, entre otros (ii) selectividad en la absorción de elementos por las especies filamentosas, que permite observar semejanzas con las especies de menor contenido como fueron *P. capillaceae* y *R. californica*; y (iii) tiene alta biodisponibilidad en el ambiente y son fácilmente adsorbidos por las algas.

Con respecto a las Phaeophytas, la mayor presencia de elementos con un intervalo de concentración alta (Ba, Sc, Co, Se, Sb y Hf) se observó en *C. sinuosa*. La absorción por esta especie se relaciona a la retención en su interior de las partículas orgánicas e inorgánica del agua circundante, debido que la superficie del alga es hueca y globosa, y facilita que el material llegue al interior y se adhiera a la superficie. Hay que añadir que esta en contacto directo con el material de fondo, lo que representa otro factor importante tomando en cuenta que el material en suspensión es fácilmente transportado y atrapado en las especies filamentosas y que tienen mayor área de exposición, aunque en este caso, el que sea hueca y porosas le confiere características importantes que permiten la absorción de los elementos. Los bajos contenidos observados en *C. tuberculata* se asocian a los cambios estacionales y en la dinámica de crecimiento, considerando que esta se recolecto en verano y *C. sinuosa* en primavera. La variación temporal en la concentración de elementos ha sido reportada por Haritonidis y Malea (1999) en *Ulva lactuca* debido que los valores promedio incrementaron de primavera a otoño, ocurriendo los máximos en octubre o junio para Cu.

Por otro lado, considerando la presencia de *P. durvillaei* en dos períodos permite observar la variabilidad en la concentración de los elementos debido que solo se encontró semejanza entre los

intervalos de concentración de Sr, Th y U pero para el resto de los elementos los contenidos fueron altos sobretodo en el mes de marzo. Villares *et al.* (2002) considera que estos resultados pueden asociarse a diferentes razones, entre ellos: factores ambientales, como son las variaciones en concentraciones del elemento en solución, interacciones entre diferentes elementos, efecto de salinidad y pH, etc.; factores metabólicos, como son dilución del contenido del elemento debido al crecimiento, o por la interrelación de los factores.

En las Chlorophytas solo se encontraron dos ejemplares, *Ulva lactuca* y *U. expansa* en diferente época del año pero se llegaron a observar en las zonas donde es frecuente la actividad humana (estación 4 y 5) (Tabla 48). Estas especies se emplean como indicadoras debido a que tienen un tamaño razonable, son sedentarias, fácilmente manejables y se encuentran ampliamente distribuidas (Haritonidis y Malea, 1999). Sin embargo, otra característica es la que hacer destacarla de otras especies y es que presentan altas concentraciones de proteínas que contribuye a una gran demanda por sales nutricionales ricas en nitrógeno, por lo que es frecuente observarlas en localidades donde aguas residuales e industriales son descargadas al mar (Sawadis y Voulgaropoulos, 1986), además que son zonas frecuentemente contaminadas por metales. El Puerto Madryn (Fundación patagonia Natural, 1999) y las costas de Patagonia (Ancarola *et al.*, 2001) son un claro ejemplo, debido a la presencia de *U. lactuca* en ambas localidades que presentan descarga de efluentes industriales y urbanos que contribuyen en la eutroficación por la demanda bioquímica de oxígeno y el alto contenido de nutrientes.

A pesar que en el complejo lagunar no se ha detectado contaminación orgánica, si se pudo observar que esta especie se presentó sobretodo en las zonas con actividad antropogénica, como fue el caso del Pueblo de Magdalena y adyacente a Puerto San Carlos. Sin embargo, el crecimiento de Ulva cerca de Punta Cove en la Isla Magdalena, se asocia a los eventos de surgencia de aguas ricas en nutrientes del Océano Pacífico que señalan Reid *et al.* (1958 señalado por D'Anglejan, 1967), Álvarez-Borrego *et al.* (1975), que quizás llegan al interior del complejo a través del Canal la Bocana e influencia sobretodo la zona adyacente a las islas, que fue en donde se encontró la mayor presencia de las macroalgas. Rosales-Villa (2004) encontró altas concentraciones de nitrato y nitritos en el agua superficial durante mayo ($\sim 10 \mu\text{M}$, $\sim 0.63 \mu\text{M}$) y noviembre ($\sim 2 \mu\text{M}$, $\sim 0.1 \mu\text{M}$), y de fosfatos solo ocurrió en

mayo ($\sim 1.57 \text{ } \square\text{M}$). El crecimiento de esta especie se asocia a que es una especie, señalada por García-Rodríguez (2000), como altamente eficiente en la absorción de fosfatos (73%), nitratos + nitritos (79%), amonio (62%) y aminoácidos disueltos (75%) que son derivados de efluentes procedentes del cultivo de *Sparus aurata*. Esta característica de la especie es resultado de su contenido alto de proteínas que le permiten mayor demanda por sales nutricionales ricas en nitrógeno, por lo que prefiere lugares con grandes cantidades de nutrimentos (Sawadis y Voulgaropoulos, 1986). Las concentraciones altas de los nutrientes sobretodo en esta parte del complejo se asocian a un giro anticiclónico que permite la resuspensión del sedimento del fondo (Sánchez-Montante, en preparación), lo cual facilita la incorporación de material orgánico a la columna de agua y su reincorporación en la productividad biológica.

En *Ulva lactuca* frente al poblado de la Isla Magdalena encontraron los intervalos de concentración altos de Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, Th, U y Hf considerando las otras estaciones. La presencia de Fe y Sc en el alga indican la influencia del aporte terrígeno también en el biota, además de considerar que los máximos de esos elementos se encontraron en los sedimentos adyacentes a las islas Margarita y Magdalena. De tal manera, que las algas de esta zona pueden reflejar la presencia o no de nutrientes que requieren las especies para su crecimiento y desarrollo, los cambios climáticos y los elementos que probablemente son liberados de los sedimentos o que son aportados desde la parte continental, en este caso de las rocas metamórficas que caracterizan las islas donde los óxidos de Fe son abundantes y otros elementos asociados a este.

En el complejo lagunar la matriz de correlación entre los elementos de las especies *C. tuberculata*, *S. sinicola*, *P. durvillaei*, *P. capillaceae*, *U. lactuca*, *L. johnstonii* y el contenido en los sedimentos se presentan en la Tabla 49. Los resultados muestran diferencias con respecto a lo observado en Bahía Concepción. Las correlaciones significativas ($r > 0.9$) ocurrieron entre *P. durvillaei*, *C. tuberculata*, *U. lactuca*, *S. sinicola* y *P. capillaceae*. A diferencia de las otras localidades *P. capillaceae* ($r > 0.95$) y *L. johnstonii* ($r \geq 0.6$) obtuvieron correlación positiva con las otras especies y con lo encontrado en sedimentos.

La relación de los sedimentos con las algas fue positiva en todos los casos (Tabla 38), y el valor menor se encontró con *L. johnstonii*. La correlación más alta ocurrió entre los sedimentos y *U. lactuca* ($r = 0.86$), y quizás indica que esta especie tiene alta capacidad de acumulación y puede ser un buen bioindicador, debido que esta alga ha sido considerada como un productor eficiente en la utilización de nutrientes vertidos al ambiente de las aguas residuales (Fundación Patagonia Natural, 1999; Ancarola *et al.*, 2001). Sawadis y Voulgaropoulos (1986) señalan algunas características que pueden explicar la presencia de esta especie cerca de zonas con influencia antropogénica, como ocurrió en la estación 4 (Pueblo de Magdalena) en el complejo lagunar. La primera y la más importante es que contienen altas concentraciones de proteína, como se explicó anteriormente; otro aspecto es que la exposición continua a aguas contaminadas han contribuido que esta especie desarrolle mecanismos protectivos para la inactivación de los metales pesados dentro de la célula y así poder explotar otro biotopo con exceso de sales y metales. Por otra parte, Haritonidis y Malea (1999) han encontrado en *U. rigida* que las concentraciones de Pb y Cu se correlacionaron con las concentraciones totales en los sedimentos (0.69 para Pb y 0.55 para Cu), y ninguno de los elementos fue dependiente de lo disuelto en el agua de mar.

Hasta este momento, los resultados mostraron que las Phaeophytas son las especies que mejor reflejan las condiciones de los ambientes sujetos a estudio, y que se correlacionan bien con los resultados encontrados en los sedimentos. La característica que mas relevancia tiene en este grupo de algas es la presencia de los polisacáridos (fucoïdan, ácido algínico) en la pared celular, aspecto que ha sido señalado por Karez *et al.* (1994) y Muse *et al.* (1995) e indican que influyeron en la absorción de Zn, Cd y Cr a través del intercambio iónico. A pesar que en la literatura *P. durvillaei* no se ha señalado como una especie indicadora de contaminación por elementos traza, Karez *et al.* (1994) emplearon a *P. gymnospora* en Bahía Sepetiba (Brasil) para registrar la contaminación que proviene de industrias pesqueras y actividades turísticas, y obtuvieron concentraciones elevadas de Zn y Cd. Sin embargo, una diferencia observada entre las localidades fue la correlación positiva de *L. johnstonii* y *P. capillaceae* con las otras especies y con el contenido de elementos en sedimentos. Datos respecto a estas especies no se tienen hasta el momento.

Por otro lado, la correlación entre los elementos traza de las especies de algas permitió observar 3 asociaciones de elementos (Fig. 104). Las asociaciones fueron (i) Fe, Co, Cr, Sc, Cs, Rb; (ii) Ca, Sr, Ba, Se, y (iii) Ni, Zn, Sb, Th y Br. Dichas asociaciones son similares a las encontradas en los sedimentos superficiales, cuya fuente es el aporte continental sobretodo adyacente a la Isla Margarita, zona de canales e interior de Almejas. En la segunda asociación los elementos se relacionan con la actividad biogénica por la relación de Ca y Sr con los carbonatos en los sedimentos. Los restantes elementos difieren y no se asocian con alguna de las particularidades de las asociaciones señaladas, probablemente se asocien a otra fuente.

9. 2. 3. Santa Rosalía

En *Padina durvillaei* se observó un mismo orden de concentración de los lantánidos de Ce, La, Nd, Pr, Gd, Sm y Dy permite señalarlos como elementos conservativos, de fácil absorción por el alga y abundantes en la zona. Como se ha indicado para las anteriores especies de algas, es posible diferenciar dos fuentes que probablemente contribuyen a estos resultados, la antropogénica, que afecta a las estaciones 1, 2 y 5; y la natural que influye a la 7.

Sargassum sinicola se encontró en altas concentración que coincidieron en las estaciones 1, 7 y 9, donde concentraciones altas puede derivarse de los desechos de la actividad minera y el aporte natural al ambiente marino por el intemperismo y erosión de las rocas que caracterizan a la cuenca de drenaje. Otra estación que destaco fue la 5, que probablemente son resultado de la descarga de aguas residuales.

Pterocladia capillaceae. Con respecto a los lantánidos, Ce, La, Nd, Gd, Pr y Dy fueron los elementos de mayor abundancia en *P. capillacea*, y en las anteriores especies de algas que han sido descritas. Estos elementos corresponden a las tierras raras ligeras y probablemente se encuentran en concentración alta en el ambiente, lo que favorece su acumulación por las distintas especies de algas y su dispersión en la zona de Santa Rosalía. *Dictyota dichotoma*. La presencia de Br en las algas se asocia a un mecanismo de protección para evitar el asentamiento en los folios de otros organismos (Darias-Jerez, 1998).

En la especie de talo filamentoso (*L. pacifica*) de ambos años (2000 y 2001) no se encontró semejanza entre los intervalos de concentración de un año a otro, quizás como resultado de diferencias estacionales por los cambios en factores ambientales como las variaciones en la concentración del elemento en solución, las interacciones entre los elementos, factores físicos y químicos, y a los cambios metabólicos que registra el alga (Villares *et al.*, 2002). Campbell y Tessier (1989) señalan otros factores, entre ellos la concentración total del elemento presente como ión, incluyendo la naturaleza y la concentración de los ligandos en el agua, la concentración de cationes que compiten ($\text{Ca}^{(+2)}$ y $\text{Mg}^{(+2)}$), potencial redox y fuerza iónica.

Entre las algas de la División Phaeophyta, se observó que principalmente *C. tuberculata*, *P. durvillaei* y *D. dichotoma* llegaron a obtener intervalos de concentración moderadamente altos, entre los elementos que se observaron con alta concentración en la especie señalada como talo globoso fueron Sr, Sc, Cr, Fe, Th, U, Hf, Cu, Mn y Pb, mientras marzo del 2001 se encontró a Rb, Ba, Fe, Co, Ni, Zn, U, Cu, Mn y Pb. De acuerdo a estos resultados, es posible definir dos posibles fuentes de aportes de estos elementos. La primera fuente es el terrígeno, que es básicamente natural, dada la presencia de Sc, Fe y Cr, además que estos elementos se han definido en esta localidad con comportamiento conservativo por las concentraciones registradas por Rodríguez-Figuera (2004). La otra fuente es la antropogénica y comprende las arenas negras depositadas en la línea de costa, en donde concentraciones altas de Cu, Cd, Pb, Se, U, Sb, Co, Zn, As y de otros elementos fueron detectadas. La presencia de este material en la zona de la playa y a su constante removilización por acción del oleaje, marea y viento, probablemente contribuyen a un aumento en la biodisponibilidad de estos elementos, considerando que algunos de ellos se encontraron en *C. tuberculata* en ambos meses.

La especie señalada como hoja delgada obtuvo intervalos de concentración altos (Ba, Fe, Co, Zn, Zr, Cu y Mn) en las épocas de marzo del 2000 y 2001 debido que fue el mes en que las condiciones ambientales favorecen el mayor crecimiento de las especies. Los resultados se explican de la misma forma que para *C. tuberculata*. Entre las Phaeophytas, *P. durvillaei* y *S. sinicola* fueron las especies que menor concentración de elementos registró, quizás se asocia a las características morfológicas debido que

el área superficial expuesta es baja, el número de folios es bajo si se considera una especie de talo filamentoso (*L. pacifica*), el tamaño y la zona en que estas especies crecen.

Se obtuvo el coeficiente de correlación entre la concentración de elementos en sedimentos y las algas *C. tuberculata*, *S. sinicola*, *P. durvillaei*, *D. dichotoma*, *Pterocladia capillaceae*, *Laurencia pacifica* y *Gracilaria sp* del área de Santa Rosalía. A partir de estos resultados y del análisis de factores se identificaron dos asociaciones entre las especies de algas, determinadas por la concentración de los elementos traza y por algunas características morfológicas (Fig. 105).

La primera asociación ($r > 0.75$) estuvo representada únicamente por ejemplares de la División Phaeophyta, *C. tuberculata*, *S. sinicola*, *P. durvillaei* y *D. dichotoma* (Tabla 36), que son las especies en las cuales se encontró la mayor concentración de los elementos y se asocio a varios factores: (i) la presencia de un talo ramificado con diversos folios delgados y con gran área de exposición al agua circundante que contribuyen a la absorción de elementos, tal es el caso de *D. dichotoma*, *S. sinicola*, *P. durvillaei* (ii) en el caso de *C. tuberculata* el talo globoso y hueco favoreció la entrada de diversas partículas en suspensión y el flujo continuo del agua circundante, (iii) en estas especies la presencia de ácido algínico (polisacárido en la pared celular) es una característica importante debido que Muse *et al.* (1995) lo señala como responsable de la entrada de elementos traza en las algas cafés.

El segundo grupo estuvo integrado principalmente por especies de la División Rhodophyta, *P. capillaceae*, *L. pacifica* y *Gracilaria sp.*, además de ejemplares de *S. sinicola* del mes de marzo 2001. La correlación entre estas especies fue mayor de 0.9. Con respecto a las anteriores especies, estas obtuvieron menor concentración de los elementos como resultado de las características morfológicas y al factor de dilución. La relación del factor de dilución principalmente se observó con *S. sinicola*, y es la disminución del contenido de elementos absorbidos por el crecimiento del alga. Este aspecto fue señalado por Villares *et al.* (2002) para dos especies de algas verdes. La variación estacional en la concentración es resultado del crecimiento, debido que concentraciones altas se detectaron en invierno cuando

el crecimiento fue mínimo y decreció en verano cuando el desarrollo fue máximo. Aunque es necesario considerar otros factores entre ellos la edad del tejido, cambios en los factores ambientales, entre otros.

En cuanto a la morfología estas especies son de menor tamaño y llegan a alcanzar pocos centímetros de altura con excepción de *S. sinicola*. El área de exposición estas especies de algas al medio circundante es mucho menor, considerando el tamaño que alcanzan, por lo tanto es de esperar bajas concentraciones de elementos como resultado de la poca cantidad absorbida de compuestos orgánicos e inorgánicos. Sin embargo, la formación de arbustos por estas especies es una característica que pudiera modificar los resultados por la acumulación de partículas del sedimentos que quedan atrapadas entre las ramificaciones y pudiera favorecer en la absorción de elementos.

Por otro lado, la concentración de elementos traza en los sedimentos fue bien correlacionada ($r > 0.6$) con el contenido de elementos determinado en *P. durvillaei*, *D. dichotoma*, *C. tuberculata* y *S. sinicola*, lo que indica que son especies que pueden reflejar las condiciones en que se encuentra dicho ambiente y pudieran utilizarse como buenos organismos indicadores. Aunque, variaciones en la cantidad absorbida de elementos puede esperarse como resultado de la morfología, biología de la especie y asociado a los cambios ambientales. Es por ello, que en la Tabla 51 pueden observarse diferentes resultados del coeficiente de correlación entre los ejemplares de la misma especie. Valores no significativos ($r < 0.5$) correspondieron a las especies del segundo grupo anteriormente descrito.

Por otra parte, se obtuvo la correlación y el análisis de cluster entre la concentración de los elementos traza en las algas y sedimentos, para determinar posibles asociaciones e identificar el posible origen (natural o antropogénico).

Los resultados mostraron una asociación principal de elementos que estuvo representado por Ba, Sc, Cr, Co, U, Cu, Fe, Zn y Mn. El coeficiente de correlación entre estos elementos fue mayor a 0.8 (Fig. 106). Tomando en cuenta el trabajo realizado por Shumilin *et al.* (2000) y por la concentración observada en las algas, algunos elementos se asocian a la

actividad antropogénica para la extracción de Cu y a los desechos acumulados en la línea de costa de Santa Rosalía, para este caso fueron Cu, Co, Mn y Zn. La presencia Ba se asocia a la barita y el Fe a los abundantes óxidos en la zona.

A partir de los resultados es posible señalar algunas fuentes de elementos en el área de Santa Rosalía: (1) los desechos mineros localizados de la estación 1 a 5, (2) descarga de material continental durante época de lluvias que contribuye en la adsorción de material particulado por las algas, (3) desechos orgánicos e inorgánicos de las actividades humanas que se realizan (aguas residuales domésticas, restos orgánicos del procesamiento de calamar, oxidación de laminas, y otros).

La importancia del material en suspensión (mezcla compleja de materiales poliligandos) ha sido señalado por Karez *et al.* (1994) y Haritonidis y Malea (1999), quienes lo consideran como la vía más importante para el transporte y distribución de los metales en la Bahía de Sepetiba y en el Golfo de Thermaikos en Grecia. El contacto de las algas con el material proveen una oportunidad para la extracción de los elementos desde las partículas, como se ha podido observar con *Centroceras clavulatum* y *Fucus vesiculosus* (Rajendra *et al.*, 1993). Estas partículas consisten predominantemente de material coloidal orgánico y detrital (polímeros complejos conocidos como ácidos húmicos y fúlvicos), sólidos inorgánicos como óxidos de metal e hidróxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , FeOOH), carbonatos, arcillas aluminosilicatos, y células vivas (bacterias y fitoplancton) (Boudou y Ribeyre, 1989).

9. 2. 4. Normalización de los lantánidos en las algas

En el complejo lagunar Magdalena-Almejas, la presencia del aprón agua de mar para los valores normalizados de los lantánidos se asocia a la incorporación directa de los lantánidos desde el agua de mar circundante o del agua intersticial después del proceso de diagénesis en los sedimentos recién depositados (McArthur y Walsh, 1984). Bahía Concepción, la diferencia en el patrón normalizado en una misma especie son resultado de varios factores, como la influencia de las condiciones físicas y químicas del agua, entre ellas concentración de nutrientes, oxígeno disuelto, salinidad, temperatura, el tipo de

sustrato y las fuentes de aporte, entre otras. Aunque no se tiene referencia alguna, probablemente la abundancia de carbonatos en las estaciones 5 y 6 influye en la absorción de Tb por las algas considerando que una de las formas químicas de Tb es $TbCO_3^+$ (Bruland, 1983), lo que facilita su presencia sobretodo en esos puntos. De esta manera, se considera que la fuente de lantánidos para las algas puede provenir de los sedimentos, debido a la estrecha relación entre el alga y el sustrato en que crece, la resuspensión de material y subsecuente liberación de los elementos, y a partir de la materia particulada suspendida.

Por otro lado, resultado de procesos metabólicos de algas y además que los procesos que actúan en cada uno deben influir en los resultados. Los sedimentos incluyen material de diferentes fuentes que están sujetos a transformaciones químicas del fondo (actividad microbiana), resuspensión del sedimento, influencia de la marea, depositación de partículas orgánicas e inorgánicas, entre otros, que contribuyen a obtener un resultado. Mientras en las algas los procesos quizás son más simples como es el caso de la adsorción (intercambio pasivo) y absorción (intercambio activo) de algunos elementos junto con nutrimentos a través de la pared celular de los folios y del estipe para el empleo de los nutrientes, la fijación del material particulado suspendido en los folios de las algas, probablemente cambios químicos en las paredes celulares debido a la actividad fotosintética de cada alga. A pesar de estos cambios, los sedimentos son más complejos y quizás son los que sufren mayor transformación, es por ello que el comportamiento de los lantánidos es diferente.

Esto se relaciona con la problemática que existe en su uso y radica en el conocimiento de diferencias de concentración entre las especies, quizás por el uso de diferentes procedimientos analíticos, las partes del alga (características morfológicas y fisiológicas), la posición con relación a la marea, recolecta en otras épocas del año (Riget *et al.*, 1997). Además de añadir, los cambios condiciones ambientales (intensidad de luz, salinidad, temperatura del agua), concentración de nutrientes, entre otros, que hacen a las algas un bioindicador complejo y variable. A pesar de la problemática que se maneja son organismos ampliamente usados.

10. CONCLUSIONES

1. En los sedimentos superficiales de Bahía Concepción destacaron carbonatos, carbono orgánico, Fe, Ca, Sr, Sc, Co, Ni, Zn, Br, Cd, Cu y Pb por su concentración. De estos, solo Sr, Br, Cd y Pb sobrepasaron el valor de la corteza continental. El factor de enriquecimiento (FE) señala a Se, Cd, Sr, Pb, Ca y As como los elementos altamente enriquecidos ($FE < 10$) pero debido a la escasa influencia humana este resultado se atribuye a a) las rocas de tipo volcánico que caracterizan esta zona, b) la productividad biológica y c) posiblemente los fluidos hidrotermales a través del aporte de material y gases.
2. La distribución espacial de la concentración permitió definir las siguientes asociaciones y los puntos principales de concentración: (i) Rb, Cs, Ba, As, Sb y Th cuyas zonas se fueron adyacentes al Estuario Mulegé y a la porción este en donde destacan la presencia de depósitos minerales (Pilares, Guadalupe) y la descarga de algunos de los arroyos; (ii) Cr, Co, Zn, Cu, Se, U, Br, Ta y Zr se encontraron principalmente en los sedimentos de la porción central de la bahía asociados a las arenas muy finas con mas de 3.5% de carbono orgánico; y (iii) Sr, Cd y Pb siguieron un comportamiento similar al de carbonatos, estos se localizaron en las zonas de Mulegé, Punta Concepción, Punta Aguja, Santispac, Playa la Pasajera, adyacente a Santa Bárbara y frente al arroyo Cordeló.
3. La distribución espacial del grupo de tierras raras fue similar a Fe, los puntos principales en los sedimentos de Bahía Concepción fueron frente al estuario Mulegé, Punta Guadalupe, adyacente a los arroyos de las Tres Marias, de Luis y Cordeló, y en la porción centro de la bahía.
4. Los sedimentos y el material terrígeno presentaron una anomalía de Eu (Eu_{anom}) de 1.4, pero en los sedimentos puede incrementarse hasta 2.7. Frente al estuario Mulegé es donde se encontraron valor mayores a 2 probablemente por el aporte importante de minerales concentradores (feldespatos, clinopiroxenos, plagioclasas y otros) debido que la Cuenca Mulegé es la que drena mayor cantidad de material a la bahía.
5. Las macroalgas identificadas en Bahía Concepción fueron *Laurencia pacifica*, *Colpomenia sinuosa*, *C. tuberculata*, *D. dichotoma*, *P. durvillaei*, *S. sinicola*, *E. clathrata*, *E. intestinalis* y *U. lactuca*. De estas

especies *L. pacifica* fue la especie que obtuvo intervalos de concentración mas altos de Ba, Sc, Fe, Co, Ni, Zn, Sb, U y Br, quizás por sus características morfológicas por un mayor contacto con el fondo y las partículas en suspensión. En *D. dichotoma* destaco el intervalo de Ca y Se, además de Cr, Ta y Hf, mientras en *C. tuberculata* fueron Rb y Zn. Resultados asociados: (i) al área de exposición de los folios, mayor capacidad de adsorción, y (ii) forma del talo, mayor contacto con el sedimento de fondo, flujo de agua en el interior del alga, respectivamente.

6. En el complejo lagunar Magdalena-Almejas los elementos que destacaron con respecto a Bahía Concepción fueron Ba, Cr, As, Sb y U, solo As, Sb y U sobrepasaron el valor de referencia en 6, 6 y 10 veces, respectivamente. Los elementos altamente enriquecidos fueron Se, Sb, Cd y As (FE > 10).
7. La distribución espacial de la concentración de elementos en el interior del complejo lagunar fue semejante entre algunos de elementos. a) Rb, Cs, Ba, Sc, Se, As, U, Ta y Zr fueron los que presentaron mayor dispersión en el complejo y algunos sobrepasaron el valor de la corteza probablemente resultado del aporte continental y de la presencia de fosforita en la zona; b) carbonatos Fe, Ca, Sc, Co, Zn y Cu se observaron en los sedimentos adyacentes a las islas Margarita y Magdalena asociados a la presencia de magnesita, magnetita y bancos de almejas; c) carbono orgánico, Cr, Ni, Cd, Pb y Br se encontraron en los sedimentos aledaños a la Isla Margarita por la presencia de la magnetita, además de los eventos de surgencia en el caso de Cd.
8. Los lantánidos se encontraron en los sedimentos del Estero Banderitas, en la línea de costa de Bahía Magdalena y frente a la desembocadura del arroyo La Presa, una de sus fuentes probables es el aporte de la fosforita de la Formación San Gregorio a través del aporte de material por los arroyos Las Bramonas y La Presa, debido que valores altos de elementos se observaron en la barrera arenosa Isla Creciente localizada frente al arroyo La Presa.
9. La anomalía de Eu se estimó en 1.1 con un intervalo de 0.4 a 2.2, la distribución muestra que el interior de Bahía Almejas, zona de canales, Canal la Gaviota y la porción central de Bahía Magdalena fueron las zonas con valores mayor a 1, probablemente por ser zonas propensas a la depositación del material proveniente de la cuenca y del Océano Pacífico.

10. Se recolectaron 21 especies de macroalgas, 9 pertenecientes a la División Rhodophyta, 6 de la Phaeophyta y 6 de Chlorophyta. De estas, las especies ampliamente distribuidas en el complejo fueron *L. johnstonii*, *C. tuberculata*, *P. durvillaei*, *S. sinicola*, y *U. lactuca*.
11. Entre las Rhodophytas la mayor concentración de elementos se encontró en las especies *S. filamentosa* (Cr, Co, Se, Th, Hf y Zr), *L. johnstonii* (Cs, Zn, Sb, U, Br) y *T. fragilis* (Ca, Sr, Sc, Fe, Ni y Sr). Especies que se encontraron adyacentes a las islas Margarita y Magdalena donde los óxidos de Fe y Mn son abundantes por la presencia de las rocas metamórficas, y los cuales actúan como concentradores de diversos elementos y que quizás están siendo absorbidos por las macroalgas.
12. Entre las especies de Phaeophytas fue en *C. sinuosa* donde se encontró un intervalo mayor de concentración de Ba, Sc, Co, Se, Sb y Hf, debido a las características morfológicas que contribuyen a una mayor retención de partículas orgánicas e inorgánicas, lo hueco del talo permite que llegue las partículas lleguen al interior y se adhieran y tiene mayor contacto con el sedimento de fondo.
13. En Santa Rosalía, las macroalgas *C. tuberculata* (Sr, Mn, Cu, U, Fe, Sc), *D. dichotoma* (Ba, Fe, Co, Zn, Zr, Cu, Mn) y *U. lactuca* (Ba, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, Zr) presentaron intervalos de concentración que oscilaron de moderados a altos. Los elementos identificados en estas especies permiten definir dos posibles fuentes de aporte: (i) natural representado por Fe, Sc, Cr, Zr, y (ii) antropogénico por la presencia de Cu, Mn, Pb, Co y Zn que son algunos de los elementos asociados a los desechos mineros depósitos frente a la dársena de Santa Rosalía y los cuales son biodisponibles para estas especies.
14. La concentración y distribución de los elementos mayores y traza en los sedimentos del complejo lagunar Magdalena-Almejas y en Bahía Concepción esta controlada por los (i) productividad biológica (carbono orgánico, carbonatos), (ii) óxidos Fe y Mn (aporte continental), (iii) depósitos minerales de la región (fosforita, magnetita, magnesita, hematita, cuprita, otros) y (iv) otras fuentes (surgencias, fluidos hidrotermales), los cuales influyen en las características de las algas de ambas localidades. Otra fuente a considerar es el antropogénico, claramente observado en el área de Santa Rosalía debido a los depósitos de la minería de Cu, que han afectado los sedimentos marinos debido a la disponibilidad de elementos que se acumulan en las macroalgas y que provienen de esa fuente (Cu, Zn, Co y Pb).

11. LITERATURA CITADA

- Abbot, I. A. and G. J. Hollenberg. 1976. *Marine Algae of California*. Stanford University Press. Stanford, California. 827 p.
- Aceves-Medina, G., R. Saldierna-Martínez y M. Hernández-Rivas. 1992. Variación diurna de la abundancia de larvas de peces en la boca de Bahía Magdalena, Baja California sur, México. *Rev. Int. Cient.* 3(1): 61-70
- Acosta-Ruíz, M. J. y J. R. Lara-Lara. 1978. Resultados físicos-químicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, B. C. S. *Ciencias Marinas*. 5(1): 37-46.
- Alekseev, A. V., E. N. Shumilin, E. Nava-Sanchez and D. Yu. Sapozhnikov. 1998. Anomalous europium behavior in the coastal bottom sediments of the southwestern Gulf of California. *Doklady Earth Sciences*. 361: 876-878.
- Aguila-Ramírez, R. N. 1998. *Variación estacional de la distribución de las macroalgas en la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S. México*. tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 68 p.
- Álvarez-Arellano, A. 1989. La roca fosfórica en Baja California Sur. Origen, evolución y usos. *Geomimet.* 157: 38-46.
- Álvarez-Arellano, A. 1995. *Estudio geoquímico y de procedencia de arenas fosfáticas*. Tesis Doctoral. UNAM. México. D. F. 159 p.
- Álvarez-Borrego, S., L. A. Galindo-Bect y A. Chee-Barragan. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B. C. S. *Ciencias Marinas*. 2(2): 94-110.
- Ancarola, M. F., M. Acosta, E. Azcona, G. Barria, M. Bruno, M. Miner y X. Parra-Barbero. 2001. Proyecto de estudios S.I.G. de riesgo ambiental. Provincia del Chubut 2001-2002. Segunda parte.
- Anderberg, M. R. 1973. *Cluster analysis for applications*. Academic Press. New York. 359 pp.
- Andersen, H. B. 1992. the expansion of mercury contamination, five years after discovery. *Mar. Poll. Bull.* 24(7): 367-369.
- Anikiyev, V. V., O. S. Badtiyeva, A. A. kotlyarova, N. I. Savelyeva, O. V. Shevtsova and Ye. N. Shumilin. 1985. The behavior of heavy metals in the mixing of river and seawater: the riverine part of an estuary and the migration of suspended and dissolved forms of heavy metals. *Geokhimiya*. 7: 1014-1024.
- Arellano-Morales, R. 1997. *Distribución de la mineralización de Cu-Co en el manto 3 de la zona purgatorio-Boleo, en el distrito minero de santa Rosalía, Baja California Sur, México*. Tesis de Licenciatura. U.A.B.C.S. La Paz, Baja California Sur. 70 p.
- Basilevsky, A. 1994. *Statistical factor analysis and related methods. Theory and applications*. John Wiley & SONS. New York. 737 pp.
- Bermudez-Almada, B. 1986. Estudio de macrobentos de Bahía Concepción, B.C.S. Informe técnico. CICIMAR. 17 p.
- Boggs, S. 1995. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Prentice Hall. New Jersey. 774 p.

- Bopp, F. and R. B. Biggs. 1981. Metals in estuarine sediments: Factor analysis and its environmental significance. *Science*. 214: 441-443.
- Boudou, A. and F. Ribeyre. 1989. Fundamental concepts in aquatic ecotoxicology. 36-74 p. **In:** Boudou, A. and F. Ribeyre. *Aquatic ecotoxicology: fundamental concepts and methodologies*. CRC Press. Boca Raton, Florida. EUA. 332 p.
- Bourg, A. C. M. 1989. Adsorption of trace inorganic and organic contaminants by solid particulate matter. 107 – 123. **In:** Boudou, A. and F. Ribeyre. *Aquatic ecotoxicology: fundamental concepts and methodologies*. CRC Press. Boca Raton, Florida. EUA. 332 p.
- Brawley, S. H. and Y. R. Wetherbee. 1981. Cytology and ultrastructure. 248-299. *In: The biology of seaweeds. Botanical Monographs*. Lobban, Ch. S. and M. J. Wynne. University of California Press. Blackwell Scientific Publications. Great Britain. 786 p.
- Brian-Genter, R. 1996. Ecotoxicology of inorganic chemical stress to algae. 403-468. **In:** *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Ed. Stevenson, R. J., M. L. Bothwell and R. L. Lowe. Academic Press. 753 p.
- Bruland, W. K. 1983. Trace elements in seawater. *In: Chemical Oceanography*. J. P. Riley and Chester Edit. Academic Press. London. 8: 157-200.
- Burkholder, J. M. 1996. Interactions of benthic algae with their substrata. 253-297. **In:** *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Stevenson, R. J., M. L. Bothwell and R. L. Lowe. Academic Press. U.S.A. 256 p.
- Caliceti, M., E. Argese, A. Sfriso and B. Pavoni. 2002. Heavy metal contamination in the seaweeds of the Venice lagoon. *Chemosphere*. 47: 443-454.
- Campbell, P. G. C. and A. Tessier. 1989. Geochemistry and bioavailability of trace metals in sediments. 125-148. **In:** *Aquatic ecotoxicology: fundamental concepts and methodologies*. Boudou, A. and F. Ribeyre. CRC Press. Boca Raton, Florida. EUA. 332 p.
- Carrillo A. and J. I. Drever. 1998. Environmental assessment of the potential for arsenic leaching into groundwater from mine waste in Baja California Sur, Mexico. *Geofísica Internacional*. 37: 35-39.
- Carrillo-Domínguez, S., M. Casas-Valdez, R. Ramos-Ramos, F. Pérez-Gil, I. Sánchez-Rodríguez. 2002. Algas marinas de Baja California Sur, México: valor nutrimental. *ALAN*. 52(4).
- Casas-Valdez, M. 1985. Cuantificación y caracterización parcial de alginatos de algunas especies de algas feofitas de las costas de México. *Inv. Marinas. CICIMAR*. 2(1): 18-28
- Castro, J. A. 1998. Arsénico. 185 - 204. *En:* Albert, L. A. *Curso básico de toxicología ambiental*. Limusa. Méx. D.F.
- Cark, R. B. 1984. Mineralogy of the reare earth elements. **In:** Henderson, P. *Rare earth element geochemistry*. Elsevier. Amsterdam. 510 p.
- Chafee, C. 1998. *Analysis of dissolved oxigen and turbidity levels in the intertidal zones of Puerto San Carlos, B. C. S., México*. School for field studies. Center for Wetland Studies. Reporte DR-20.0. Puerto San Carlos, B. C. S. México. 15 p.
- Chester, R. 2003. *Marine geochemistry*. Urwin Iman. London. 506 p.
- Choumiline, E., H. Windom, R. Smith, M. Grajeda, L. Gódinez-Orta, Y. Sapozhnikov, M. Mironenko, A. Derkachev y N. Nikolayeva. 2001. *Estudio piloto de los elementos traza*

en los sedimentos de las Lagunas Ojo de Liebre, Guerrero Negro y estanques de concentración de la empresa Exportadora de Sal. Informe Técnico. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 254 p.

- Consejo de Recursos Minerales. 1999. Monografía geológico-minera del estado de Baja California Sur. México, D.F. 237 p.
- Corporación Ambiental de México. 1996. Estudio Ambiental Básico. Proyecto minero El Boleo Santa Rosalía, Baja California Sur. 230 p.
- Crist, R. H., K. Oberhdser, D. Schwartz, J. Marzoff, D. R. Crist and D. Ryder. 1988. Interactions of metals and protons with algae. *Environ. Sci. Technol.* 22(7): 755-760.
- Crist, R. H., J. R. Martin, P. W. Guptill and J. M. Eslinger and D. R. Crist. 1990. Interaction of metals and protons with algae. 2. Ion exchange in adsorption and metal displacement by protons. *Environ. Sci. Technol.* 24(3): 337-342.
- Cruz-Ayala, M. B. 1996. *Variación espacio-temporal de la fitoflora y su abundancia relativa en la bahía de La Paz, B.C.S., México.* Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 100 p.
- Cullinane, J. P., T. M. Doyle and P. M. Whelan. 1987. Uses of seaweeds as biomonitors of zinc levels in cork Harbour, Ireland. *Hydrobiología.* 151/152: 285-290.
- Daesslé-Heuser, L. W. 1993. *Geoquímica y sedimentología de elementos de Tierras Raras en fosforitas marinas de Bahía Vizcaíno, Baja California México.* Tesis licenciatura. U.A.B.C. Ensenada, B. C. México. 87 pp.
- Danielsson, A., I. Cato, R. Carman and L. Rahm. 1999. Spatial clustering of metals in the sediments of the Skagerrak/Kattegat. *Applied Geochemistry.* 14: 689-706.
- Darias-Jerez, J. 1998. La biodiversidad de las algas marinas como fuente de interés farmacológico. Medio Ambiente CANARIAS. *Revista de la consejería de política territorial y medio ambiente.* 9.
- Daskalakis, K. D. and T. P. O'connor. 1995. Normalization and elemental sediments contamination in the coastal United State. *Environ. Sci. Technol.* 29: 470-477.
- D'anglejan, B. F. 1967. Origin of marine phosphorites off Baja California, México. *Marine Geol.* 5: 15 - 44.
- De Baar, H. J., M. Bacon, P. Brewer and K. Bruland. 1985. Rare earth elements in the Pacific and Atlantic oceans. *Geochim. Cosmoch. Acta.* 49: 1943 - 1959.
- De la Lanza, G. 1987. Química de la fase sedimentaria en las lagunas costeras. 135-153. **In:** Gómez, A. S. y V. Arenas. *Contribuciones en hidrobiología.* UNAM. México, D.F. 278 p.
- Dossi, P. and L. J. Warren. 1980. Distribution of heavy metals between the minerals and organic debris in a contaminated marine sediment. *En:* Baker, R. A., editor. *Contaminants and sediments. Fate and transport, case studies, modeling, toxicity.* Ann Arbor Science. USA. 119-139.
- Dressler, R. 1981. *Preliminary knowledge of hydro-static summer conditions within Bahía Concepción, Baja California.* Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 3 p.
- Drude De Lacerda, L. 1994. Biogeochemistry of heavy metals in coastal lagoons. *En:* Kjerfve, B. Editor. *Coastal lagoon processes.* Elsevier Science Publishers. 221-241.

- Dumarey, A., M. Van Ryckeghem and R. Dams. 1987. comparison of wet-digestion methods for the determination of total mercury in plant samples by cold vapour atomic absorption spectrometry (CVAAS). *J. Trace and Microbe Techniques*. 5: 229-242.
- Fajardo-León, M. del C. 1994. Evaluación de biomasa y determinación de especies de los mantos del género *Sargassum spp.* Agardh, 1821 (Fucales; Phaeophyta) en la Bahía de La Paz, B.C.S., México, en primavera de 1988. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 78 p.
- Falkowski, P. G. 1999. Ecosystem function and biogeochemical cycles: The role of the phytoplankton. *IGBP Newsletter* 40.
- Fleet, A. J. 1984. aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. **In:** *Rare earth element geochemistry*. Henderson, P. Elsevier. Amsterdam. 510 p.
- Fonseca-Rivera, C. 1991. *Variaciones petrológicas en las fosforitas de la capa Humboldt con respecto a su espesor, Formación San Gregorio, San Juan de la Costa, Baja California Sur, México*. Tesis de Licenciatura. U.A.B.C.S. La Paz, B. C. S. México. 126p.
- Folk, R. L. 1974. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Hemphill Publishing Co. 182p.
- Förstner, U. 1987. Sediment-associated contaminants an overview of scientific bases for developing remedial options. *Hydrobiologia*. 149: 221-246.
- Forrest, M. J., H. G. Greene y M. S. Foster. 2002. *Cartografía en detalle de capas de rodolitos en bahía concepción, Baja California Sur, México por medio de radas de barrido lateral*. VI International Meeting on Geology of the Baja California Peninsula. La Paz, Baja California Sur, México. 4 a 6 de abril del 2002.
- Fundación Patagonia Natural. 1999. *Prevención de la contaminación costera y gestión de la diversidad biológica marina*. Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable. 21 p.
- Galli-Olivier, C. 1993. Fosforita de San Juan de la Costa (Bahía de La Paz), Baja California Sur, México: 17 años de investigaciones. *Rev. Inv. Cient.* 4:115-135.
- Gárate-Lizárraga, I., J. J. Bustillos-Guzmán, R. Alonso-Rodríguez and B. Luckas. 2004. Comparative paralytic shellfish toxin profiles in two marine bivalves during outbreaks of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) in the Gulf of California. *Mar. Poll. Bull.* 48: 378-402
- Gasca, S. R. y E. Suárez. 1992. Sifonóforos (Cnidaria: Hydrozoa) de la zona sudoccidental de la Península de Baja California, en invierno y verano durante "El Niño" 1983. *Rev. Int. Cient.* 3(1):37-46.
- Glascock, D.M. 1997. An overview of neutron activation analysis.
- Godínez-Orta, L., E. Shumilin, D. Sapozhnikov y D. Rodríguez-Meza. 1997. Características litológicas-geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, B. C. S. *Actas INAGEQ*. 3: 225-233.
- Goldberg, E. D. y G. O. Arrhenius. 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmoch. Acta*. 13: 153-212.
- Goldberg, E. D., M. Koide, R. A. Schmitt and R. H. Smith. 1963. Rare-earth distributions in the marine environment. *Journal of Geophysical Research*. 68: 4209-4217.

- Goldberg, E. D. 1963. Mineralogy and chemistry of marine sedimentation. 436-466. **In:** *Submarine geology*. Shepard, F. P. Edit. Harper's Geoscience Series. New York. 557 p.
- Greene, H. G. y M. J. Forrest. 2002. *Emanación hidrotermal de gases en aguas someras a los largo de una falla sobre y fuera de la costa; Bahía Concepción, Baja California Sur, México y su influencia en la geología y biología del fondo marino*. VI International Meeting on Geology of the Baja California Peninsula. La Paz, Baja California Sur, México. 4 a 6 de abril del 2002.
- Gutiérrez-Galindo, E., G. Flores, V. Ortega y J. A. Villaescusa. 1994. Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza Baja California (México)-California (E.U.A.). *Ciencias Marinas*. 20: 105-121.
- Halstead, B. W. 1972. Mercury as a marine pollutant. 276 - 289. **In:** Ruivo, M. *Marine pollution and sea life*. Fishing News. LTD. England. 624 p.
- Haritonidis, S. and P. Malea. 1995. Seasonal and local variation of Cr, Ni y Co concentrations in *Ulva rigida* C. Agardh and *Enteromorpha linza* (Linnaeus) from Thermaikos Gulf, Greece. *Environ Pollution*. 89(3): 319-327.
- Haritonidis, S. and P. Malea. 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. *Environmental Pollution*. 104: 365-372.
- Hart, T. B. 1982. Uptake of trace elements by sediments and suspended particulates: a review. *Hydrobiologia*. 91: 299 - 313.
- Hemond, H. F. and E. Fechner-Levy. 2000. *Chemical fate and transport in the environment*. Academic Press. U. S. A. 433 p.
- Hernández-Carmona, G. y Ma. M. Casas-Valdez. 1985. Precipitación del ácido algínico y su conversión a alginato de sodio en muestras de *Macrocystis pyrifera*. *Inv. Marinas*. CICIMAR. 2(1): 18-28
- Hernández, D. J., R. Escoppinichi y R. A. León. 1991. *Manual operativo del laboratorio de suelos y agua*. Ciencias agropecuarias. Manuales Universitarios . N. 8: U.A.B.C.S. La Paz, B.C.S. México. 91 p.
- Herrera Silveria, J. e I. Ojeda Alayon. 1999. Las mareas rojas. *Biodiversitas*. 24(5).
- Horowitz, A. 1991. *A primer on sediment-trace element chemistry*. Lewis publishers. USA. 136 p.
- Hughes, M. N. and R. K. Poole. 1989. *Metals and microorganisms*. Chapman and Hall. London. 412 p.
- Hurlbut, s. C. 1980. *Manual de mineralogía de Dana*. Reverté. España. 653 p.
- INEGI, 1996. Carta topográfica, Ciudad Constitución. Clave G11-12-13. Escala 1:250 000 (versión digital).
- Jafri, S. H., V. Balaram and P. K. Govil. 1993. Depositional environments of Cretaceous radiolarian cherts from Andaman-Nicobar island, northeastern Indian Ocean. *Mar. Geol.* 112: 291-301.
- James, D.W. 1998. Neutron activation analysis laboratory center for chemical characterization and analysis Texas A&M University.
- Jamil-Kaiser. 2001. *Bioindicator and biomarkers of environmental pollution and risk assessment*. Science Publishers. USA. 204 p.

- Johnson-Barrie, D. 1998. microorganisms and the biogeochemical cycling of metals in aquatic environments. 31-57. **En:** Langston, W. J. y M. J. Bebianno. *Metal metabolism in aquatic environments*. Chapman & Hall. London. 448 p.
- Karez, C. S., V. F. Magalhaes, W. C. Pfeiffer and G. M. Amado Filho. 1994. Trace metal accumulation by algae in sepetiba Bay, Brazil. *Environ. Pollution*. 83: 351-356.
- Kersten M. and U. Förstner. 1989. Speciation of trace elements in sediments. **In:** *Trace element speciation: Analytical methods and problems*. Batley, G. E. CRC Press. Florida. 245-317.
- Klaver, G. Th. and C. E. van Weering. 1993. Rare earth element fractionation by selective sediment dispersal in surface sediments: the Skagerrak. *Mar. Geol.* 111: 345-359.
- Kot, F. S., C. Green-Ruíz, F. Páez-Osuna, E. N. Shumilin and D. Rodríguez-Meza. 1999. Distribution of mercury in sediments from La Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 63: 45-51.
- Lackschewitz, K. S., H. J. Wallrabe-Adams and D. Garbe-Schönberg. 1994. Geochemistry of surface sediments from the mid-oceanic Kolbeinsey Ridge, north of Iceland. *Marine Geology*. 121: 105-119.
- Lechuga-Devéze, C. H., A. Reyes-Salinas and M. L. Morquecho-Escamilla. 2001. Anoxia in a coastal bay: case study of a seasonal event. *Rev. Biol. Trop.* 49(2): 525-534.
- Ledesma-Vazquez, J. and M. J. Johnson. 2001. Miocene-Pleistocene tectono-sedimentary evolution of Bahía Concepción región, Baja California Sur (México). *Sedim. Geol.* 144: 83-96.
- Leland, H. V. and J. S. Kuwabara. 1985. Trace metals. 374 - 415. In: *Fundamentals of aquatic toxicology*. Rand, G. M. and S. Petrocelli. Hemisphere Publishing corporation. EUA. 666 p.
- Libes, S. M. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley. U.S.A. 734 p.
- Lisitzin, A. P. 1996. *Oceanic sedimentation*. American Geophysical Union. Washington, D.C. 400p.
- Littler, M. M. 1980. Morphological form and photosynthetic performances of marine macroalgae: test of a functional/form hypothesis. *Botanica marina*. XXII: 161-165.
- Littler, M. M. and K. E. Arnold. 1982. Primary productivity of marine macroalgal functional-form groups from Southwestern North America. *J. Phycol.* 18: 307-311.
- Littler, M. M., D. S. Littler y P. R. Taylor. 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae. *J. Phycol.* 19: 229-237.
- Littler, M. M. and D. S. Littler. 1984. relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability and s subtropical rocky-intertidal systems. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 74: 13-34.
- Lluch-Belda, D., M. E. Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez y R. Guerrero-Caballero. 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. *Oceánides*. 15: 1-23.
- Loring, D. H. 1991. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES J. Mar. Sci.* 48: 101-115.
- Louma, S. N., G. W. Bryan and W. J. Langston. 1982. Scavenging of heavy metals from particulates by brown seaweed. *Mar. Poll. Bull.* 13(11): 394-396.

- López-Cortés, D. J. Gárate-Lizárraga, J. J. Bustillos-Guzmán, R. Alonso-Rodríguez e I. Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía concepción, Golfo de California (1997-1999). *Hidrobiología*. 13(3): 195-206.
- Luque, C. J., E. M. Castellanos, J. M. Castillo, M. González, M. C. González-Vilches and M. E. Figueroa. 1999. Metals in halophytes of a contaminated Estuary (Odiel saltmarches, SW Spain). *Mar. Poll. Bull.* 38(1): 49-51.
- Martínez-Flores, A. 1998. *Contenido de arsénico en el agua subterránea de la zona minera de San Antonio, B. C. S. México: relación de los yacimientos minerales y obras mineras*. Tesis Licenciatura. U.A.B.C.S. La Paz, B. C. S. México. 63 p.
- Martínez-Magaña, H. 1995. *Distribución de metales pesados en sedimentos de Bahía San Quintín, Baja California México*. Tesis Maestría. Ensenada, B. C. 60 p.
- Maynard M. N. and J. D. Boon. 1994. Sediments transport processes in coastal lagoons. **In:** Kjerfve, B. *Coastal lagoon processes*. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. 157-219 pp.
- Mason, B. 1960. *Principios de geoquímica*. Omega. Barcelona. 333 p.
- McArthur, J. M. and J. N. Walsh. 1984. Rare-earth geochemistry of phosphorites. *Chem. Geol.* 47: 191-220.
- McFall, C. C. 1968. Reconnaissance geology of the Concepcion Bay area Baja California Mexico. Stanford University Publication. *Geological Sciences*. Volume X (5): 25 p.
- Méndez, L., B. Acosta, S. T. Alvarez-Castañeda and C. H. Lechuga-Deveze. 1998. Trace metals distribution along the southern coast of Bahia de La Paz (Gulf of California), México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 61: 616-622.
- Meyerson A. L., G. Luther, J. Krajewski and R. I. Hires. 1981. Heavy metals distribution in Newark Bay sediments. *Mar. Poll. Bull.* 12: 244-250.
- Millero, J. F., 1996. *Chemical Oceanography*. CRC Press. U.S.A. 469 p.
- Mills, L. A. and J. E. Saiers. 1993. Particle-associated transport of pollutants in subsurface environments. 105 - 126. **In:** *Particulate matter and aquatic contaminants*. Rao, S. S. Lewis Publishers. U. S. A. 216 p.
- Millward, G. E. 1995. Processes affecting trace element speciation in estuaries. *Analyst*. 120: 609-614.
- Miranda-Avilés, R. 2002. *Etude géologique coparee des bassins de Santa Rosalía (Basse Californie du Sud, Mexique) et de Mendibelza (Pyrenees, France)*. These de Doctorat. Université de Bordeaux, 235 p.
- Morel, M. M. F. and J. G. Hering. 1993. *Principles and applications of aquatic chemistry*. John Wiley & SONS. New York. 588 p.
- Morrison, G. M. 1989. Trace elements speciation and its relationship to bioavailability and toxicity in natural waters. **In:** Batley, G. E. Editor. *Trace element speciation: analytical methods and problems*. CRC Press. Florida. 350 p.
- Motolinía-Hidalgo, J. M. 1996. *Características granulométricas de los sedimentos modernos de Bahía Concepción, Baja California Sur, México*. Tesis de Licenciatura. U.A.B.C. 42 p.
- Murillo de Nava, J. M. 1997. *Sedimentary characteristic and chronology of Holocene aeolian deposits of the southern portion of the Purisima-Iray-Magdalena Basin, Baja California Sur, Mexico*. Doctor of Philosophy. University of Southern California. 347 p.

- Muse, J. O., M. B. Tudino, L. d' Huicque, O. E. Troccoli y C. N. Carducci. 1995. A survey of some trace elements in seaweeds from Patagonia, Argentina. *Environmental Pollution*. 87: 249-253.
- Muse, J. O., J. D. Stripeikis, F. M. Fernández, L. d' Huicque, M. B. Tudino, C. N. Carducci, O. E. Troccoli. 1999. Seaweeds in the assessment of heavy metal pollution in the Gulf San Jorge, Argentina. *Environmental Pollution*. 104: 315-322.
- Naegel-Lucchesi, L. 1998. Consideraciones sobre la importancia de monitorear cadmio en bio-indicadores marinos. *Actas INAGEQ*. 4: 65-71.
- Nance, W. B. y S. R. Taylor. 1977. Rare earth element patterns and crustal evolution-II. Archean sedimentary rocks from Kalgoorlie, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 41: 225-231.
- Nicolaidou, A. and J. A. Nott. 1998. Metals in sediment, seagrass and gastropods near a nickel smelter in Greece: possible interactions. *Mar. Poll. Bull.* 36(5): 360-365.
- Nott, J. A. 1998. Elements and marine food chains. 385 - 414. **In:** Langston, W. J. and M. J. Bebianno. *Element metabolism in aquatic environments*. Chapman & Hall. 448 p.
- Nozaki, Y. 1997. A fresh look at element distribution in the North Pacific Ocean. EOS, Transactions, American Geophysical Union. 78: 221.
- Núñez-López, R. A. 1996. Estructura de la comunidad de macroalgas de la Laguna San Ignacio, B.C.S., México (1992-1993). Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 99 p.
- Obeso-Nieblas, M., J. H. Gaviño-Rodríguez. 1999. Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. *Oceánides*. 14(2): 79-88.
- Obeso-Nieblas, M., M. A. Alatorre-Mendieta, A. R. Jiménez-Illescas. 1996. Modelación de la marea en Bahía Concepción, B.C.S. México. *Oceánides*. 11: 1-8.
- Olmez, I., E. R. Sholkovitz, D. Hermann and R. P. Eganhouse. 1991. Rare earth elements in sediments off southern California: a new anthropogenic indicator. *Environ. Sci. Tech.* 25:310-316.
- Ornes, W. H., S. S. Kenneth, B. G. Loganathan and C. s. Chetty. 1998. Comparison of selected element concentrations in tall and short forms of *Spartina alterniflora*. *Mar. Poll. Bull.* 36(5): 390-395
- Ortega-Lara, V. 1991. *Metales traza en sedimentos superficiales marinos de la región noroccidental fronteriza México-EUA*. Tesis Licenciatura. UABC. Ensenada, B.C. México. 75 p.
- Pattan J. N. and V. K. Banakar. 1993. Rare earth element distribution and behavior in buried manganese nodules from the Central Indian Basin. *Mar. Geol.* 112: 303-312.
- Pérez-Soto, J. L. 1995. *Volumen de sedimento drenado a Bahía Concepción, Baja California Sur, México (1922-1988)*. Tesis de Licenciatura. U.A.B.C. Ensenada, B.C. 37 p.
- Pilson, M. E. 1998. *An introduction to the chemistry of the sea*. Prentice Hall. New Jersey. 431 p.
- Piper, D. Z. 1991. Geochemistry of a tertiary sedimentary phosphate deposit: Baja California Sur, México. *Chem. Geol.* 92: 283-316.

- Piper, D. Z. 1994. Seawater as the source of minor elements in black shales, phosphorites and the other sedimentary rocks. *Chem. Geol.* 114: 95-114.
- Posada-Ramos, M. E., A. Hansen y V. Ortega. 1994. Enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. *Actas INAGEQ.* 3: 151-156.
- Power, E. A. and P. M. Chapman. Assessing sediments quality. 1-19. **In:** *Sediment toxicity assessment.* Lewis Publishers, U.S.A. 457 p.
- Rajendran, K., P. Sampathkumar, C. Govindasamy, M. Ganesan, R. Kannan and L. Kannan. 1993. Levels of trace metals (Mn, Fe, Cu y Zn) in some Indian seaweeds. *Mar. Poll. Bull.* 26(5): 283-285.
- Reid JR. J. L., G. I. And J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California Current System-Calif. *Coop. Oceanic Fisheries Invest. Progr. Rept., 1 July 1956 - 1 January 1958.* 27 - 57. In: D'anglejan, B. F. 1967. Origin of marine phosphorites off Baja California, Mexico. *Marine Geology.* 15 - 44.
- Riget, F., P. Johansen and G. Asmund. 1997. Baseline levels and natural variability of elements in three seaweed species from West Greenland. *Mar. Poll. Bull.* 34(3): 171-176.
- Rodríguez-Castañeda, A. P. 2001. *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, B.C.S. México. 179 p.
- Rodríguez-Figueroa, G., E. Shumilin, F. Páez-Osuna, E. Nava y D. Sapozhnikov. 1998. Ocurrencia de metales y metaloides en sedimentos superficiales de cuatro abanicos-deltas de la costa oriental de Baja California Sur. *Actas INAGEQ.* 4:43-50.
- Rodríguez-Figueroa, G. M. 2004. *Geoquímica de los oligoelementos, elementos mayores y elementos de las tierras raras, en los sedimentos marinos frente al distrito minero El Boleo en Santa Rosalía, B.C.S. México.* Tesis maestría. La Paz, B. C. S. 165 p.
- Rodríguez-Meza, G. 1999. *Elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, B. C. S., México.* Tesis Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S. México. 170 p.
- Román, G. R., S. G. Ribeiro and M. A. Arribére. 1995. Rare earth geochemistry of the upper Manso River basin, Río Negro, Argentina. *Earth and Planetary Science Letters.* 133: 47-57.
- Rosales H., L., A. Carranza, S. Arias y S. Santiago. 1992. Distribución de metales en sedimentos recientes del sureste del Golfo de México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. México. 19: 123-130.
- Rosales-Villa, A. R. 2004. *Dinámica de nutrimentos en Bahía Magdalena, B. C. S. México.* Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 104 p.
- Ross, T. S. and S. McLennan. 1985. *The continental crust: its composition and evolution: An examination the geochemical record preserved in sedimentary rocks.* Geoscience Texts. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Royal Marina Applications. 1998. *Sampling protocols and results appendix.* USACE Public notice #97-13010-Y2. The Gaia Institute. New York. 14 p.

- Saldierna-Martínez, R., C. Sánchez-Ortíz, G. Vera-Alejandre. 1987. *Estudios sobre los primeros estadios de la vida de las sarinas crinuda Opisthonema libertate y monterrey, Sardinops sagax en Bahía Magdalena, B.C.S.* Tesis de Licenciatura. UABCS. 217 p.
- Salinas-González, F. 1987. Cálculo de corrientes geostróficas e inducidas por el viento frente a Bahía Magdalena a partir de datos del crucero. CICIMAR-8502. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 116 p.
- Salomons W. and U. Förstner. 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer-Verlag. Germany. 349 p.
- Sánchez-Ortíz, C. y J. Gómez-Gutierrez. 1992. Distribución y abundancia de los estadios plactónicos de la jaiba *Callinectes bellicosus* (Decapoda: Portunidae), en el complejo lagunar Bahía Magdalena, B.C.S. México. *Rev. Int. Cient.* 3(1): 47-60
- Sánchez-Rodríguez, I., M. C. Fajardo-León y C. Oliveiro-Pantoja. 1989. Estudio florístico estacional de las algas en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Investigaciones Marinas.* 4(1): 35-48.
- Sanchez-Rodríguez, I. 1995. Fenología de *Sargassum sinicola* (Setchell y Gardner) en Bahía Magdalena, B.C.S. México. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. 84 p.
- Santa María-Gallegos, N. A. 1996. *Ciclo de crecimiento y fenología de la fanerogama Zostera marina L. en Punta Arena, Bahía Concepción.* Tesis maestría. CICIMAR. La Paz, B.C.S. México. 97 p.
- Sarmani, S. B. 1989. The determination of heavy metals in water, suspended materials and sediments from Langat River, Malaysia. *Hydrobiologia.* 176: 233-238.
- Sawadis, Th. Y A. N. Voulgaropoulos. 1986. Seasonal bioaccumulation of iron, cobalt and Koper in marine algae from Thermaikos Gulf of the Northern Aegean Sea, Greece. *Mar. Environ. Res.* 19: 39-47.
- Schlesinger, H. W. 1997. *Biogeochemistry. An analysis of global change.* Academic Press. California. 588 p.
- Schwimer, S. R. 1974. Trace metal levels in three subtidal invertebrates. *The Veliger.* 16: 95-102.
- Seeliger, U. and P. Edwards. 1977. Correlations coefficients and concentration factors of copper and lead in seawater and benthic algae. *Mar. Poll. Bull.* 8: 16-19.
- Seyler, P. and J. M. Martin. Distribution of arsenite and total dissolved arsenic in major French estuaries: dependence on biogeochemical processes and anthropogenic inputs. *Mar. Chem.* 29: 277-294.
- Shumilin, E., L. Gódinez-Orta, R. Cruz-Orozco, D. Sapozhnikov, S. Solís-Nuñez y Y. Sapozhnikov. 1996. Características litologo-geoquímicas de los sedimentos superficiales de Bahía Concepción, B.C.S. *Actas INAGEQ.* 2: 79-84.
- Shumilin, N. E., V. Camacho-Ibar, J. Carriquiry, D. Sapozhnikov, S. Kalmykov and Y. Sapozhnikov. 1998. Lead-210 chronology of trace element accumulation in sediment core from the upper Gulf of California. PICES 7th Annual meeting. Abstract. October 14-25. Fairbanks, Alaska, USA. 66p.
- Shumilin, E. N., G. Rodríguez-Figueroa, O. Morton-Bermea, E. Lounejeva, E. Hernández, G. Rodríguez-Meza. 2000. Anomalous trace elements composition of coastal sediments

- near the copper mining district of Santa Rosalía, Península of Baja California, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65: 261-268.
- Simkiss, K., M. Taylor and A. Z. Mason. 1982. Metal detoxification and bioaccumulation in molluscs. *Marine Biology Letters*. 3:187-201.
- Smil, V. 1997. *Cycles of life. Civilization and the biosphere*. Scientific American Library. New York. 221 p.
- Soto, J. M. F. 2002. *Procesos geoquímicos de metales y nutrientes en ambientes sedimentarios del sistema Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa*. Tesis de Doctorado. ICMYL. UNAM. Estac. Mazatlán. 205 p.
- Stengel, D. B., A. Macken, L. Morrison, N. Morley. 2004. Zinc concentrations in marine macroalgae and a lichen from western Ireland in relation to phylogenetic grouping, habitat and morphology. *Mar. Poll. Bull.* 48: 902 -909.
- Sturgeon R. and Sh. S. Berman. 1987. Sampling and storage of natural water for trace metals. C.R.C. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 18: 209-244
- Subramanian, V. and G. Mohanachandran. 1990. Heavy metals distribution and enrichment in the sediments of southern east coast of India. *Mar. Poll. Bull.* 21(7): 324-330
- Taylor, S. R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmoch. Acta.* 28: 1273-1285.
- Torres-Villegas, J. R., H. Chávez-Ramos, F. Galván-Magaña, J. Rodríguez-Romero y L. A. Abitia-Cardenas. 1987. Inventario ictiológico de Bahía Concepción, B. C. S. Informe técnico. CICIMAR. 38 p.
- Turner, D. R. 2000. Trace metal contamination in sediments from U.K. estuaries: an empirical evaluation of the role hydrous iron and manganese oxides. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 50: 355-371
- Valiela, I. 1984. *Marine ecological processes*. Springer-Verlag. U.S.A. 546 p.
- Verdugo-Díaz, G. 1997. *Cambios estacionales del fitoplancton y de la composición bioquímica del material orgánico particulado en Bahía Concepción, B.C.S.* Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 100 p.
- Villanueva S. y A. Botello. 1998. Metal pollution in coastal areas of Mexico. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 157: 53-94.
- Villares, R. , x. Puente, a. Carballeira. 2002. Seasonal variation and background levels of heavy metals in two green seaweeds. *Environ. Poll.* 119: 79 - 90.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degthareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid filtration method. *Soil Science.* 27: 29-38.
- Wallmann, K., W. Petersen, C. Reiners and H. Gramm. 1996. Trace element diagenesis in polluted sediments of the River Elbe Estuary. In: Calmano, W. and U. Förstner. *Sediments and toxic substances. Environmental effects and ecotoxicity*. Springer. Germany. 335 p.
- Ward, M. D., A. K. Ward, c.N. Dahm and N. G. Aumen. 1994. Origin and formation of organic and inorganic particles in aquatic systems. 45-73 p. **In:** Wotton, R. S. *The biology of particles in aquatic systems*. Lewis publishers. Florida. 325 p.
- Warren, L. a. and A. P. Zimmerman. 1993. Trace element-suspended particulate matter associations in a fluvial system: physical and chemical influences. 127-155. **In:** Rao, S. S. 1993. *Particulate matter and aquatic contaminants*. Lewis Publishers. USA. 216 p.

- Watkins, R. T., Y. Nathan and J. M. Bremner. 1995. Rare earth in phosphorite and associated sediments from the Namibian and South African continental shelves. *Mar. Geol.* 129: 111-128.
- Windom, H. L., S. J. Schropp, F.D. calder, J. D. Ryan, R. G. Smith, L. C. Burney, F. S. Lewis and C. H. Rawlinson. 1989. natural trace metal concentrations in estuarine coastal marine sediments of the southeastern United State. *Environ. Sci. Technol.* 23: 314-320
- Wotton, R. S. 1994. The classification of particulate and dissolved matter. 1-6. **In:** Wotton, R. S. *The biology of particles in aquatic systems*. Lewis publishers. Florida. 325 p.
- Yen, T. F. and J. I. S. Tang. 1977. *Chemical aspects of marine sediments. 1-38 p. In: Yen, T. F. Chemistry of marine sediments*. Ann. Arbor. Science. Michigan. 265 p.
- Yim, W. W. 1976. Heavy metal accumulation in estuarine sediments in a historical mining of Cornwall. *Mar. Poll. Bull.* 7: 147-150.
- Zaitsev, O. , R. Cervantes-Duarte, O. Montante y A. Gallegos-García. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific Shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography*. 59: 489-502.