

INFLUENCIA DE LAS FUENTES GEOTERMALES E HIDROTERMALES SOBRE LA BIOGEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA EN LA BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

MARIA LUISA LEAL ACOSTA

LA PAZ, B.C.S., MAYO DEL 2012

I.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las <u>12:00</u> horas del día <u>26</u> del mes de <u>Marzo</u> del <u>2012</u> se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de <u>CICIMAR</u> para examinar la tesis titulada:

"INFLUENCIA DE LAS FUENTES GEOTERMALES E HIDROTERMALES SOBRE LA BIOGEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA EN LA BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE CALIFORNIA"

materno

Presentada por el alumno:

LEAL	ACOSTA

Apellido paterno

MARÍA LUISA nombre(<u>s)</u>

Con registro: B

0 8

2

1

7

4

Aspirante de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

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

> LA COMISION REVISORA Director(a) de Tesis

DR. EVGUENI CHOUMILINE

DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO

DRA.CHRISTINE JOHANNA BAND SCHMIDT

DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

DR. SILVERIO LÓPEZ LÓPEZ

PRESIDENTE DEL COLÉGIO DE PROFESORES DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ

IPN CICIMAR DIRECCION

SIP-14



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

 En la Ciudad de
 La Paz, B.C.S.,
 el día
 03
 del mes
 Mayo
 del año
 2012

 el (la) que suscribe
 MC. MARÍA LUISA LEAL ACOSTA
 alumno(a) del

 Programa de
 DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
 alumno(a) del

 con número de registro
 B081274
 adscrito al
 CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

 manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
 DR. EVGUENI CHOUMILINE

y cede los derechos del trabajo titulado:

"INFLUENCIA DE LAS FUENTES GEOTERMALES E HIDROTERMALES SOBRE LA BIOGEOQUÍMICA

DE ELEMENTOS TRAZA EN LA BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE 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. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: <u>maluleal40@yahoo.com.mx</u> – <u>eshumili@ipn.mx</u>

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

MC. MARÍA LUISA LEAL ACOSTA

nombre y firma

INDICL
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABLAS
RESUMEN
ABSTRACT xxiii
1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES
2.1. Antecedentes generales 4
2.1.1. Generalidades sobre la biogeoquímica de los elementos traza en el medio marino4
2.1.2. Generalidades sobre la biogeoquímica de los elementos traza en el medio marino
2.1.3. Estudios de elementos traza en ambientes hidrotermales someros 8
2.2. Antecedentes regionales 10
2.2.1. Estudios sobre la biogeoquímica de elementos traza en zonas adyacentes al Golfo de California10
3. JUSTIFICACIÓN
4. HIPÓTESIS
5. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES
5.1. Objetivo general
5.2. Objetivos particulares15
6. ÁREA DE ESTUDIO
6.1. Ubicación y clima
6.2. Características hidrológicas de la Bahía Concepción
6.3. Geología de las rocas adyacentes a la Bahía Concepción
6.4. Actividad tectónica y origen de los manantiales geotermales y ventilas hidrotermales someras en la Bahía Concepción
7. MATERIALES Y MÉTODOS
7.1. Estaciones de muestreo 25
7.1.1. Muestreo de agua y materia suspendida particulada (MSP) en las áreas contrastantes de Bahía Concepción25
7.1.2. Muestreo de materia particulada en hundimiento al sur de la Bahía Concepción (T1)

ÍNDICE

7.1.3. Muestreo de sedimentos superficiales y núcleos de sedimento en áreas contrastantes de Bahía Concepción
7.1.4. Muestreo de macroalgas en áreas contrastantes de Bahía Concepción
7.1.5. Muestreo de zooplancton en la Bahía Concepción
7.2. Pretratamiento de las muestras
7.2.1. Agua, materia suspendida particulada y materia particulada en hundimiento
7.2.2. Sedimentos superficiales y núcleos de sedimento
7.2.3. Macroalgas (Sargassum sinicola) y zooplancton
7.3. Análisis de tamaño de grano de los sedimentos superficiales
7.4. Procedimientos analíticos para la determinación de elementos traza en las diferentes muestras colectadas
7.4.1. Determinación de Cu, Fe y Mn disueltos en fluidos hidrotermales y agua de mar
7.4.2. Determinación de As y Hg disueltos en fluidos hidrotermales y agua de mar
7.4.3. Determinación de elementos traza particulados en fluidos hidrotermales y agua de mar
7.4.4. Determinación de As y Hg particulados en fluidos hidrotermales y agua de mar
7.4.5. Digestión total y medición por ICP-MS de elementos traza en los sedimentos superficiales y los núcleos
7.4.6. Análisis de componentes mayores en sedimentos superficiales por fluorescencia de rayos X
7.4.7. Determinación de carbono orgánico y carbonatos en los sedimentos superficiales y núcleos
7.4.8. Determinación de la tasa de sedimentación en el núcleo NT
7.4.9. Análisis de activación neutrónica de elementos traza en la materia particulada en hundimiento y sedimentos superficiales de Santispac
7.4.10. Análisis de elementos traza en macroalgas y zooplancton 50
7.4.11. Determinación de Hg en macroalgas y medición por espectrofotometría de absorción atómica
7.5. Procesamiento estadístico de los datos geoquímicos
8. RESULTADOS
8.1. Elementos en las aguas de diferente composición

8.1.1. Elementos traza disueltos en áreas contrastantes de Bahía Concepción 8.2. Elementos traza en la materia suspendida particulada de las áreas 8.2.3. Zona adyacente a las fuentes geotermales en la Ensenada de Santispac69 8.2.4. Zona adyacente a las fuentes hidrotermales someras en Mapachitos . 72 8.2.5. Zona adyacente a las fuentes de aguas subterráneas en El Remate .. 75 8.2.6. Elementos de tierras raras en las partículas de Bahía Concepción..... 78 8.2.6.3. Zona adyacente a las fuentes geotermales en la Ensenada de 8.2.6.4. Zona adyacente a las fuentes hidrotermales someras en 8.2.6.5. Zona adyacente a las fuentes de aguas subterráneas en El Remate 8.3.1. Contenidos de lantánidos y patrones normalizados en la MPH de Bahía 8.4. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales de áreas contrastantes de 8.4.1.Tamaño de grano de los sedimentos superficiales de la Ensenada de 8.4.2. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales de Mapachitos 95 8.4.3. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales advacentes a la 8.5. Geoquímica de sedimentos superficiales de áreas contrastantes de la Bahía 8.5.1. Geoquímica de sedimentos en los manantiales geotermales y zona 8.5.1.1. Factor de enriquecimiento en los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac 108

8.5.1.2. Contenidos de los lantánidos en los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac..... 110 8.5.1.3. Asociación entre los ET usando el análisis de factores por el método de componentes principales 112 8.5.2. Geoquímica de sedimentos de las ventilas hidrotermales someras y 8.5.2.1. Factor de enriquecimiento en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales y zona advacente 122 8.5.2.2. Asociación entre los ET usando el análisis de factores por el método de componentes principales 124 8.5.2.3. Contenidos de los lantánidos en los sedimentos superficiales de la 8.5.3. Geoquímica de sedimentos de la zona con influencia de aguas subterráneas......129 8.5.3.1. Factor de enriquecimiento en los sedimentos superficiales del 8.5.3.2. Asociación entre los ET usando el análisis de factores por el método de componentes principales 138 8.5.3.3. Contenidos de los lantánidos en los sedimentos superficiales del 8.5.4. Geoquímica de los sedimentos superficiales advacentes a la Península Concepción......141 8.5.4.1. Factor de enriquecimiento de ET en los sedimentos adyacentes a la 8.5.4.2. Asociación entre los ET usando el análisis de factores por el método de componentes principales 148 8.5.4.3. Contenido de los lantánidos en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción 150 8.6. Geoquímica de los núcleos de sedimento colectados en Bahía 8.6.1. Geoquímica del núcleo colectado en la parte central-sur de la Bahía 8.6.1.1. Factor de enriquecimiento de ET en la composición del núcleo NT 8.6.1.2. Contenidos de lantánidos y patrones normalizados con NASC de los sedimentos del núcleo NT......163 8.6.1.3. Asociación de elementos traza en el núcleo NT aplicando el análisis

8.6.1.4. Fechación del núcleo NT con el método del ²¹⁰ Pb
8.6.2. Geoquímica del núcleo de sedimento adyacente al manantial geotermal en Santispac
8.6.2.1.Factor de enriquecimiento de ET en la composición del núcleo NM173
8.6.2.2. Contenidos de lantánidos de los sedimentos del núcleo NM 177
8.6.2.3. Asociación de elementos traza en el núcleo NM aplicando el análisis de factores
8.7. Macroalgas como bioindicadores de los contenidos de ET en Bahía Concepción
8.7.1. Composición elemental de las macroalgas
8.7.2. Contenidos y patrones normalizados con NASC de los lantánidos en las macroalgas
8.7.3. Aplicación del análisis de factores sobre los valores de la composición elemental de las macroalgas
8.8. Zooplancton como bioindicador de los contenidos de ET en Bahía Concepción
8.8.1. Contenidos de elementos traza en el zooplancton de la costa oeste de Bahía Concepción
8.8.2. Factores de enriquecimiento de ET en el zooplancton colectado en la costa este de Bahía Concepción
8.8.3. Patrones de los lantánidos normalizados con la lutita nortemericana en el zooplancton
9. DISCUSIÓN
9.1. Comportamiento de los elementos traza disueltos y particulados en la columna de agua de Bahía Concepción201
9.1.1.Generalidades de elementos disueltos y particulados en la columna de agua de Bahía Concepción201
9.1.2. Geoquímica de la materia suspendida particulada de la Bahía Concepción204
9.2. Flujos de elementos traza en la materia particulada en hundimiento y los sedimentos del sur de Bahía Concepción
9.2.1. Comparación de los flujos de Fe en el material particulado atmosférico, en la MPH y en los sedimentos
9.2.2. Flujos de elementos en el MPH y en el núcleo sedimentario 213
9.3. Zonas de descargas en la Bahía Concepción y su influencia en el ambiente marino adyacente

9.3.1. Los ambientes geotermales e hidrotermales en Bahía Concepción y sus analogías con ambientes similares
9.3.2. Los elementos disueltos y particulados como indicadores de influencia hidrotermal
9.3.2.1. Elementos disueltos As, Fe, Hg y Mn
9.3.2.2. Influencia de las fuentes geotermales e hidrotermales sobre los sedimentos adyacentes
9.4. Bioindicadores de los contenidos de elementos traza en la costa oeste de la Bahía Concepción
9.4.1. Indicación de la influencia de los fluidos geotermales e hidrotermales con el uso de las macroalgas Sargassum sinicola
9.4.1.1. Influencia de las fuentes geotermales e hidrotermales sobre la composición de los elementos potencialmente tóxicos en las macroalgas de Bahía Concepción
9.4.2. El zooplancton como bioindicador del comportamiento de ET en la costa oeste de la Bahía Concepción233
9.5. Efectos de las condiciones de oxidación-reducción en una columna sedimentaria (Caso de estudio: Núcleo de sedimento adyacente a los manantiales geotermales en Santispac)
10. CONCLUSIONES
11. BIBLIOGRAFÍA
11. ANEXOS
Anexo 1. Coordenadas de los sitios de muestreo
Anexo 2. Contenido de elementos en la materia suspendida particulada 266
Anexo 3. Contenido de elementos en los sedimentos superficiales 274
Anexo 4. Contenido de elementos en los núcleos de sedimento
Anexo 5. Contenido de elementos en las macroalgas Sargassum sinicola 312
Anexo 6. Contenidos de elementos en el zooplancton
Anexo 7. Perfiles de temperatura y salinidad de la columna de agua de Bahía Concepción (datos de CTD)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio 17
Figura 2. Batimetría de la Bahía Concepción (tomada de Gutiérrez de Velasco,
datos no publicados)
Figura 3. Campos de flujo promedio medidos en diferentes capas de la columna
del agua en Bahía Concepción: a) a 3 m de profundidad y b) a 15 m de
profundidad (Gutiérrez de Velasco, datos no publicados) 19
Figura 4. Carta geológico minera de la Bahía Concepción (tomado de Carta
geológico-minera LORETO G12-5, 2002) 21
Figura 5. Mapa geológico de Bahía Concepción modificado de McFall (1968)
mostrando los principales fallas geológicas que rodean a la Bahía Concepción
(González-Yajimovich <i>et al.</i> , 2010)
Figura 6. Corte geológico conceptual del área de Bahía Concepción (tomado de
Prol-Ledesma et al., 2004)
Figura 7. Estructura de manifestaciones geotermales intermareales de la estación
CV1 (tomada de Canet y Prol-Ledesma, 2006)24
Figura 8. Estaciones de muestreo de agua y materia suspendida particulada en
áreas contrastantes de Bahía Concepción
Figura 9. Ubicación geográfica de la trampa de sedimento colocada en Bahía
Concepción
Figura 10. Especificaciones de la trampa de sedimento colocada en Bahía
Concepción
Figura 11. Polígonos de muestreo de los sedimentos superficiales en áreas
contrastantes de la Bahía Concepción 30
Figura 12. Estaciones de muestreo de sedimentos superficiales de los
manantiales geotermales y zona adyacente a la playa Santispac (polígono A) 31
Figura 13. Estaciones de muestreo de sedimentos superficiales en el sitio de las
ventilas hidrotermales someras y zona adyacente (polígono B) 32
Figura 14. Estaciones de colecta de sedimentos superficiales: a) en la zona
adyacente a los pozos de aguas subterráneas (polígono C) y b) a lo largo de la
costa occidental de la parte central de la Península Concepción (polígono D) 33

Figura 15. Ubicación de las estaciones de colecta de núcleos de sedimentos en la
Bahía Concepción
Figura 16. Estaciones de muestreo de macroalgas en la zona adyacente a los
manantiales geotermales en Santispac
Figura 17. El sitio y transectos de muestreo de zooplancton en la Bahía
Concepción
Figura 18. Patrones de lantánidos/NASC en la estación T1: a) 2 de junio 2010; b)
23 de mayo 2011 80
Figura 19. Patrones de lantánidos/NASC en la MSP de la estación T2: a) 2 de
junio 2010; b) 23 de mayo 2011 81
Figura 20. Patrones de lantánidos/NASC en la estación W1: a) 2 de junio 2010; b)
23 de mayo 2011
Figura 21. Patrones de lantánidos en la MSP de los manantiales geotermales y la
laguna en Santispac: a) 2 de junio 2010; b) 23 de mayo 2011
Figura 22. Patrones de lantánidos/NASC del MPH de Bahía Concepción: a)
primer periodo; b) segundo periodo
Figura 23. Patrones normalizados de lantánidos/NASC de los sedimentos bajo la
trampa de sedimentos (estación T1)91
Figura 24. Factor de enriquecimiento promedio de los elementos en la MPH en
los dos periodos de estudio92
Figura 25. Flujos de elementos traza en el MPH de la trampa sedimentaria 93
Figura 26. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales de la
Ensenada de Santispac
Figura 27. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales de
Mapachitos
Figura 28. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales del
área adyacente a la península Concepción96
Figura 29. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales del
área adyacente al Remate
Figura 30. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales
geotermales y zona adyacente: a) material litogénico y b) carbonatos de calcio 101

Figura 31. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales Figura 32. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona advacente: a) manganeso y b) la razón Mn/Sc..... 104 Figura 33. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales Figura 34. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) arsénico y b) mercurio 106 Figura 35. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) la razón As/Sc y b) la razón Hg/Sc..... 107 Figura 36. Valores del logaritmo del factor de enriquecimiento (FE) en los sedimentos geotermales y zona adyacente 109 Figura 37. Patrones normalizados de lantánidos/NASC en sedimentos Figura 38. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos de los manantiales geotermales y zona adyacente (Factor 1 vs Factor 2) 114 Figura 39. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona advacente: a) carbonato de calcio y b) carbono Figura 40. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente: a) aluminio y b) fierro 119 Figura 41. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente: a) arsénico y b) mercurio 121 Figura 42. Log₁₀ del FE en los sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente......122 Figura 43. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente: a) FE As y b) FE Hg 123 Figura 44. Distribución espacial del FE de U en los sedimentos de las ventilas y

Figura 45. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente (Factor 1 vs Factor 2) 126 Figura 46. Patrones de lantánidos normalizados con lutita norteamericana en la composición de los sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente.128 Figura 47. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) Figura 48. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) Figura 49. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) Figura 50. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) Figura 51. Distribución espacial de los contenidos de Cd en los sedimentos Figura 52. Log₁₀ del FE en los sedimentos superficiales del Remate...... 137 Figura 53. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos superficiales del Remate (Factor 1 vs Factor 2) 139 Figura 54. Patrón de promedio de lantánidos normalizados con NASC en sedimentos del Remate......141 Figura 55. Distribución espacial en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción: a) carbonato de calcio y b) carbono orgánico...... 144 Figura 56. Distribución espacial de As en los sedimentos adyacentes a la Figura 57. Logaritmo del FE en los sedimentos advacentes a la Península Figura 58. Distribución espacial del FE en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción: a) cadmio y b) arsénico 147

Figura 59. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos Figura 60. Patrón de la composición promedio de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción......152 Figura 61. Perfil vertical del contenido de carbono orgánico y carbonato de calcio en el núcleo NT 153 Figura 62. Perfil vertical del contenido de Li y Fe en el núcleo NT colectado en la Figura 63. Perfiles verticales del contenido de U y Re en el núcleo NT colectado en la estación T1...... 155 Figura 64. Perfiles verticales de As y Hg en el núcleo NT colectado en T1 156 Figura 65. Perfil vertical del contenido de Cd y Pb en el núcleo NT 157 Figura 66. Perfiles verticales del Fe de elementos diluídos en el núcleo NT (1era Figura 67. Perfiles verticales del FE de elementos diluidos en el núcleo NT (2da Figura 68. Perfiles verticales del FE de elementos conservativos en el núcleo Figura 69. Perfiles verticales del FE de elementos enriquecidos en el núcleo NT161 Figura 70. Perfiles verticales del FE de elementos altamente enriquecidos en el Figura 71. Patrones de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en tres horizontes del núcleo NT 163 Figura 72. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental del núcleo NT (Factor 1 Figura 73. Modelo de regresión de la actividad de ²¹⁰Pb no soportado vs masa

Figura 74. Distribución vertical de C_{org} y CaCO ₃ en el nucleo NM adyacente al
manantial geotermal
Figura 75. Perfil vertical del contenido de Fe y Mn en el núcleo NM adyacente al
manantial geotermal
Figura 76. Perfil vertical del contenido de Cd y S en el núcleo NM adyacente al
manantial geotermal
Figura 77. Perfil vertical del contenido de Mo y V en el núcleo NM adyacente al
manantial geotermal
Figura 78. Perfil vertical del contenido de Hg y As (en Log ₁₀) en el núcleo NM
adyacente al manantial geotermal 172
Figura 79. Perfiles verticales de elementos diluidos en el núcleo NM 173
Figura 80. Perfiles verticales de FE para elementos clasificados como
conservativos del núcleo NM 174
Figura 81. Perfil vertical del FE para elementos clasificados como enriquecidos del
núcleo NM (1era parte) 175
Figura 82. Perfil vertical del FE para elementos clasificados como altamente
5
enriquecidos del núcleo NM 176
enriquecidos del núcleo NM

Figura 88. Patrones de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en la composición de las macroalgas Sargassum Figura 89. Patrones normalizados de los lantánidos/NASC en macroalgas Sargassum sinicola colectadas en la zona adyacente a los pozos de aguas Figura 90. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de las macroalgas Sargassum sinicola (Factor 1 vs Factor 2) 191 Figura 91. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton Figura 92. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton Figura 93. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton Figura 94. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton colectado a lo largo de la costa al sur de Mapachitos: a) Z-2 y b) Z-3 196 Figura 95. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton colectado en el Remate (zona de descargas de aguas subterráneas) 197 Figura 96. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton Figura 97. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton Figura 98. Patrones de lantánidos normalizados con los valores promedio para la Figura 99. Diagrama de dominio de hidroxo- y cloro-complejos de Hg (+2) como Figura 100. Comportamiento elementos redox sensibles en la columna Figura 101. Perfiles verticales de la razón de Cd/U y Cd/Ucorteza en el núcleo de

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de muestreo de agua y materia suspendida particulada en
Bahía Concepción
Tabla 2. Flujos de masa total (mg m ⁻² d ⁻¹) y periodos de colecta del MPH de Bahía
Concepción
Tabla 3. Coordenadas, distancia y tiempo de colecta del zooplancton en la costa
oeste de Bahía Concepción 36
Tabla 4. Valores de masa húmeda, masa seca y densidad aparente en el núcleo NT
NI
I abla 5. Parametros de control de calidad del analisis de elementos traza I abla 5. Parametros de control de calidad del analisis de elementos traza
alsueltos (Cu, Fe y Min)
I abla 6. Parametros de calidad del analisis de la composicion elemental de la MOD
MSP
Tabla 7. Porcentajes de recuperación y coeficientes de variación obtenidos del
análisis de ET en los sedimentos superficiales 46
Tabla 8. Límites de detección del análisis de componentes mayores por
fluorescencia de rayos X
Tabla 9. Exactitud y límites de detección de los elementos traza analizados por
activación neutrónica
Tabla 10. Parámetros de control de calidad en el análisis de elementos traza en
macroalgas
Tabla 11. Concentración de ET disueltos en agua colectada en zonas
contrastantes de Bahía Concepción56
Tabla 12. Proporción de ET (As, Cu, Fe y Mn) en su forma disuelta y particulada
de aguas con diferente composición de Bahía Concepción (colecta el 23 de mayo
del 2011)
Tabla 13. Concentraciones y las contribuciones relativas de Hg (disuelto y
particulado) en los fluidos geotermales, hidrotermales y agua del mar de Bahía
Concepción (colecta el 23 de mayo del 2011) 61
Tabla 14. Composición elemental de la MSP en la estación T1 (centro sur de la
Bahía Concepción)

Tabla 15. Composición elemental de la MSP en la estación T2 (centro de la Bahía
Concepción)
Tabla 16. Composición elemental de la MSP en la estación W1 (zona hidrotermal
en Mapachitos)
Tabla 17. Composición elemental de la MSP adyacente a los manantiales
geotermales y la laguna adyacente (**µg kg-1; mg kg-1; * en %)
Tabla 18. Composición elemental de la MSP en pozos de agua subterránea al sur
de la Bahía Concepción (mg kg-1; * en %)77
Tabla 19. Flujos de masa total (mg m ⁻² d ⁻¹) de la MPH colectada en Bahía
Concepción
Tabla 20. Contenido de elementos mayores (Fe y Mn en %), traza (mg kg ⁻¹) y
porcentaje de material litogénico en MPH y sedimentos superficiales de Bahía
Concepción
Tabla 21. Elementos mayores Fe y Ca (%) y elementos traza (mg kg ⁻¹ ; excepto Hg
μ g kg ⁻¹) de los sedimentos superficiales en Santipac (¹ Taylor, 1964)
Tabla 22. Composición elemental de la costra colectada en el manantial geotermal
S26 (mg kg-1; excepto Mn y SiO ₂ en %) $^1 (Taylor, 1964) \ \ldots \ 100$
Tabla 23. Contenido de los lantánidos (mg kg ⁻¹) en sedimentos de los manantiales
geotermales y la zona adyacente (mínimo-máximo/promedio ± desviación
estándar) 110
Tabla 24. Resultado del análisis de factores por componentes principales en
sedimentos de los manantiales geotermales y zona adyacente 113
Tabla 25. Componentes y elementos mayores (%) y elementos traza (mg kg ⁻¹ ,
excepto Hg en μ g kg ⁻¹) en sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona
adyacente (min-max/promedio±D E) 116
Tabla 26. Resultado del análisis de factores por ACP aplicado al contenido
elemental de los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales y zona
adyacente125
Tabla 27. Contenido de elementos de tierras raras en los sedimentos de las
ventilas hidrotermales y zona adyacente (mg kg ⁻¹)

Tabla 28. Contenidos de carbonatos, carbono orgánico y elementos mayores y
traza en sedimentos superficiales del sur de la Bahía Concepción (El Remate). 130
Tabla 29. Cargas para cada factor resultado del análisis de factores aplicado a la
composición de los sedimentos del Remate 138
Tabla 30. Contenido de los lantánidos en los sedimentos superficiales del sur de la
Bahía Concepción en El Remate (mg kg ⁻¹) 140
Tabla 31. Contenido de carbonatos, carbono orgánico, elementos mayores y traza
en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción (mg kg-1; *
en %)
Tabla 32. Cargas de los factores resultados del análisis de factores aplicado a la
composición de los sedimentos adyacentes a la Península Concepción149
Tabla 33. Contenido de los lantánidos en los sedimentos superficiales adyacentes
a la Península Concepción (mg kg ⁻¹) 151
Tabla 34. Cargas de los factores resultados del análisis de factores aplicado sobre
la composición elemental de núcleo NT 164
Tabla 35. Resultado del análisis de factores por el método de ACP aplicado a la
composición elemental del núcleo NM 179
Tabla 36. Composición elemental en las macroalgas Sargassum sinicola en las
zonas de estudio en Bahía Concepción 181
Tabla 37. Composición de los lantánidos en las macroalgas Sargassum sinicola
de Bahía Concepción
Tabla 38. Cargas de los factores como resultado del análisis de factores por ACP
aplicado al contenido elemental de las macroalgas Sargassum sinicola 190
Tabla 39. Composición elemental promedio de zooplancton colectado en Bahía
Concepción 192
Tabla 40. Concentraciones de As, Cu, Hg, Fe y Mn disuelto en las estaciones T1 y
T2 y su relación con otras áreas
Tabla 41. Comparación de la MSP en diferentes océanos y zonas costeras del
mundo (ng l ⁻¹)
Tabla 42. Comparación de flujos de material particulado en hundimiento

RESUMEN

Con el objetivo de conocer la influencia de los manantiales geotermales, ventilas hidrotermales someras y descargas de aguas subterráneas sobre la distribución de elementos traza en el agua de mar, materia suspendida particulada, materia particulada en hundimiento, sedimentos (superficiales y núcleos) macroalgas y zooplancton fue realizado este estudio tomando en cuenta las condiciones redox de la bahía. Los elementos disueltos Fe, Mn y Cu fueron analizados usando como preconcentración la resina Chelex-100 y medida por EAA. Fue determinada la concentración total de Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Rb, Ti, U, V y Zn en filtros secos para materia suspendida particulada y materia particulada en hundimiento. Estos elementos también fueron analizados en muestras de sedimentos, macroalgas (secas y homogenizadas) por ICP-AES e ICP-MS después de la digestión por una mezcla caliente de cuatro ácidos fuertes concentrados (HCIO₄, HNO₃, HCI y HF). Arsénico y Hg fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica después de digestión suave y generación de hidruros para As o el Hg elemental, respectivamente. El contenido de carbono orgánico e inorgánico también fue medido en los sedimentos superficiales y los nucleos con un detector infrarojo. Los resultados obtenidos demuestran que los sedimentos de los tres manantiales del manglar de la plava Santispac están enriquecidos en Hg (0.55 - 25.16 mg kg⁻¹). La concentración de estos elementos decrece rápidamente en los sedimentos de la laguna de manglar (0.023-0.233 mg kg⁻¹) y esta en el rango de 0.006 - 0.060 mg kg⁻¹ en los sedimentos marinos colectados frente a la playa Santispac. El arsénico desplegó elevados contenidos en los sedimentos de los manantiales geotermales (13.4 - 111.2 mg kg⁻¹), bajos niveles en los sedimentos de la laguna de manglar (0.7-2.6 mg kg⁻¹) y en los sedimentos marinos de la zona adyacente a la playa Santispac $(1.4 \pm 1.1 \text{ mg kg}^{-1})$. Altos valores de As (207 mg kg⁻¹) y Hg (143062 µg kg⁻¹) fueron encontrados en sedimentos del sitio hidrotermal en Mapachitos en la costa nor-occidental de la bahía. La concentración promedio de As (3.1 mg kg⁻¹), Cd (0.98 mg kg⁻¹), Hg (52 µg kg⁻¹) y Ca (28.3%) en sedimentos de esta área, están por arriba del valor promedio para la corteza terrestre (altamente enriquecidos de acuerdo a sus valores de FE). Estos resultados confirman que existe cierta influencia hidrotermal sobre los sedimentos adyacentes, principalmente para As y Hg. Bario, Co, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Rb, Ti, U, V y Zn son conservativos (FE 1-2) en los sedimentos superficiales. La concentración de los principales elementos estudiados en las macroalgas Sargassum sinicola resultó no estadísticamente diferente entre las áreas con descargas geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas, con excepción de los contenidos de As, Cs, Ge, Hg y Sb que desplegaron gran heterogeneidad entre las muestras. La alta concentración de estos cinco elementos fue detectada en macroalgas del norte y sur de Mapachitos en el sitio de las ventilas someras gaso-hidrotermales con baja temperatura. Los elementos potencialmente tóxicos arsénico y mercurio presentan elevados niveles en Sargassum sinicola (22-640 mg kg⁻¹ and 14-95 µg kg⁻¹ respectivamente) con máximas concentraciones en especímenes colectados cerca de los puntos de descarga hidrotermal. Arsénico es alto en Sargassum sinicola del área hidrotermal y un similar patrón de distribución espacial fue encontrado para Cs, Ge, y Sb. Las fuentes geotermales intermareales parecen ser la principal fuente de mercurio para Sargassum sinicola. Las muestras de macroalgas (Sargassum sinicola) colectadas en el área de descarga de aguas subterráneas tienen baja concentración de As y Hg contenidos de Fe, Ni, Pb, Sc, Sn, V y Zn. El zooplancton colectado en la costa oeste de Bahía Concepción mostró FE altamente enriquecido principalmente en las areas con descargas de fluidos geotermales e hidrotermales.

ABSTRACT

With the objective to know the influence of geothermal hot springs, shallow hydrothermal vents and groundwater discharges about the distribution of trace elements in seawater, suspended particulate matter, settling particulate matter, seaweeds, sediments (surficial and cores) and zooplankton was realized this study taking into account the redox conditions of the bay. The dissolved elements Fe, Mn and Cu were analyzed using the preconcentration with Chelex-100 resin and measured by EAA. The bulk concentrations of Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Rb, Ti, U, V y Zn in the dried filters for suspended particulate matter and settling particulate matter were measured. These elements also were measured in samples of sediments, seaweeds and zooplankton (dried and homogenized) by ICP -AES and ICP-MS after the digestion by a hot mixture of four concentrated strong acids (HCIO₄, HNO₃, HCI and HF). Arsenic and Hg were measured by atomic absorption spectrophotometry after soft digestion and generation of hydrides of As or elemental Hg respectively. The content of organic and inorganic carbon also was measured in surficial sediments and sediment cores by infrared detector. The obtained results show that the sediments of three geothermal springs of the mangroves of the Santispac beach are enriched in Hg (0.55 - 25.16 mg kg⁻¹). The concentration of this element decreases rapidly in the sediments of the mangroves lagoon (0.023-0.233 mg kg⁻¹) and is in the range 0.006 - 0.060 mg kg⁻¹ in the marine sediments collected in front of Santispac beach. The arsenic displayed elevated contents in the sediments of the geothermal springs (13.4 - 111.2 mg kg⁻¹), low levels in the sediments of the mangrove lagoon (0.7-2.6 mg kg⁻¹) and in the marine sediments of a zone adjacent to Santispac beach (1.4 \pm 1.1 mg kg⁻¹). High values of As (207 mg kg⁻¹) and Hg (143062 μ g kg⁻¹) were found in sediments of the hydrothermal site. The average concentrations of As (3.1 mg kg⁻¹), Cd (0.98 mg kg⁻¹), Hg (52 μ g kg⁻¹) and Ca (28.3%) are above their earth's crust average values (highly enriched according to their EFs). These results confirm than certain hydrothermal influence on the adjacent sediments, mainly for As and Hg. Barium, Co, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Rb, Ti, U, V and Zn are conservative (EF 1-2) in the surficial sediments. The concentrations of most of the studied elements in the seaweed Sargassum sinicola resulted not statistically different between the areas with geothermal, hydrothermal and groundwater discharges, with exceptions are the contents of As, Cs, Ge, Hg and Sb that displaying larger heterogeneity between samples. The highest concentrations of these five elements were detected in seaweeds to the north and south of the Mapachitos shallow underwater low temperature gas-hydrothermal venting site. The potentially toxic elements arsenic and mercury presented elevated levels in Sargassum sinicola (22-640 mg kg⁻¹ and 14-95 µg kg⁻¹ respectively) with maximum concentrations in specimens, collected near the hydrothermal discharge point. Arsenic is high in Sargassum sinicola from the hydrothermal area and similar spatial distribution pattern was found for Cs, Ge and Sb. The intertidal geothermal sources seem to be the principal suppliers of mercury for Sargassum sinicola. The seaweed samples (Sargassum sinicola) collected in the groundwater discharge area have lower concentrations of As and Hg, but somewhat higher contents of Fe, Ni, Pb, Sc, Sn, V and Zn. The zooplankton collected in the western coast of Bahía Concepción showed highly EF enriched of trace elements mainaly in areas of geothermal hydrothermal fluids discharges. and

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos dependen de un sin número de interacciones entre el continente, la atmósfera, columna de agua y el fondo oceánico (Schlesinger, 1996). Dichas interacciones dominan las condiciones físicas, químicas, biológicas y geológicas de los ambientes marinos y el estudio de este tipo de interacciones es el objetivo principal de la biogeoquímica marina (Libes, 2003). En los años 1950's aumentó el interés sobre la importancia de la química del océano y el comportamiento de los elementos tanto en la columna de agua del mar y sus componentes, así como el fondo oceánico (Salomons y Förstner, 1984). Se identificó un grupo especial de elementos presentes en concentraciones menores a 100 µmol kg⁻¹ al que se le atribuyó el término de elementos traza (ET) (Libes, 2003). Una vez aportados al océano, los ET interactúan en una amplia variedad de procesos dependiendo de sus características químicas, ya sea participando como micronutrientes para organismos como el plancton, otros incorporándose dentro del material particulado tanto en suspensión, como en hundimiento hasta formar parte de los sedimentos marinos, entre otros procesos (Libes, 2003). De tal manera que los ET participan activamente dentro de los ciclos biogeoquímicos en el agua de mar y los sedimentos, que a su vez son fuertemente controlados por procesos biológicos que median las reacciones redox y la formación y agregación del material particulado (Libes, 2003). La mayoría de las fuentes naturales de ET que ocurren en el océano, ya han sido identificadas, tales como el aporte fluvial, aporte atmosférico, las aguas subterráneas y los fluidos geotermales e hidrotermales (Chester, 2003). En algunos estudios sobre la contribución que estas fuentes de ET tienen sobre el océano mundial, se han encontrando que los aportes son comparables en valores promedio (Chester, 2003). Específicamente los aportes hidrotermales de mar profundo se encuentran en igual magnitud comparando con aportes atmosféricos y fluviales para algunos ET como Cu, Fe, Mn, Pb y Zn. Se ha visto también, que las zonas hidrotermales tienen condiciones tan especificas que algunos organismos han sido capaces de adaptarse a condiciones anóxicas, con altas temperaturas y sin luz (Rona et al., 2010). Sin embargo queda la incógnita respecto a qué efecto tiene este tipo de fuentes en la zona costera sobre la biogeoquímica marina del ecosistema adyacente. Al igual que en el océano profundo, tales manifestaciones en las costas, están asociadas a zonas tectónicamente activas y se denominan ambientes hidrotermales someros a aquellos que se encuentran a profundidades menores a 200 m en el océano (Canet y Prol-Ledesma, 2006). El interés por conocer la influencia de los aportes de fluidos geotermales e hidrotermales se basa en cuestiones principalmente ambientales, ya que dentro de los ET aportados desde los fluidos se incluyen a los elementos potencialmente tóxicos (EPT). Entre los de mayor riesgo ambiental se toman en cuenta al As y Hg, ya que estos elementos son asimilados y bioacumulados por los organismos que viven en la zonas adyacentes a las fuentes. Debido a esto la aplicación de los estudios biogeoquímicos de los ET en las zonas costeras, es una herramienta útil para describir las condiciones ambientales de una bahía en particular. En la península de Baja California, las zonas costeras tienen una menor densidad de población en comparación con el resto del país, por lo que la entrada de ET de origen antropogénico es menos intensa, sin embargo por encontrarse en una zona tectónicamente activa, el aporte de ET debido a procesos geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas es evidente, como es el caso de la Bahía Concepción, donde se han reportado tales manifestaciones (Prol-Ledesma et al., 2004; Leal-Acosta et al., 2010). Estas características, aunado a la débil interacción con el Golfo de California, convierte a esta bahía prístina un sitio ideal para el estudio de la biogeoquímica de los elementos ET, como ciencia básica y a su vez como herramienta ambiental para evaluar, si existen efectos de las fuentes geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas sobre el ambiente marino adyacente. En este trabajo se incluyen los estudios sobre la composición elemental de los fluidos geotermales e hidrotermales y se compara con el agua marina adyacente a las fuentes. Se estudio también, la composición elemental de las partículas y sedimentos de las posibles áreas de influencia. Para conocer el efecto de los fluidos sobre los organismos se analizó la composición de ET de las macroalgas (Sargassum sinicola) y el zooplancton, colectados en las mismas áreas de colecta de partículas y sedimentos. Para complementar el trabajo, se

incluyó el estudio sobre la materia particulada en hundimiento (MPH) en el periodo comprendido del 22 de mayo de 1996 al 22 de marzo de 1999, esto con el fin de conocer el flujo de elementos hasta la columna sedimentaria. Se describen además, dos núcleos de sedimento, uno en la zona de colecta de MPH, el cual también fue fechado para obtener la tasa de sedimentación y los flujos de ET dentro del sedimento. El otro núcleo tomado en el manantial geotermal (en la ensenada de Santispac) se analizó para conocer la distribución vertical de los ET aportados por el manantial a la columna sedimentaria. De esta manera se pretende dar un panorama amplio sobre la biogeoquímica de los ET en la Bahía Concepción, con el interés de conocer la influencia de las fuentes geotermales e hidrotermales sobre las áreas adyacentes.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes generales

2.1.1. Generalidades sobre la biogeoquímica de los elementos traza en el medio marino

El desarrollo de la biogeoquímica marina tiene sus bases en el éxito del estudio de la química marina. Dentro de los estudios más relevantes fue validar el principio de Marcet para los iones más abundantes en el agua de mar. La oceanografía moderna se empieza en el año 1876 con la expedición de "Challenger" y durante el siglo veinte se desarrollaron los métodos analíticos con el fin de medir los constituyentes traza, además del oxígeno disuelto y los nutrientes (Millero, 1996; Libes, 2003). Otro aspecto importante fue caracterizar los aportes de ET a los océanos, identificando las fuentes (Chester, 2003; Millero, 2004). Aunque los primeros estudios se realizaron en mar abierto, con el tiempo se reconoció que la zona costera tiene sus particularidades y no puede ser ignorada por la importancia de los procesos que ocurren entre el océano y el continente.

El conocimiento sobre el comportamiento de elementos traza en sus diferentes formas ha sido por décadas generado por varios grupos científicos, con la finalidad de entender los ciclos biogeoquímicos de los elementos y su interacción con los ecosistemas marinos (Schlesinger, 1997). Uno de los principales grupos a nivel internacional que trata estos aspectos esta constituido por los participantes del programa GEOTRACES. Aunque siguen los esfuerzos, el estudio de este tipo se viene desarrollando desde los años 1970's. Dentro de las principales limitaciones fue contar con laboratorios limpios y tecnología capaz de cuantificar concentraciones tan bajas como las que existen en el océano abierto (Brewer et al., 1975). Con el desarrollo de técnicas limpias y eficientes fue posible clasificar a los elementos traza de acuerdo a su comportamiento vertical en la columna de agua del océano abierto. Así, hoy se reconoce que el comportamiento de los ET depende de factores como sus características fisicoquímicas individuales, las cuales determinaran su tiempo de residencia en el océano (Chester, 2003). Estos van desde elementos conservativos como son los iones mayores, con tiempos de residencia largos (10⁵ años) los cuales componen la salinidad del agua del mar, hasta aquellos afines a las partículas con tiempos de residencia muy cortos como Fe (Furness y Rainbow, 1990). Otro grupo importante de ET son aquellos que intervienen en los procesos biológicos como Cd, Zn, Ni, Cu (Bruland y Franks, 1980). El caso típico es el Cd, el cual se comporta como micronutriente en el océano con alta afinidad a los fosfatos, además se demostró que participa en la formación de tejidos duros de organismos planctónicos (Bruland, 1980).

2.1.2. Influencia de las condiciones redox sobre el comportamiento de los ET en el ambiente marino

Un factor importante en el comportamiento de ET son las condiciones redox del océano, de tal manera que algunos elementos son sensibles a estos cambios de oxigenación pasando de fase disuelta a particulada dependiendo de la concentración de oxígeno disuelto, mientras que otros se comportan de manera opuesta (Yamaguchi, 2001). Las condiciones de estratificación debido a las características morfológicas es un factor que interviene en la formación de condiciones reductoras en las aguas marinas. Otro agente importante son los eventos de surgencias y la alta productividad primaria. Bajo estas condiciones en los últimos años se han ampliado los estudios en las zonas de mínimo oxígeno (ZMO), conocidas como zonas del océano con baja concentración de oxígeno a profundidades intermedias. Incluso algunos autores exponen que se está dando una intensificación y una expansión de la ZMO en las regiones tropicales (Stramma *et al.*, 2008).

Como conocimiento base cuando se estudiaron los perfiles verticales de elementos en el mar abierto, entre los varios grupos de elementos se identificaron al Fe y Mn como elementos sensibles a las condiciones de oxigenación en la columna de agua (Bruland, 2006). Luego estos elementos se estudiaron en zonas de reducción, encontrando que ambos elementos predominan en fase disuelta, mientras en condiciones oxigenadas tienden a formar partículas (Chester, 2003). Es decir la distribución vertical de estos dos elementos en sus fases disueltas y particuladas nos puede indicar a que profundidad está la capa de mínimo oxígeno.

5

Un estudio de este tipo fue realizado en el Mar Arábigo donde uniendo los perfiles de nutrientes con las especies de Fe identificaron la ZMO entre los 250-300 m (Moffett *et al.*, 2007). El uso de trampas de sedimentos en zonas con variabilidad en condiciones redox, también ha favorecido fortalecer el conocimiento en cuanto al comportamiento de los ERS al pasar por una columna de agua reductora a escalas más cortas en comparación con los sedimentos. Por ejemplo en la Cuenca Gotland fue posible notar los cambios de fase desde disuelta hasta particulada de algunos ERS como Fe y Mn y así conocer a que profundidad de la columna de agua se dan las condiciones de reducción (Pohl *et al.*, 2004; Pohl y Hennings, 2005).

Es mucho menos conocido el comportamiento de ET en la zona costera, ya que por la cercanía con el continente, los procesos que determinan la distribución de elementos en la columna de agua se intensifican. Por ejemplo en esta zona los procesos biológicos son significativos debido a la disponibilidad de nutrientes, los procesos físicos como la mezcla vertical de la columna de agua también son importantes, así como los procesos de resuspensión desde el fondo (Salomons y Förstner, 1984).

Una herramienta de estudio sobre los aspectos relacionados con la oxidoreducción es la geoquímica de sedimentos marinos principalmente en zonas marginales. Por ejemplo las cuencas anóxicas, formadas ya sea por oxidación de materia orgánica o por estratificación en la columna de agua, ya se han identificado y es donde se ha evaluado con mayor énfasis el comportamiento de elementos redox sensibles (Nameroff *et al.*, 2002; 2004; Böning *et al.*, 2009).

Uno de los mares mas estudiados por sus condiciones redox es el Mar Negro ya que es una clásica cuenca marina anóxica. Los sedimentos de este mar interno de Euroasia reflejan claro enriquecimiento de Ag, As, Cd, Cu, Ni y V por su alta correlación con carbono orgánico (C_{org}) y azufre (Brumsack, 1989). Sin embargo trabajos más recientes en este mismo sitio, muestran el comportamiento de Fe y Mn disueltos con claros cambios de concentración en la columna de agua anóxica (Yemenicioglu *et al.*, 2006) y las aguas de poro de los sedimentos (Konovalov *et al.*, 2007). La cuenca Cariaco, en Venezuela, es otro ejemplo de cuenca anóxica como resultado de su morfología. Los sedimentos estudiados permiten diferenciar los procesos biogénicos e hidrogénicos por la alta concentración de Cd, Cr, Cu, V, Mo, Ni y Zn por ser sensibles a condiciones redox de aquellos, que tienen un comportamiento conservativo, como es el caso de Ba, Co, Ga, Y, Li, y Th, elementos que proceden de fuentes terrígenas (Piper y Dean, 2002).

Los sedimentos de las ZMO han sido estudiados usando a los ERS como proxy para conocer la intensidad de condiciones de reducción (Böning et al., 2004, 2009; Borchers et al., 2005). Un ejemplo fue el estudio del material sedimentario en las costas de Perú donde se encontró que existe un alto contenido de Cora en los sedimentos, así como intensa anóxia que favorece la formación de sulfuros de Re, Sb, As, U, Mo y V. Ademas las razones Re/Mo permitieron identificar zonas de anóxia y zonas de subóxia (Böning et al., 2004). Trabajos similares aplicando el uso de los elementos ERS como proxy en los sedimentos ricos en carbono orgánico han sido comunes en los últimos años por explicar los efectos de la diagénesis (Froelich et al., 1979; Morford et al., 2005; Sundby et al., 2004), hasta conocer los contenidos de elementos autigénicos por efectos de llegar a condiciones redox en los sedimentos (Zheng et al., 2000). Otras aplicaciones se hacen para inferir entre condiciones óxicas, subóxicas y anóxicas usando las proporciones entre los ERS en la reconstrucción de paleoambientes (Böning et al., 2009; McManus et al., 2006; Morford y Emerson, 1999). Incluso, investigaciones en diferentes zonas han permitido diferenciar condiciones redox de una cuenca anóxica, comparando con la ZMO por efectos de surgencias o de sedimentos ricos en carbono orgánico por alta productividad. Se ha visto que los elementos redox sensibles tienen diferencias de contenidos de acuerdo a las características del área estudiada (Brumsack, 2006). Por ejemplo Re/Mo y Cd/U fueron usados en los sedimentos de la ZMO de la parte este del Océano Pacífico (cerca de Mazatlán) para identificar a que profundidad se encuentra la zona subóxica y definir las características de los ET redox sensibles, ya que sobre este aspecto la información es escasa (Nameroff et al., 2002). Sin embargo, cuando se estudian los sedimentos se estima que es un promedio de los eventos que ocurren tanto en la columna de agua, como en el material sedimentario.

Se ha hablado ya del comportamiento de los ET en el ambiente marino y de los factores que intervienen en su distribución y dentro de los factores significativos son las condiciones redox. Otro aspecto importante es la interacción de los ET con los componentes biológicos. Desde los años 1980's se han usado las macroalgas como indicadores de elementos traza, comparando con los sedimentos y fue encontrado que en ciertas condiciones algunos elementos como Cu, As, Pb Zn y Ag tienen buena correlación (Luo *et al.*, 1982). Es importante la especiación química de los elementos para que estos sean asimilados. A este respecto para elementos como As en el océano, la asimilación se da por organismos planctónicos en la zona fótica, mientras especies de macroalgas asimilan el arsenato por ser la especie química más estable en condiciones óxicas y similar en estructura química a los fosfatos, que son los nutrientes escenciales Las macroalgas asimilan el arsenato y lo convierten en especies metiladas de arsénico (Andreae, 1978).

2.1.3. Estudios de elementos traza en ambientes hidrotermales someros

Una de las principales fuentes de elementos al océano son los aportes por fluidos hidrotermales en los procesos de mar profundo descubierto en 1970's (Baker *et al.*, 1995; Butterfield *et al.*, 2004). Sin embargo, en los últimos años los ambientes hidrotermales someros también han sido evaluados con especial atención a los ETPT.

Estos ambientes se encuentran en zonas tectónicamente activas y se consideran aquellos que se encuentran a menos de 200 m de profundidad (Tarasov *et al.*, 2005). Han sido relativamente pocos los ambientes hidrotermales someros que se han descritos (Prol Ledesma *et al.*, 2004). La geoquímica de los sedimentos del ambiente hidrotermal somero de la isla de Dominica, Antillas fue caracterizada por McCarthy *et al.* (2005) y el principal proceso descrito fue la formación de oxihidróxidos de Fe con enriquecimiento en otros elementos como As, Sb y Mn. Caso similar, donde resaltan la importancia de los precipitados de Fe

y su relación principalmente con el As, es la geoquímica de los sedimentos de la Bahía Tutum en Papua, Nueva Guinea (Pichler y Veizer, 1999). La especiación de arsénico también, descrita en el agua de poro de los sedimentos de esta zona, señala que el As (+3) excede al As (+5) en las zonas cercanas a las ventilas, mientras a 300 m se muestra lo contrario, por lo tanto asumen que el deseguilibrio en las especies químicas de As provee la energía metabólica potencial para la oxidación de la arsenita por las bacterias (Price *et al.*, 2005). Los microorganismos también han sido descritos en estos ambientes. En las ventilas hidrotermales someras del Atlántico Norte se encontraron bacterias de la especie Beggiatoa sp., además de especies típicas de la zona costera y del archipiélago Azorean como algunas algas y peces (Cardigos et al., 2005). La intensidad de las emanaciones hidrotermales y sus efectos en la zona advacente tanto en los organismos como en los sedimentos depende de la temperatura y la interacción entre roca y fluido. Esto se encontró en las ventilas hidrotermales someras de la Bahía Kagoshima, en Japón, donde Nakaseama et al. (2008) reportan la formación de minerales illita/esmectita en fluidos con temperaturas de 150°C.

En zonas con aportes hidrotermales someros se han evaluado los efectos de las fuentes sobre los organismos. Este aspecto depende la intensidad del fenómeno ya que un estudio de este tipo realizado en el Golfo de Suez (Mar Rojo), en una zona con ventilas hidrotermales, se encontró que los fluidos no cambian significativamente los parámetros fisicoquímicos del agua, y no afectan a la biota adyacente en cuanto a distribución de especies. En este trabajo se estimó que el 30% de la zona es dominada por macroalgas *Sargassum lantifolian* y *Padina Pavonica* (Ali y Gab-Alla, 2007). Sin embargo otro estudio comprueba la hipótesis de que la temperatura determina la distribución de las macroalgas con afinidad a las aguas cálidas en la zona de las ventilas del Mar Mediterráneo (De Biasi y Aliani, 2003). El mismo caso se observó en zona las ventilas hidrotermales de la isla Milos en Grecia, con alta abundancia de macroalgas en la bahía y no solo en las zonas de descarga, lo que relacionaron a la influencia homogénea de las ventilas en toda la bahía (Sartoni y De Biasi, 1999). Debido a la abundancia de las

macroalgas en los ambientes hidrotermales someros, son una herramienta útil para evaluar sus efectos.

2.2. Antecedentes regionales

2.2.1. Estudios sobre la biogeoquímica de elementos traza en zonas adyacentes al Golfo de California

Los estudios sobre el comportamiento de elementos traza en las zonas marinas adyacentes al Golfo de California, se empezaron cerca de los años 1990's, sobre la geoquímica de los sedimentos. En ese tiempo fue atractivo estudiar como los efectos de surgencias influyen en la distribución de ET. Se reconoció la importancia del contenido de carbono orgánico y los procesos de diagénesis en el comportamiento de elementos, resultando en ocurrencia alta concentración de ERS como As, Mo, U y V, así como también la formación de sulfuros insolubles en este tipo de sedimentos (Brumsack, 1989). Mas recientemente, se siguió el estudio de los ambientes costeros de la península de Baja California, dedicados en su mayoría a las distribuciones espaciales de metales en los sedimentos superficiales de bahías y lagunas costeras (Shumilin et al., 1996; Rodríguez-Meza, 2004; Green-Ruíz, 2000; Rodríguez-Castañeda, 2001), a la descripción geoquímica de los depósitos fosfáticos (Piper, 1991), abanicos-deltas (Rodríguez-Figueroa et al., 1998), zonas de surgencias (Segovia Zavala et al., 1998), así como a la influencia de los desechos mineros sobre la zona adyacente (Romero-Guadarrama, 2010) incluyendo la zona costera (Posada-Ayala, 2010). Sin duda uno de los trabajos integrales sobre el comportamiento de los elementos redox sensibles, realizado en las costas mexicanas fue de Nameroff y colaboradores (2002). Este incluyó análisis de ET en agua, materia particulada en hundimiento y sedimentos. Fue posible identificar la profundidad de la ZMO a 400 m en y conocer el comportamiento de ERS en zonas subóxicas. El uso de proxy fue la mayor aportación de este trabajo con la aplicación de las razones entre elementos como Cd/U y Re/Mo (Nameroff et al., 2002).

Otro aspecto importante es la distribución de elementos disueltos y particulados. Estudios de este tipo son escasos en el México y solo en el Golfo de

10

California Delgadillo et al. (2006) reportan el caso de Fe, que fue medido por arriba de los 600 m en la región norte del golfo, encontrando aguas enriquecidas en Fed > 5 nM (explicado por fuente atmosférica). La concentración de Fe en esta área es 12 veces más alta, con respecto a la concentración de este elemento en el Océano Pacífico adyacente (Segovia-Zavala et al., 2009). El manganeso disuelto en el Golfo de California tiene un máximo subsuperficial, un decremento en la parte media y un aumento en la parte profunda relacionado con la ZMO en respuesta a las condiciones redox (Delgadillo-Hinojosa et al., 2006). Los estudios sobre las concentraciones de ET en la materia suspendida particulada en diferentes ambientes costeros del Golfo de california también son escasos. Solo algunos trabajos sobre los contenidos de ET en materia suspendida particulada del sistema Río Marabasco-Laguna Barra de Navidad en Colima (Shumilin et al., 2005b), la Laguna de La Paz (Romero-Bañuelos, 2003; Aguirre-Bahéna, 2007), así como los datos sobre la influencia de los cambios hidrográficos sobre la concentración de MSP en Bahía Concepción (Reyes-Hernández, 2004) se pueden mencionar. Aún más escaso es el conocimiento sobre la composición de la materia particulada en hundimiento y los flujos de los elementos particulados en zonas adyacentes al Golfo de California. Un valioso trabajo que incluye este aspecto se ha venido realizando desde enero del 2002 a la fecha en la Cuenca Alfonso de la Bahía de La Paz (Choumiline, 2010; Rodríguez-Castañeda, 2008; Silverberg et al., 2007),

La interacción de los ET con la biota tiene amplias aplicaciones principalmente como indicadores de la calidad de las bahías. Dentro de los bioindicadores mas usados son las macroalgas y los trabajos incluyen la acumulación de ET en algunas especies de la zona costera como indicadores de la influencia de los aportes naturales y antropogénicos (Rodríguez-Castañeda, 2001; Rodríguez-Meza, 2004; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001; Rodríguez-Figueroa *et al.*, 2009; Huerta-Díaz *et al.*, 2007; Patrón-Pardo *et al.*, 2010). La especie de macroalga Sargassum sinicola es una de las mas abundantes dentro del Golfo de California y ha sido ampliamente usada con fines ambientales (Pacheco-Ruiz, 1998). este organismo ya ha sido usado para la evaluación de los

contenidos de elementos traza en otras zonas cercanas a la Bahía Concepción, como la región minera de Santa Rosalía para evaluar la biodisponibilidad de elementos contaminantes en los sedimentos encontrados previamente (Rodríguez-Meza, 2008; Rodríguez-Figueroa, 2010); En la Bahía de La Paz, la colecta de *Sargassum sinicola* se realiza con fines de alimentación para ganado caprino, sin embargo los contenidos de minerales son analizados (Casas-Valdéz *et al.*, 2005) y en la Bahía Concepción, estudios de prospección sobre biodisponibilidad de elementos traza fueron analizados en diferentes especies de macroalgas incluyendo las del genero *Sargassum sinicola* (Rodríguez-Meza, 2004). Un estudio representativo también se realizó en las costas este y oeste del Golfo de California (Huerta-Díaz *et al.*, 2007). Otro organismo indicador de la distribución de ET en la columna de agua marina es el zooplancton, aunque sus correlaciones entre contenidos y especies es aún difícil de explicar (Rentería-Cano *et al.*, 2011).

Sin embargo no existe en México un trabajo que cubra los contenidos de ET en las diferentes matrices antes mencionadas, aplicadas a un mismo sitio. Aún menos se ha usado este conocimiento a una bahía que presente aportes de fluidos geotermales e hidrotermales. Por ello la Bahía Concepción se eligió como sitio ideal para estudiar la biogeoquímica marina con el fin de conocer la influencia de las descargas geotermales e hidrotermales antes reportadas (Greene y Forrest, 2002; Prol-Ledesma et al., 2004). Otros factores como condiciones de reducción en la columna de agua debido al elevado contenido de materia orgánica, se han reportado en la Bahía Concepción, incluso se ha mencionado que en ciertas épocas del año se ha identificado la estratificación en la columna de agua (Lechuga-Devezé et al., 2000). La geoquímica de los sedimentos de la bahía ya mostraba algunas zonas de acumulación principalmente de Ba en zonas cercanas a las descargas (Rodriguez-Meza, 2004), sin embargo este aspecto no se había considerado a detalle. Ademas, recientemente se mostró que en algunas áreas de la costa de la bahía hay altos contenidos de ²²²Rn disuelto en el agua superficial (Santos et al., 2011). Cabe mencionar que el ²²²Rn es un elemento radioactivo natural con una vida media de 3.8 dias. Es un gas noble no reactivo y su perdida
desde la columna de agua se debe a su decaimiento radioactivo y su emisión a la atmosfera, ya que los fluidos geotermales e hidrotermales, así como las aguas subterráneas están en contacto con la emanación de radón desde el acuífero, algunas veces la concentración de radón suelen ser de dos o tres ordenes de magnitud superiores a la mayoría de las aguas superficiales. Esto hace de hace del radón muy útil en la identificación de áreas con aportes de fluidos geotermales, hidrotermaes y de aguas subterráneas en los lagos, los ríos y los mares costeros, y puede ser utilizado para estimar la dinámica y la magnitud de tales descargas (Cable *et al.*, 1996; Burnett *et al.*, 2002, Burnett y Dulaiova 2003).

Existe alguna información sobre el origen de estas fuentes, reportadas por Prol-Ledesma *et al.* (2004), donde se propone el modelo conceptual hidrogeológico de las ventilas submarinas hidrotermales de Bahía Concepción. En este modelo se supone que las aguas subterráneas interactúan en las profundidades de la península con las rocas calientes, alcanzando temperaturas de hasta 250 °C y salen a la superficie ya parcialmente mezclados con agua del mar a temperaturas de 40 a 50 °C enriquecidos en algunos elementos. El enfriamiento de estos fluidos favorece a la formación de diferentes minerales de una composición compleja (Canet *et al.*, 2005). Nuestro trabajo pretende dar un panorama más amplio sobre la biogeoquímica de los elementos traza, aportados por las descargas geotermales e hidrotermales en la bahía.

3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a los antecedentes, la Bahía Concepción es un sitio ideal para el estudio de la biogeoquímica marina. En las zonas costeras esta ciencia empieza a ser aplicada, pero en México son escasos los estudios que integran la información de la composición elemental de los diferentes componentes del medio marino (agua, partículas, sedimentos y biota). Además de acuerdo a las características de la bahía tales como son las condiciones redox y las diversas descargas (geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas) resulta útil emplear la biogeoquímica con un enfoque ambiental, con el fin de evaluar la influencia de estas fuentes sobre el ambiente marino adyacente. Este tipo de trabajos tienen su valor propio ya que la bahía es una zona prístina, con poca o nula influencia antropogénica lo que permite estudiar en condiciones cercanos a naturales. Por estas razones, se considera necesario conocer la distribución más detallada de los ET en las zonas advacentes a las descargas geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas. También vale la pena estudiar la presencia de los ET en los sedimentos de estas áreas, por posible formación de oxihidróxidos de Fe y Mn durante la mezcla de los fluidos con agua del mar, mientras los sedimentos "normales" de la Bahía Concepción son la mezcla de los componentes terrígenos (aluminosilicatos) y biogénicos marinos tales como carbonatos de Ca, sílice biogénico y carbono orgánico. Posiblemente algo semejante podría ser observado en la composición de MSP colectada cerca de las ventilas y en las zonas no afectadas por los aportes hidrotermales. Para conocer como los ET interactua con los organismos y para tener información complementaria integrada sobre la presencia o ausencia de elevadas concentraciones de ET incluyendo elementos potencialmente tóxicos también se usarán los indicadores biológicos (zooplancton y macroalgas).

4. HIPÓTESIS

Es posible que el aporte de fluidos geotermales e hidrotermales que existen en la Bahía Concepción tenga influencia sobre la biogeoquímica de los ET en la zona adyacente, tanto en la distribución de ET disueltos y particulados, como en la geoquímica de los sedimentos adyacentes y probablemente en los organismos como las macroalgas y el zooplancton.

5. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES

5.1. Objetivo general

Conocer la influencia de las fuentes geotermales e hidrotermales sobre la biogeoquímica de los ET (As, Cu, Cr, Hg, Fe, Mn, U, Zn, lantanidos y otros) en la zona adyacente, con atención especial a los elementos potencialmente tóxicos.

5.2. Objetivos particulares

- Establecer las regularidades de comportamiento de los elementos traza (As, Cu, Fe, Hg y Mn) disueltos y particulados de los fluidos geotermales e hidrotermales y sus diferencias con sus contenidos en el agua de mar adyacente a las descargas.
- Determinar el efecto de los aportes de fluídos geotermales e hidrotermales sobre la distribución de los contenidos de los ET en la materia suspendida particulada de las zonas adyacentes a las descargas y compararlos la con la composición de MSP de las zonas alejadas dentro de la bahía.
- Conocer los contenidos de elementos traza en los sedimentos superficiales en las fuentes geotermales y hidrotermales y comparalos con la composición de los sedimentos superficiales de las zonas adyacente a los sitios de las descargas de fluidos geotermales e hidrotermales y establecer su influencia.
- Conocer las variaciones de los contenidos de ET en la columna sedimentaria adyacente al manantial geotermal y conocer las distribuciones verticales e identificar la existencia de aportes masivos.

- 5. Evaluar la influencia de los aportes de los fluidos geotermales e hidrotermales sobre los contenidos de ET en la biota marina adyacente (macroalgas *Sargassum sinicola* y zooplancton).
- 6. Conocer los flujos de ET en la Bahía Concepcion a través de los contenidos de ET en en la materia particulada en hundimiento (MPH) durante el periodo 1996-1999 y compararlo con los y flujos de ET dentro de la columna sedimentaria del mismo sitio al sur de la Bahía Concepción.

6. ÁREA DE ESTUDIO

6.1. Ubicación y clima

La Bahía Concepción se ubica en la costa occidental del Golfo de California entre los 26° 33' y 26°53' de latitud norte y 111° 42' y 112° 56' de longitud oeste (Figura 1). Su clima es del tipo BW (h') hw (e') (García, 1973) y se encuentra en la región hidrológica 6. Tiene un promedio de evaporación 2067 mm anual. Tiene un rango de precipitación de 200 a 731 mm anual. El rango de temperatura durante el año es de 6.5 a 45 °C. Posee una extensión de 275 km², con 40 km de largo y ~ 5 a 10 km de ancho (Contreras, 1988). La bahía esta orientada en los ejes NNW-SSE con una boca hacia el Golfo de California en la parte norte (Johnson y Ledesma-Vásquez, 2001).



Figura 1. Localización del área de estudio

6.2. Características hidrológicas de la Bahía Concepción

La batimetría de la Bahía Concepción es relativamente simple (Figura 2). La comunicación de la bahía con el Golfo de California consiste en un canal central con un umbral de 15 m orientado a la costa oeste. Las mayores profundidades son de 38 metros al sur de la bahía, en promedio en la parte central de la bahía la profundidad se mantiene en los 30 m. Los patrones de viento son predominantemente NW durante otoño e invierno (periodos frios con la columna de agua bien mezclada) y SE durante primavera y verano (periodos cálidos con estratificación en la columna de agua) (López-Cortés *et al.*, 2003; Palomares-García *et al.*, 2006; Canar *et al.*, 2008).



Figura 2. Batimetría de la Bahía Concepción (tomada de Gutiérrez de Velasco, datos no publicados).

Las mareas son de tipo semidiurnas con un rango de 59 cm en la entrada y 75 cm en la cabeza durante abril de 1992 (Obeso-Nieblas *et al.*, 1996). Gutiérrez de Velasco *et al.* (2006) estudiaron la marea y el forzamiento de los vientos encontrando una marea de tipo diurna con poca variación vertical a través de la bahía y rangos de 1 m en la marea de primavera.

En una campaña oceanográfica realizada del 10 al 24 de marzo de 2005, se reportó que la corriente promedio en la bahía muestra un patrón de flujo en la dirección del viento en la superficie y de flujo contra el viento en el fondo. Este patrón de flujo pudiera ser producto de los gradientes de densidad o por rectificación de la marea. Las aceleraciones originadas por el esfuerzo del fondo, responsables de la circulación residual de la marea son del orden de 7 a 10 m s⁻² (Gutierrez-Velasco, datos no publicados).



Figura 3. Campos de flujo promedio medidos en diferentes capas de la columna del agua en Bahía Concepción: a) a 3 m de profundidad y b) a 15 m de profundidad (Gutiérrez de Velasco, datos no publicados).

En la misma campaña oceanográfica (10 al 24 de marzo de 2005), se encontró que los flujos promedios cerca de la superficie de la Bahía Concepción (Figura 3a) y cerca del fondo (Figura 3b) al ser interpolados a una malla regular muestran una recirculación ciclónica la parte norte de la bahía, parte central y en la parte sur. La recirculación en todos los casos es generada por el viento (Figura 3, Gutiérrez de Velasco, datos no publicados).

6.3. Geología de las rocas adyacentes a la Bahía Concepción

Las formaciones geológicas adyacentes a la Bahía Concepción pertenecen al Grupo Comondú. Están formados por conglomerados volcánicos intercalados, areniscas, brechas riolíticas y tobas, flujos de lava andesíticas y lahares (Bustamante-García, 1999). Las rocas volcánicas del Grupo Comondú son principalmente calc-alcalinas y exhiben un amplio rango de SiO₂ que corresponden a la composición de riolítas a basaltos (Biggiogero *et al.*, 1995). Las más recientes unidades litológicas (Holoceno) consisten de sedimentos clásticos continentales y marinos, además de depósitos costeros, lacustres, aluviales y eólicos. También existen formaciones volcánicas que incluyen abundantes flujos basálticos y algunas grandes estructuras como las Tres Vírgenes y Volcán Mencenares (Camprubí et al., 2005). Algunas formaciones adyacentes a la Bahía Concepción son El Salto, Minitas, Pilares, Hornillos y Ricasón (McFall, 1968) (Figura 4). Las rocas que predominan en estas formaciones son areniscas, brechas andesíticas, tobas, basaltos. En la formación infierno existen secuencias carbonatadas y fósiles de un ambiente de manglar, algunas capas son nódulos de sílice amorfo. En el cerro Mencenares predominan las rocas fluidales reoliticas, pómez y obsidiana (Camprubí et al., 2005). En general la geoquímica de las rocas ígneas de la zona adyacente a la Bahía Concepción se controla por la existencia de brechas volcánicas, ignimbritas andesíticas basálticas y lavas, y en cierta parte tobas, dacitas y diques acídicas a básicas (Camprubí et al., 2005). Al norte de la Peninsula Concepción existen yacimientos de Mn ricos en ET (Figura 4).



Figura 4. Carta geológico minera de la Bahía Concepción (tomado de Carta geológico-minera LORETO G12-5, 2002).

6.4 Actividad tectónica y origen de los manantiales geotermales y ventilas hidrotermales someras en la Bahía Concepción

La actividad tectónica se encuentra relacionada con fenómenos de extensión cortical y volcanismo relacionado en la peninsula, esto provoca un sistema de fallas en la costa este de la Península de Baja California. La Falla que origina las ventilas hidrotermales someras y los manantiales geotermales se denomina falla El Requesón y se encuentra en dirección NO-SE, dentro de la Península Concepción y pasando por las costas de Mapachitos dentro de la Bahía Concepción (McFall, 1968). Las manifestaciones hidrotermales se distribuyen en los 700 m de tramo de costa rocosa. El área está cubierta por rocas volcánicas andesíticas del Grupo Comondú que son expuestos a lo largo de los acantilados y

son controlados por un sistema de fallas, el cual delinea el margen oeste de la bahía y actúa como un conducto para los fluidos hidrotermales (Forrest *et al.*, 2003) (Figura 5).



Figura 5. Mapa geológico de Bahía Concepción modificado de McFall (1968) mostrando los principales fallas geológicas que rodean a la Bahía Concepción (González-Yajimovich *et al.*, 2010).

Los fluidos hidrotermales tienen una temperatura de 50 °C en el fondo marino y 87 °C a 10 m de profundidad dentro del sedimento. En la Ensenada Santispac existen los manantiales geotermales intermareales localizados dentro de una zona de manglar y a 3.5 km de las manifestaciones hidrotermales someras

(Villanueva-Estrada, 2007). Prol-Ledesma *et al.* (2004) proponen que los fluidos descargados son aguas meteóricas infiltradas y calentadas que se mezclaron con el agua del mar antes de la descarga (Figura 6). La temperatura del reservorio se estimó en 200 °C mediante los geotermómetros Na/Li, Na/K/Ca y Si (Prol-Ledesma *et al.*, 2004).



Figura 6. Corte geológico conceptual del área de Bahía Concepción (tomado de Prol-Ledesma *et al.*, 2004).

Algunos estudios sobre los minerales que se forman en los manantiales geotermales intermareales indican que el fluido hidrotermal de los manantiales intermareales está sobresaturado en barita y sílice, y que la mezcla de dicho fluido con agua marina, si bien está sobresaturada en barita, está subsaturada en calcita y en sílice (Canet *et al.*, 2005a). En baso a sus cálculos de saturación explican satisfactoriamente la mineralogía de los precipitados que se forman en los diferentes manantiales hidrotermales del área. Así, la sílice amorfa es el principal precipitado en la zona intermareal, mientras que está ausente en las manifestaciones submarinas, en las que el proceso de mezcla del agua termal con agua marina es más intenso. Por otro lado, la sobresaturación del fluido en calcita,

mineral que se encuentra en asociación con la sílice amorfa, se debe al proceso de degasificación del fluido en CO₂ (Figura 7) (Canet *et al.*, 2005a).



Figura 7. Estructura de manifestaciones geotermales intermareales de la estación CV1 (tomada de Canet y Prol-Ledesma, 2006).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Estaciones de muestreo

7.1.1. Muestreo de agua y materia suspendida particulada (MSP) en las áreas contrastantes de Bahía Concepción

Se colectó agua y materia suspendida particulada en las áreas contrastantes de Bahía Concepción. Las estaciones T1 y T2 incluyen muestras en la parte media de la bahía. T1 en la parte sur y T2 a la misma latitud de las ventilas hidrotermales (Figura 8).



Figura 8. Estaciones de muestreo de agua y materia suspendida particulada en áreas contrastantes de Bahía Concepción.

La colecta de agua se hizo a 3 diferentes profundidades y ambas estaciones representan las condiciones de la columna de agua de la bahía en zonas alejadas de las fuentes geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas. La estación W1 corresponde a las muestras colectadas en el sitio de las ventilas hidrotermales en Mapachitos. La estación S27 pertenece al manantial geotermal mas intenso ubicado en la zona del manglar adyacente a la laguna en Santispac. La estación LC se encuentra en el centro de la laguna adyacente al manantial geotermal S27. La estación CV es el segundo manantial geotermal localizado al sur de Santispac (Figura 8).

La colecta de partículas se hizo en dos temporadas, una el 2 de junio del 2010 y otra el 23 de mayo del 2011 donde ademas de partículas, se colectó agua para la determinación de. elementos disueltos. Las coordenadas de las estaciones de colecta de agua, junto con sus los parámetros medidos como pH, salinidad, pH y oxígeno se muestran en la Tabla 1. Tales mediciones se hicieron con checador portátil de la calidad del agua modelo Horiba 10. Ya con este equipo solo se pueden hacer mediciones hasta 10 m, por esta razón se muestran los datos a 2 m para las estaciones T1 y T2, aunque también se colectó agua a 15 y 24 m.

			2 de junio del 2010			23 de mayo del 2011				
Estación	Latitud	Longitud	т∘с	S °/	рΗ	O₂ mg l ⁻¹	т∘с	S °/⊷	рΗ	O₂ mg l⁻¹
T1 (2m)	26.591°N	111.763°W	27	40	8.3	6	20	40	9.3	7.1
T2 (2m)	26.695°N	111.835°W	27	40	8.6	6.1	20	40	9.3	7.1
W1 (2m)	26.687°N	111.860°W	28	40	8.5	6.1	20	40	9.3	7.1
W1* (5m)	26.687°N	111.860°W	43	40	7	3	28	40	8	5.1
S27	26.762°N	111.893°W	55	40	6.9	0	56	40	7.7	0
LC (3m)	26.762°N	111.893°W	28	40	8.2	2.8	29	40	8.1	2.7
CV	26.758°N	111.894°W	60	34	7	1.2	58	35	7.7	2

Tabla 1. Estaciones de muestreo de agua y materia suspendida particulada enBahía Concepción.

7.1.2. Muestreo de materia particulada en hundimiento al sur de la Bahía Concepción (T1)

Se colocó una trampa de sedimentos al sur de la bahía ubicada en las coordenadas 26° 35' 28" y 111° 45' 48" (estación T1) para la estimación de flujos verticales del material particulado en hundimiento (Figura 9).



Figura 9. Ubicación geográfica de la trampa de sedimento colocada en Bahía Concepción.

La boca de la trampa se encontraba a una profundidad de 18 m. Se sujetó al fondo anclado a un muerto de 300 kg y se estabilizó en superficie con 2 boyas de tipo atunero de 60 cm de diámetro. La trampa tenía una altura de 1.75 cm y una boca de 0.4 m, estaba anclada a una varilla de 2.35 cm (Figura 10).



Figura 10. Especificaciones de la trampa de sedimento colocada en Bahía Concepción.

El recambio del tubo colector se realizó por buceo autónomo en cada periodo señalado. La materia particulada en hundimiento se colectó en el periodo del 22 de mayo de 1996 al 22 de marzo de 1999. El primer periodo comprende del 22 de mayo de 1996 al 30 de enero de 1997 (BC-1 a BC-5) y el segundo del 31 de enero de 1997 al 22 de marzo de 1999 (BC-6 a BC-12). Los datos de flujos de masa total y sus respectivos periodos de colecta de MPH son mostradas en la Tabla 2.

Muestra Periodo de colecta			
BC-1	22 mayo - 3 septiembre de 1996		
BC-2	4 septiembre - 4 octubre de 1996		
BC-3	5 octubre -29 octubre de 1996		
BC-4	30 octubre - 2 diciembre de 1996		
BC-5	3 diciembre de 1996 - 30 enero de 1997		
BC-6	31 enero - 28 julio de 1997		
BC-7	15 enero - 20 marzo de 1998		
BC-8	21 marzo - 14 mayo de 1998		
BC-9	15 mayo - 25 agosto de 1998		
BC-10	26 agosto - 6 octubre de 1998		
BC-11	7 octubre - 5 noviembre de 1998		
BC-12	6 noviembre de 1998 - 22 marzo de 1999		

Tabla 2. Flujos de masa total (mg m⁻² d⁻¹) y periodos de colecta del MPH de Bahía Concepción.

7.1.3. Muestreo de sedimentos superficiales y núcleos de sedimento en áreas contrastantes de Bahía Concepción

La colecta de sedimentos superficiales se realizó en cuatro zonas de interés (Figura 8). en la zona de manantiales geotermales en Santispac (polígono A), en la zona de las ventilas hidrotermales en Mapachitos (polígono B), al sur de la bahía en la zona adyacente a los pozos de aguas subterraneas (polígono C) y la zona adyacente a la Península Concepción (polígono D) (Figura 11). Los cuatro poligonos corresponden a zonas con alto contenido de ²²²Rn en sus aguas (Santos *et al.*, 2011). La mayoria de las muestras de sedimentos superficiales se colectaron usando la draga de van Veen, excepto aquellos cercanos a las descargas, donde la colecta se hizo por buceo autónomo. La primera colecta de sedimentos superficiales se hizo del 14 al 16 de enero del 2009, este corresponde al polígono A con un total de 28 muestras.



Figura 11. Polígonos de muestreo de los sedimentos superficiales en áreas contrastantes de la Bahía Concepción.

Se tomaron 3 muestras de sedimento en los tres manantiales geotermales intermareales localizados en la zona de manglar, 5 muestras en la laguna de manglar y 19 muestras en la Ensenada Santispac (Figura 12). También se colectó una muestra de la costra, tomada de la pared del manantial numero dos.



Figura 12. Estaciones de muestreo de sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente a la playa Santispac (polígono A).

El segundo muestreo se realizó del 30 de septiembre al 2 de octubre del 2009, en la zona de las ventilas hidrotermales someras en Mapachitos. Las ventilas se localizaron a 5 m de profundidad por buceo autónomo. Se colectaron dos muestras por el buzo directamente en la ventila y 49 estaciones en la zona adyacente colectadas con draga de van Veen (Figura 13).



Figura 13. Estaciones de muestreo de sedimentos superficiales en el sitio de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente (polígono B).

El tercer muestreo se llevo a cabo el 2 de octubre del 2009. El área de muestreo incluye 25 muestras de sedimentos superficiales tomados con la draga de van Veen, colectados en la zona adyacente a la Península Concepción (Figura 14b). El cuarto muestreo de sedimentos superficiales se hizo el 2 de junio del 2010 en la parte sur de la bahía, en la zona adyacente a los pozos de aguas subterráneas localizadas en la playa El Remate. Se colectaron 21 muestras de sedimentos superficiales con draga de van Veen (Figura 14a).



Figura 14. Estaciones de colecta de sedimentos superficiales: a) en la zona adyacente a los pozos de aguas subterráneas (polígono C) y b) a lo largo de la costa occidental de la parte central de la Península Concepción (polígono D).

El muestreo de sedimentos también incluyó la colecta de dos núcleos en las estaciones T1 (núcleo NT) y S27 (núcleo NM), ambos colectados el 25 de mayo del 2011 (Figura 15). Se usó un nucleador de Phleger con el tubo interno de poliestereno con 3.5 cm de diámetro. En la estación T2 el nucleador no trajo la muestra, probablemente a causa de la textura gruesa del sedimento. Ambos núcleos tenían una longitud de 22 cm y fueron seccionados a cada centímetro para su posterior procesamiento.



Figura 15. Ubicación de las estaciones de colecta de núcleos de sedimentos en la Bahía Concepción.

7.1.4. Muestreo de macroalgas en áreas contrastantes de Bahía Concepción

Las macroalgas de la especie *Sargassum sinicola* fueron colectadas del 2 al 4 de junio del 2010. Fueron tomadas por buceo autónomo en 3 áreas contrastantes a lo largo de la costa occidental de la bahía, caracterizados por tener altos contenidos de ²²²Rn (Santos *et al.*, 2011) por aportes de las aguas geotermales, hidrotermales y subterráneas en la Bahía Concepción. Se eligió esta especie por ser abundante en las tres áreas de interés y porque en estudios previos en otras zonas de la Península de Baja California mostró ser buen indicador del contenido de elementos traza. Se colectaron 8 muestras en la



Ensenada Santispac con el fin de descubrir si existe algún efecto de los manantiales geotermales adyacentes a esta área (Figura 16).

Figura 16. Estaciones de muestreo de macroalgas en la zona adyacente a los manantiales geotermales en Santispac.

En la zona de las ventilas hidrotermales en Mapachitos se colectaron 9 muestras de macroalgas abarcando dos kilómetros hacia ambos lados de la ventila hidrotermal (Figura 16). En esta área las macroalgas fueron más abundantes y de mayor tamaño, probablemente la intensidad de los fluidos sea más significativa en esta zona. Al sur de la bahía se colectaron las macroalgas en El Remate, esperando encontrar algún efecto por los aportes de aguas subterráneas a la bahía. Se colectaron 8 muestras, incluyendo macroalgas frente a los pozos de aguas subterráneas localizados en la playa (Figura 16).

7.1.5. Muestreo de zooplancton en la Bahía Concepción

El muestreo de zooplancton se realizó el 24 de mayo del 2011, con una red conica de 1.2 m de longitud con malla de 333 µm, procurando un angulo de inclinación de 45°. La finalidad fue conocer el contenido de ET en el zooplancton como posible indicador de acumulación de elementos por los tipos de descargas que hay en la bahía. Se tomó el tiempo de arrastre superficial en cada transecto de la siguiente manera: ZO-B (15 min), ZO-F (15 min), Z1 (38 min), Z2 (39 min), Z3 (37 min), Z4 (40 min), Z5 (40 min), Z6 (39 min) (Figura 17) (Tabla 3).

Tabla 3	. Coordenadas,	distancia	y tiempo	de	colecta	del	zoopla	ancton	en	la	costa
oeste de	e Bahía Concep	ción.									

	Inicial		Final		Distancia	Tiempo
Estación	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	km	min
Z0-A	111.862° W	26.694° N	111.862° W	26.694° N	0.9	15
Z0-B	111.862° W	26.694° N	111.862° W	26.694° N	0.9	15
Z1	111.862° W	26.694° N	111.851° W	26.674° N	2.58	38
Z2	111.851° W	26.669° N	111.836° W	26.649° N	2.62	39
Z3	111.838° W	26.649° N	111.813° W	26.631° N	3.19	37
Z4	111.813° W	26.631° N	111.793° W	26.603° N	3.8	40
Z5	111.780° W	26.571° N	111.757° W	26.549° N	3.3	40
Z6	111.892° W	26.755° N	111.887° W	26.763° N	3.7	39



Figura 17. El sitio y transectos de muestreo de zooplancton en la Bahía Concepción.

7.2. Pretratamiento de las muestras

7.2.1. Agua, materia suspendida particulada y materia particulada en hundimiento

Para la colecta de agua y partículas se usaron recipientes de polietileno de alta densidad previamente limpios (lavados con ácidos ultrapuros). Los filtros utilizados fueron previamente pesados y mantenidos en condiciones ultralimpias. Las muestras de agua colectada con la botella Niskin se almacenaron en los frascos de polietileno y posteriormente se cada muestra se filtró a través los filtros de membranas Nucleopore de 0.45 μ m, fijos en los embudos de poliestireno y utilizando bombas de vacio marca general electric modelo 510 Una vez filtrada la muestra de agua es acidificada con HNO₃ ultrapuro concentrado hasta un pH ~2 para evitar la formación de precipitados principalmente de oxihidróxido de Fe. La muestra se almacenó hasta su procesamiento químico. Los filtros obtenidos después de filtrar el agua de mar, fueron lavados de las sales con 2 ml de agua desionizada. Luego fueron secados y posteriormente pesados, con el fin de obtener la masa total de las partículas colectadas. Después los filtros con la MSP son almacenados en cajas Petri hasta su procesamiento químico. El mismo procedimiento de filtrado se hizo para la preparación de las muestras de MPH después de su colecta con la trampa de sedimentos con la elimición previa de los nadadores con una red planctónca de la malla 333 μ m.

7.2.2. Sedimentos superficiales y núcleos de sedimento

Las muestras de sedimentos colectados se almacenaron en bolsas de polietileno y fueron mantenidas en ambiente frío en las hieleras. Posteriormente en el laboratorio estas se secaron a ~60°C en el horno de focos por 24 horas y una vez secas se dividieron en dos submuestras. Una de ellas se usó para analizar el tamaño de grano y la otra, destinada para determinar el contenido elemental, se homogenizó en morteros de porcelana y se almacenó en frascos de plástico. Los núcleos de sedimento fueron cortados en húmedo a cada centímetro. Cada fracción del núcleo NT se pesó en húmedo y cada muestra se secó a temperatura constante de 60°C por 24 horas. Las muestras se pesaron nuevamente con el fin de obtener la humedad. La muestra total se homogenizó y se almacenó en frascos de plástico. Ademas se determinó la densidad aparente en seco (Dry bulk density) dividiendo la masa seca (g) entre el volumen en cada centimetro seccionado en cada horizonte (cm³) (Tabla 4).

	Horizonte	Masa húmeda	Masa seca	Volúmen	Densidad aparente
Muestra	cm	g	g	cm ³	en seco (g cm⁻³)
NT-1	0-1	10.5	2.5	9.6	0.259
NT-2	1-2	14.7	3.6	9.6	0.372
NT-3	2-3	14.1	3.7	9.6	0.387
NT-4	3-4	13.4	3.9	9.6	0.409
NT-5	4-5	11.6	3.8	9.6	0.394
NT-6	5-6	13.5	5.0	9.6	0.520
NT-7	6-7	15.7	9.6	9.6	0.998
NT-8	7-8	12.7	5.2	9.6	0.537
NT-9	8-9	12.4	5.3	9.6	0.550
NT-10	9-10	13.7	6.1	9.6	0.635
NT-11	10-11	13.0	5.8	9.6	0.607
NT-12	11- 12	13.6	6.1	9.6	0.630
NT-13	12 -13	14.3	6.5	9.6	0.680
NT-14	13- 14	13.8	6.5	9.6	0.672
NT-15	14- 15	13.7	6.4	9.6	0.669
NT-16	15- 16	13.8	6.4	9.6	0.661
NT-17	16- 17	14.5	6.7	9.6	0.699
NT-18	17- 18	14.8	7.0	9.6	0.732
NT-19	18-19	14.2	6.8	9.6	0.711
NT-20	19- 20	15	7.3	9.6	0.762
NT-21	20-21	13.6	6.6	9.6	0.690
NT-22	21 - 22	7.0	3.3	9.6	0.345

Tabla 4. Valores de masa húmeda, masa seca y densidad aparente en el núcleoNT.

7.2.3. Macroalgas (Sargassum sinicola) y zooplancton

Las muestras de macroalgas se colectaron por buceo autónomo. Una vez en el laboratorio, estas fueron lavadas con agua dulce. Con la ayuda de unas pinzas se eliminaron las epífitas. La macroalga fue secada, homogenizada y luego se almacenó en frascos de plástico hasta su análisis químico. El material de zooplancton después de su colecta fue filtrado y lavado con agua dulce. Posteriormente fue secado, homogenizado y almacenado en frascos de polietileno hasta su análisis.

7.3. Análisis de tamaño de grano de los sedimentos superficiales

El análisis de tamaño de grano consistió en pasar una submuestra de 50 gramos a través de un juego de tamices con que fueron desde -2 a -0.5 phi, con intervalos de 0.25 phi. La fracción retenida en cada tamiz fue pesada y la de la fracción mas fina (-0.5 phi) se tomó una submuestra representativa y se analizó en un analizador de partículas laser marca Horiba.

Para muestras de limos y arcillas, se pesó 0.20 a 0.25 gramos de muestra, y se colocó en un vaso de precipitado de 150 ml, se adicionaron 50 ml de hexametafosfato de sodio al 5% y 50 ml de acetona al 50%. El vaso se colocó en el ultrasonicador y se agitó para ayudar a disgregar las partículas. Se dejó reposar la muestra de un día para otro, lo que da tiempo para que reaccione la acetona. Se agregó acetona para disolver la materia orgánica y además el hexametafosfato, el cual actúa como dispersante, al separar las partículas unidas por fuerzas electrostáticas. Debido a que el aparato puede dañarse, si la muestra que se adiciona tiene partículas mayores a los 2 milímetros, la muestra se tamizó previamente con el tamiz de 1.68 mm (-0.75 phi). Cuando hay material retenido en el tamíz, se pesan las dos fracciones, tanto la que es retenida y la que no es retenida por el tamiz. Una vez con el peso se determina el porcentaje de material retenido y se calcula en base a porcentajes sobre la masa total de la muestra. Después de este procedimiento, una fracción se analizó por el mismo equipo analizador de partículas laser Horiba laser scattering particle size distribution analizar LA-910. De acuerdo al peso de cada fracción se determinó el tamaño de grano de los sedimentos superficiales. Las distribuciones espaciales del tamaño de grano se dibujaron con el programa SURFER 8.0[®].

7.4. Procedimientos analíticos para la determinación de elementos traza en las diferentes muestras colectadas

7.4.1. Determinación de Cu, Fe y Mn disueltos en fluidos hidrotermales y agua de mar

La muestra de agua de mar y de los fluidos hidrotermales se filtró con membranas Nucleopore de 0.45 μ m previamente lavadas con ácido. Posteriormente la muestra se acidificó hasta un pH de ~2 (1 ml de HNO₃ Ultrex). Una vez en el laboratorio el pH se ajustó 6.0 ± 0.5 a cada una de las muestras filtradas (~ 250 g) con una solución de NH₄OH suprapur[®]. Luego la muestra se bombeó usando bombas peristálticas a través de la resina Chelex-100 a un flujo de 0.8 – 1.0 ml min⁻¹. La resina se enjuagó con 4 ml de 1M NH₄ Ac y se eluyó con 5 ml de 2.5 M HNO₃. La medición fue realizada en el espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito marca Varian 880 Z, en el laboratorio de química analítica del Instituto de Investigaciones Oceanográficas de la UABC (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2006).

Para el control de calidad del análisis se utilizó el estándar para el análisis del agua de mar CASS-5 obteniendo buenos porcentajes de recuperación. (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros de control de calidad del análisis de elementos trazadisueltos (Cu, Fe y Mn).

Elemento	% Recuperación	C.V	Límite de detección
Cu	112.7	4.4	0.19 nM
Fe	103.9	6.9	0.25 nM
Mn	98	3.6	0.03 nM

7.4.2. Determinación de As y Hg disueltos en fluidos hidrotermales y agua de mar

La determinación de la concentración del Hg disuelto en fluidos hidrotermales y agua de mar fue llevado a cabo de acuerdo al método 7470A (US EPA, 1994). El procedimiento consiste en la absorción atómica con vapor frío.

Este se basa en la absorción de la radiación a 253.7 nm para vapor de mercurio. El mercurio es reducido a su estado elemental con SnSO₄ y aireado por el flujo de nirógeno y argón desde la solución en un sistema cerrado. El vapor de mercurio pasa a través de una celda posicionada en el paso de la luz en un espectrofotómetro de absorción atómica. La absorbancia es medida en función de la concentración de mercurio. El límite de detección para este método es de 0.2 µg l¹. La preparación de la muestra consistió en transferir 100 ml de muestra a una botella de 300 ml BDO. Se adicionaron 5 ml de H₂SO₄ y 2.5 ml de HNO₃ concentrados y se mezcló después de cada adición. Se adicionaron 15 ml de permanganato de potasio, luego 8 ml de persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) y la solución se calentó por 2 hrs a baño de agua manteniendo la temperatura a 95°C. Luego la solución se enfrió y se adicionaron 6 ml de sulfato clorohidroxilamina de sodio para reducir el exceso de permanganato. Después de unos 30 segundos, se adicionaron 5 ml de sulfato de estaño e inmediatamente después, la botella se colocó en el aparato de aireación. Posteriormente se midió la absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica previamente calibrado, bombeando la muestra a una velocidad constante de 1 l min⁻¹.

Para la determinación de la concentración del As disuelto en agua de mar y fluidos hidrotermales se siguió el método 7060a propuesto por la EPA. Este consistió en convertir las formas orgánicas de As a sus formas inorgánicas, minimizar las interferencias orgánicas y convertir la muestra en una solución adecuada para su análisis. La preparación de la muestra consistió en transferir un volumen conocido de muestra bien mezclada a un vaso de precipitado de 250 ml. Se adicionaron 2 ml de H₂O₂ al 30% y suficiente HNO₃ concentrado hasta llegar a una concentración de 1% (v/v). La solución se calentó hasta que la digestión fue completa a 95°C y hasta que el volumen por la evaporación gradual fue menor a 50 ml. Cuando la solución estuvo fría, se transfirió a un matraz aforado de 50 ml. Con una pipeta se adicionaron 5 ml de esta solución a un matraz aforado de 10 ml, se adicionó 1 ml de nitrato de níquel al 1% y se diluyó a 10 ml con agua desionizada. Posteriormente la muestra se inyectó dentro del espectrofotómetro

con horno de grafito marca Perkin-Elmer 800. El típico límite de detección al usar este método es de 1 μ g l⁻¹.

7.4.3. Determinación de elementos traza particulados en fluidos hidrotermales y agua de mar

Las muestras de agua de mar y fluidos hidrotermales fueron filtradas a través los filtros de policarbonato (Nucleopore) de 0.45 µm usando bomba de vacío. El análisis se realizó de acuerdo a procedimientos analíticos modificados siguiendo a Eggins *et al.* (1997). El método consistió en realizar la digestión con ácidos fuertes de los filtros para luego medir la solución final en el ICP-MS.

Con fines de aseguramiento de calidad, las muestras se procesaron en paralelo con materiales de referencia internacional BHVO-1, RGM-1, GSR-2, SDO-1 utilizando para calibraciones los valores reportados por Govindaraju (1994) y con andesita IGLa-1 que ha sido utilizada para evaluar exactitud, precisión y repetibilidad con base en valores reportados por Lozano y Bernal (2005), la arenisca calcárea OU-8 para control de calidad de tierras raras y el sedimento marino MESS-3. El análisis fue realizado en las instalaciones del Laboratorio de Química Ultrapura (LABQUP) del Instituto de Geología de la UNAM, utilizando un espectrómetro de masas Agilent 7500 ce. Los elementos determinados fueron Al, Be, Mg, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pb, Bi, Th y U con buen contro de calidad (Tabla 6).

Elemento	% Recuperación	C. V.
AI	99	1.1
As	109	1.74
Cd	50	6.66
Со	100	0.56
Cr	109	2.94
Cu	109	1.57
Fe	106	0.54
Li	45	1.04
Mg	112	2.12
Mn	100	0.22
Мо	60	28.5
Ni	106	2.89
Pb	114	4.61
Se	305	73
Sn	100	6.73
Sr	124	0.67
Ti	95	1.79
U	102	3.5
V	89	1.33
Zn	96	0.38

Tabla 6. Parámetros de calidad del análisis de la composición elemental de la MSP.

7.4.4. Determinación de As y Hg particulados en las muestras de fluidos geotermales, hidrotermales y el agua del mar

Para los elementos As y Hg particulados se realizaron análisis adicionales en el laboratorio de Geología Marina de la Universidad de Rio Grande, Brasil. Para la determinación de As los filtros fueron digeridos adicionando 10 ml de HNO₃ 1:1. La muestra se calentó a 95°C \pm 5°C por aproximadamente 10 a 15 minutos sin hervir. La muestra se dejo enfriar, posteriormente se adicionaron 5 ml de HNO₃ concentrado y se mantuvo en reflujo por 30 min. Se adicionaron 5 ml de HNO₃ cada vez hasta que el humo café dejo de generarse, lo cual indicó que la reacción de oxidación fue completa. Posteriormente la muestra se dejó evaporar hasta aproximadamente 5 ml sin hervir o calentar a 95°C por 2 hrs. Después de este paso la muestra se dejó enfriar y se adicionaron 2 ml de agua y 3 ml de H₂O₂: La solución se regresó a la fuente de calor para calentar y esperar la reacción con el peróxido de hidrógeno. Posteriormente se conservó así hasta que la efervescencia desapareció. Después de que la muestra fue enfriada, se diluyó a 100 ml con agua desionizada y la solución fue medida en el espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito marca GBC-932 (para Hg) y Perkin-Elmer 800 (para As).

7.4.5. Digestión total y medición por ICP-MS de elementos traza en los sedimentos superficiales y de los núcleos

Las submuestras de sedimentos fueron sometidas a digestión total y medidas en el laboratorio canadiense ACTLABS (Ancasterm Ontario, Canadá). Una alícuota de 0.25 g de la muestra se digiere en la mezcla de los ácidos fuertes concentrados HCIO₄-HNO₃-HCI-HF y se calienta a 260 °C. Se diluye con HCI diluido (conc?). Esta lixiviación es parcial para la magnetita, cromita, barita, espinelas, sulfuros masivos y circón. Las soluciones se leen en una Varian Vista ICP 735ES. El control de calidad incluye un análisis de frecuencia del blanco de 2%, 1 por cada 40, o menos muestras, la frecuencia de la muestra replica es de 7%, uno por cada 15, o menos muestras y 6%, o más para el análisis de los estándares internacionales. Además, existe un método interno de control de calidad, con una frecuencia del 20%. Las muestras digeridas se diluyeron y se analizaron por el equipo ICP-MS Perkin Elmer ELAN 6000 Sciex, 6100 o 9000. Un blanco se ejecuta cada 40 muestras. Otro blanco de control interno se ejecuta cada 20 muestras. Los estándares son digeridos y medidos cada 80 muestras. Después de cada 15 muestras, se realiza una digestión por duplicado. El instrumento es recalibrado cada 80 muestras. Para checar la calidad del método se usaron estándares de referencia certificados tales como MESS-3 Y PACS-2, obteniendo buenos porcentajes de exactitud y recuperación (Tabla 7).

	MESS-3		PACS-2		
Elemento	% Recuperación	C.V.	% Recuperación	C.V.	Límite de detección
AI	100	2.7	103.5	18.4	0.01%
As	98	4.8	134.7	10.9	0.1 mg kg⁻¹
Be	91.3	12.6	106.7	5.4	0.1 mg kg⁻¹
Ca	96.1	4.6	111.2	3.3	0.01%
Cd	83.3	0	99.5	4.8	0.1 mg kg ⁻¹
Co	94.7	3.3	109.9	3.3	0.1 mg kg ⁻¹
Cr	102.5	3.3	126.8	4.8	0.5 mg kg ⁻¹
Cu	98.9	1.8	106	2.2	0.2 mg kg ⁻¹
Fe	100.8	2.3	115.1	2.5	0.01%
Li	97	7	117	2.3	0.5 mg kg ⁻¹
Mn	104.8	1.5	111.7	1.6	1%
Мо	92.3	27.6	95.2	3	0.1 mg kg⁻¹
Ni	100.9	5.8	114.1	2.4	0.5 mg kg ⁻¹
Р	92.8	2.6	89	1.1	0.00%
Pb	106.2	1.2	90.3	3.8	0.5 mg kg ⁻¹
S	84.2	0	92.2	1.5	0.01%
Sb	104.6	14.3	65.5	32.8	0.1 mg kg⁻¹
Se	157.4	43.5	159.4	30.7	0.1 mg kg ⁻¹
Sr	105.4	2.2	94.3	11.7	0.2 mg kg ⁻¹
Ti	92.4	11.2	98	1.6	0.00%
U	92.5	0	71.1	25.8	0.1 mg kg⁻¹
V	94.1	5.8	108.3	1.2	1 mg kg⁻¹
Zn	85.5	2.2	98	3.6	0.2 mg kg ⁻¹

Tabla 7. Porcentajes de recuperación y coeficientes de variación obtenidos delanálisis de ET en los sedimentos superficiales.

7.4.6. Determinación de carbono orgánico y carbonatos en los sedimentos superficiales y núcleos

El procedimiento determina las especies orgánicas más volátiles de carbono. Una muestra de 0.1 g se calentó en un ambiente de oxígeno puro a 380 °C, liberando las especies volátiles orgánicas de carbono, estas se oxidan por el oxígeno para formar CO y CO₂, siendo la mayoría de CO₂. El carbono se midió como el dióxido de carbono en la célula de infrarrojos como el flujo de gases a través de las células de IR. El dióxido de carbono absorbe energía infrarroja en una longitud de onda precisa dentro del espectro infrarrojo. El contenido de carbonatos se determina descomponiendo térmicamente 0.2 g de muestra en un horno de resistencia en un ambiente de nitrógeno puro a 1000 °C, utilizando un ELTRA CW-800- El CO₂ se libera de las trazas de H₂O pasando una trampa de humedad antes de la detección de dióxido de carbono en la célula de infrarrojos. El mecanismo de calibración de la longitud de onda es la misma que el caso anterior, asegurando que sólo al dióxido de carbono (CO₂) se midió. El CaCO₃ se calcula a partir de CO_2 , usando la relación estequiométrica.

7.4.7. Análisis de componentes mayores en sedimentos superficiales por fluorescencia de rayos X

La determinación de componentes mayores se utilizó para la determinación de óxidos. El primer paso consistió en calcinar la muestra a 1050 °C durante dos horas y por pérdida de peso se fue determinando el contenido de H₂O, CO₂, S y otros componentes volátiles. El disco de fusión se hizo mezclando un equivalente de 0.5 g de una combinación de litio y metaborato-tetraborato de litio con bromuro de litio como agente de liberación. Las muestras se fundieron en crisoles de Pt utilizando una fuente automatizada. Las mediciones se hicieron en el espectrómetro de fluorescencia de rayos X con longitud de onda dispersiva marca PANalytical. Los parámetros de calidad del método se muestran en la Tabla 8.

Óxido	Límite de detección (%)
AI_2O_3	0.01
CaO	0.01
Cr_2O_3	0.01
Fe_2O_3	0.01
K ₂ O	0.01
MgO	0.01
MnO	0.001
Na ₂ O	0.01
P_2O_5	0.01
SiO ₂	0.01
TiO ₂	0.01

Tabla 8. Límites de detección del análisis de componentes mayores porfluorescencia de rayos X.

7.4.8. Determinación de la tasa de sedimentación en el núcleo NT

La determinación de la tasa de sedimentación en el núcleo NT se hizo aplicando el método del ²¹⁰Pb, el cual es útil para estimar tasas de sedimentación en un rango de 100-200 años. El ²¹⁰Pb es un elemento radioactivo natural con la vída media de 22.26 años que pertenece a la serie de decaimiento de ²³⁸U. Al estimar la tasa de sedimentación, aplicando la técnica del ²¹⁰Pb, se asume que los sedimentos del océano están recibiendo una entrada constante de ²¹⁰Pb desde la atmosfera (llamado Pb en exceso). En base a esta lógica es posible calcular también la edad de los sedimentos, siendo la base para estimar la tasa de sedimentación. En cuanto a la metodología es común que el ²¹⁰Pb no se mida directamente, ya que actualmente las emisiones alfa del ²¹⁰Po al ser medidas proveen mayor precisión al estimar ²¹⁰Pb, aprovechando la propiedad de equilibrio secular entre ²¹⁰Pb y su nieto el ²¹⁰Po. En el método se supone que el exceso de ²¹⁰Po es la cantidad del isótopo que está en exceso después del producido en los sedimentos por el decaimieto del ²²⁶Ra.

En el caso del nucleo NT solo fue posible estimar la tasa de sedimentación en base a los primeros 4 cm del núcleo. Aunque la entrada de ²¹⁰Pb desde la
atmósfera es en función exponencial, de manera práctica la tasa se calcula graficando el Log₁₀ actividad de ²¹⁰Pb no soportado vs la masa seca acumulada.

7.4.9. Análisis de activación neutrónica de elementos traza en la materia particulada en hundimiento y sedimentos superficiales en Santispac

El análisis por activación neutrónica instrumental (AANI) es una técnica nuclear que permite la determinación cuantitativa de un gran número de elementos. Las ventajas que tiene con respecto a otros métodos analíticos, es que: a) es una técnica instrumental no destructiva; b) entrega en forma simultánea información multielemental; c) para varios elementos se obtienen límites de detección que van desde los mg kg⁻¹ hasta µg kg⁻¹; d) es un método basado en procesos que tienen lugar en el núcleo atómico; e) el estado físico y químico de los elementos no influye en el resultado final y, f) la ausencia de pre-tratamiento de la muestra la hace adecuada para el análisis de trazas. El empleo de AANI ha permitido usarlo ampliamente en diversas investigaciones cuya calidad en el análisis es alta, tanto para sedimentos como otras matrices (biota). Este método ha sido empleado en diferentes estudios realizados a lo largo de la Península de Baja California para determinar la concentración de elementos traza en algas y sedimentos (Shumilin *et al.*, 2000: 2002, 2005a, 2005b; Rodríguez-Figueroa *et al.*, 2010).

La técnica consistió en secar el filtro antes y después de la filtración de la suspensión del colectador de la trampa de sedimento. Los sedimentos previamente secados y homogenizados se preparan para su análisis. Las muestras y los materiales de referencia estándar fueron empaquetados en papel de aluminio e irradiados con neutrones termales (flujo 2.8 X 10¹³ n s⁻¹ cm⁻²). La radiactividad inducida de cada muestra posteriormente 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) (Shumilin *et al.,* 2000).

49

Con este método fue posible obtener el contenido de As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Th, U y los elementos del grupo de tierras raras La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu en la materia particulada en hundimiento. El análisis de las muestras se realizó en el Instituto de Geoquímica y Química Analítica de V.I. Vernadski de la Academia de Ciencias de Rusia (Moscú, Rusia). Para verificar la calidad del análisis se usaron los conceptos de la exactitud o recuperación, que se obtuvieron analizando los materiales de referencia estándar del NIST 1646a de sedimento estuarino (EUA) y otros estándares de referencia certificados, producidos en Rusia (Tabla 9) (Shumilin *et al.*, 2000; 2002).

Tabla 9. Exactitud y límites de detección de los elementos traza analizados por activación neutrónica.

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

7.4.10. Análisis de elementos traza en macroalgas y zooplancton

Las submuestras secas fueron digeridas en agua regia a 95 ° C durante 2 horas. Las soluciones resultantes de las muestras se diluyeron y se analizaron en un equipo de ICP-MS marca Finnegan Mat Element 2 High Resolution. Para el control de calidad del análisis se usó el material de referencia NIST 1575a, los resultados muestran buenos porcentajes de recuperación (Tabla 10).

Tabla 10. Parámetros de control de calidad en el análisis de elementos traza en macroalgas.

	Macroalga	S	Zooplanctor	า	
Elemento	% Recuperación	C. V.	% Recuperación	C.V	Límite de detección
В	118.8	0	135.9	0.5	200 µg kg ⁻¹
Ba	100	0	116.7	0	1 mg kg⁻¹
Ca	91.8	1.5	94.8	0	2 mg kg⁻¹
Cd	101.5	0.3	122.1	0.2	0.1 µg kg⁻¹
Со	106.4	2.2	115.2	1.2	0.5 µg kg⁻¹
Cs	97.3	0.3	107.4	0	0.1 µg kg⁻¹
Cu	110.7	2.7	118.4	0.2	20 µg kg⁻¹
Fe	104.3	0	123.8	1.4	0.5 mg kg ⁻¹
Hg	127.8	0	109	1.6	5 µg kg⁻¹
K	97.1	0.3	112.6	0.5	10 mg kg⁻¹
Mg	85	0.4	92.8	0.5	0.5 mg kg ⁻¹
Mn	96.4	0.8	108.9	1.7	10 µg kg-1
Na	95.2	0	95.2	0	10 mg kg ⁻¹
Ni	102	0	108.8	0	0.1 mg kg ⁻¹
Pb	89.8	0	104.8	4	10 µg kg⁻¹
Rb	101.8	0.8	113.9	0	10 µg kg⁻¹
Sc	99	0	84.2	8.3	1 µg kg⁻¹
Zn	112.4	2.6	125.5	0	0.2 mg kg ⁻¹

7.4.11. Determinación de Hg en macroalgas y medición por espectrofotometría de absorción atómica

Para el análisis de mercurio en las macroalgas se tomó una submuestra de 0.25 g seca y homogenizada y se colocó en un frasco de polietileno, posteriormente se añadieron 4 ml de hidroxitetrametilamonio y se dejó reaccionar por aproximadamente 5 min. Posteriormente la solución se aforó a 25 ml adicionando agua de alta pureza. Luego 500 µl de esta solución se inyectaron al

espectrómetro de absorción atómica con vapor frío y se mezclaron con la solución vehículo (0.1 mol L⁻¹ de HNO₃). La solución resultante se mezcló con KMnO₄ y NaBH₄, ambos a una concentración de 2% (m/v). El vapor de Hg formado fue pasado a través de un separador gas-líquido y transferido a través de un ambiente de argón dentro de un conjunto de celdas de cuarzo. La medición se llevo a cabo usando las curvas de calibración preparadas con Hg (+2). Fue utilizado el modo de medición de altura de pico. El límite de detección fue de 0.1 μ g l⁻¹ (Tao *et al.*, 1998).

7.5. Procesamiento estadístico de los datos geoquímicos

Se obtuvieron los datos estadísticos básicos como valor mínimo, valor máximo, media y desviación estándar de la concentración de los elementos. Se determinó el factor de enriquecimiento usando Sc (zooplancton y MPH) y Al como elemento normalizador para el resto de las matrices.

El factor de enriquecimiento se calculó en base a la siguiente ecuación de acuerdo a Salomons y Förstner (1984):

$$FE = \left(\frac{El}{El \ normalizador}\right) muestra / \left(\frac{El}{El \ normalizador}\right) corteza$$

Donde:

FE = Factor de enriquecimiento

EI = Elemento

El normalizador = elemento normalizador

Esto procedimiento permite eliminar los efectos del tamaño de grano y efectos de dilución por carbonato de calcio, ópalo y cuarzo.

Los datos de elementos de tierras raras serán normalizados con lutita norteamericana, en base a la siguiente ecuación:

EI_N= [EI sedimento] / [EI NASC]

Donde:

El_N= Elemento normalizado

El_{sedimento} = contenido del elemento en el sedimento

El_{NASC}= contenido del elemento en la lutita norteamericana

Se realizó el análisis de factores por el método de componentes principales con rotación varimax para identificar asociaciones entre los elementos con el programa STATISTICA[®] (Daniels, 2005). Se construyeron los mapas de distribución espacial de la concentración y de factores de enriquecimiento de los elementos en sedimentos superficiales con el programa SURFER 8.0[®] para conocer las áreas de acumulación. Las gráficas se construyeron con el programa SIGMA PLOT 11.0[®] y se detallaron con el programa COREL DRAW X3[®].

8. RESULTADOS

8.1. Elementos en las aguas de diferente composición

8.1.1. Elementos traza disueltos en áreas contrastantes de Bahía Concepción

Las concentraciones de los elementos disueltos As, Cu, Fe, Hg y Mn fueron medidas en algunos puntos contrastantes de Bahía Concepción como son los sitios con descargas geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas, además de dos puntos de referencia alejados de las zonas de descargas. Se muestra la concentración de cada elemento en su forma disuelta y particulada, asi como también los parámetros de los valores mínimos, máximos, promedio y desviación estándar (Tabla 11).

Se presentan los datos por zonas de colecta iniciando con áreas, donde no existen descargas como T1 y T2, luego la estación W1 en la zona de las ventilas hidrotermales someras en Mapachitos y finalmente S27 y CV que corresponden a los manantiales geotermales intermareales y LC ubicada en el centro de la laguna adyacente a la Ensenada de Santispac. Tomando como indicadores de condiciones redox al Fe y Mn para la estación T1, podemos ver en la Tabla 9 que sus máximos valores disueltos están en fondo (30 m), lo cual indica que la columna de agua en la superficie (2 m) y parte media (15 m) estuvo preferentemente oxigenada. A esta profundad de 24 m las concentraciones de As y Hg inorgánico disueltos tienen sus valores máximos, aunque el Hg orgánico disuelto predomina en porcentaje (Tabla 11). Por las diferencias amplias entre los valores de Fe y Mn en el fondo con respecto a los de la superficie puede decirse que cerca del fondo en la columna de agua en la estación T1 hay condiciones de reducción.

En la estación T2 los resultados de elementos disueltos son variables, hacia los 15 m y el fondo (26 m) de la columna de agua. Las concentraciones de Mn disuelto aumentan, mientras las máximas concentraciones de Fe disuelto están en la superficie, donde la concentración de Mn es muy pequeña. En este estudio la

concentración de Fe disuelto encontrado es es muy bajo y las mayores contenidos de Fe están en las partículas en todas las estaciones estudiadas.

Es importante resaltar que justo en la superficie la concentración de As disuelto es elevada (52.8 µg l⁻¹), al igual que del Cu (390 ng l⁻¹), mientras Fe y Mn están principalmente en forma particulada (Tabla 11). Una posible explicación es la remineralización de partículas orgánicas a los 2 m de profundidad ya que Hg tiene mayor porcentaje en forma orgánica. En la parte media de la columna de agua la concentración de Mn disuelto es alta (84%) y Hg orgánico tiene sus máximos valores. Puede decirse que las mayores condiciones de reducción en este sitio están desde la parte media de la columna de agua y hacia el fondo. Es resaltable que justo hacia el fondo los porcentajes de Hg inorgánico y Hg orgánico son equivalentes, esto podría indicar que los procesos de remineralización de materia orgánica son de igual significancia.

En el caso especial de Cu, se sabe que tiene afinidad con las partículas, además de ser un micronutriente. Sin embargo en la columna de agua de Bahía Concepción en ambas estaciones (T1 y T2) este elemento está principalmente en fase disuelta, esto favorecería su asimilación por los organismos. Incluso en la zona de las ventilas tanto en la superficie, como en el fondo Cu permanece en forma disuelta. Caso contrario sucede en la fuente geotermal en Santispac, así como en la laguna, donde Cu está en mayor proporción en fracción particulada. Posiblemente por no ser un ambiente abierto, las partículas no se dispersen y se haya logrado detectar mayor concentración de Cu por unidad de masa.

Las concentraciones del resto de los elementos disueltos son más altas en los sitios de descarga. As y Hg predominan en la estación CV, que es la segunda fuente geotermal intensa localizada cerca de Santispac. En el momento de colecta de la muestra la marea fue baja, la temperatura del fluido fue de 58°C, el pH de 7.7 y el oxígeno disuelto de 2 ml l^{-1} .

55

Estación	Ubicación	Mn dis	Mn part	Fe dis	Fe part	Cu dis	Cu part	As dis	As part	Hg dis	Hg part
(profundidad)		(µg l⁻¹)	(µg l⁻¹)	(ng l ⁻¹)	(ng l ⁻¹)	(ng l⁻¹)	(ng l ⁻¹)	(µg l ⁻¹)	(µg l ⁻¹)	(ng kg⁻¹)	(pg kg⁻¹)
T1 (2 m)	Parte	0.15	1.7	245	37380	385	68	2.3	nd	19	11
T1 (15 m)	central-sur	0.2	3.5	196	52490	199	79	3.1	nd	24	10
T1 (24 m)	de la bahía	26.5	2.2	402	43980	125	12	8.4	nd	21	2
T2 (2 m)	Parte	0.04	2.6	769	44350	390	28	52.8	1.4	22	10
T2 (15 m)	central	17.9	3.4	323	37380	372	55	1.2	nd	41	3
T2 (26 m)	de la bahía	12.3	14.5	460	189550	473	50	2.7	nd	22	220
W1 (2 m)		0.4	6.6	160	138700	185	14.3	2	nd	16	4
W1 (5 m)	Mapachitos	28.2	na	769	na	228	na	109	3	12	0
W1* (5 m)		31.3	13	1820	1852100	328	67	14	0.1	45	8
S27 (manantial)	Santispac	700	1241	220	936200	355	1880	177	2.6	18	30
LC (3 m-laguna)	Santispac sur	74	100	811	239700	301	600	72	9.3	18	10
CV (manantial)	Santispac	nd	650	nd	946200	nd	1850	429	20.8	171	280

 Tabla 11. Concentración de ET disueltos en agua colectada en zonas contrastantes de Bahía Concepción.

* Muestra colectada por el buzo directamente en la ventila hidrotermal

na= no analizado

nd= no detectado

En la Tabla 13 se muestran los componentes de Hg en las aguas de diferente composición incluyendo la muestra CV. Es resaltable que los máximos valores las concentraciones de EPT se encontraron en esta muestra, quizás por tener menos mezcla con el agua de mar ya que tiene mayor contenido de Hg inorgánico disuelto, comparando con la forma orgánica de este elemento disuelto. Esto indica que el fluido geotermal o hidrotermal inicialmente tiene poca materia orgánica disuelta y que los complejos orgánicos de este elemento se formaran más tarde, cuando se mezcle con el agua de mar. Tiene además baja concentración de Hg en las partículas, lo que sugiere que a un pH de 7.7 y sin la mezcla con el agua de mar Hg permanecerá principalmente como disuelto en su fase inorgánica. Bajo estas mismas condiciones As si alcanza a formar algunas partículas, probablemente por ser afin al Fe particulado. En este caso 95% de As está en forma disuelta y 5% en forma particulada (Tabla 12).

En el sitio de las ventilas hidrotermales es típico el comportamiento de Mn. En la muestra colectada directamente en la ventila hidrotermal el mayor porcentaje de Mn está en forma disuelta (70.5%), mientras en la superficie predomina la fase particulada (95%). Es claro que la mezcla de los fluidos hidrotermales con el agua de mar permite que este elemento se oxide y forme las partículas. El Fe en esta zona como en el resto de las muestras analizadas predomina en fase particulada. Es de esperarse este comportamiento por las condiciones de la columna de agua oxigenada y la rapidez con que Fe forma las partículas. Sin embargo a pesar de que Cu tiene un comportamiento tipo "scavenging" tanto en el fondo, como en la superficie este elemento está en mayor grado en fase disuelta. Este rasgo es algo particular en este estudio y algo resaltable. La única explicación es que Cu en esta bahía no alcanza a pegarse a las partículas y más bien está siendo constantemente remineralizado y después puede ser asimilado por los organismos en su fase disuelta. Por la importancia de conocer la concentración de los EPT se midió Hg en tres fases: Hg total, Hg inorgánico, Hg orgánico y Hg particulado en las áreas de descarga y zonas alejadas a estas. Hay diferencias notables entre los contenidos de Hg_{org} y Hg_{inorg} disueltos en las zonas de estudio.

En la parte media (estación T2) y sur de la bahía (estación T1), donde no hay influencia por descargas hidrotermales o geotermales, predomina el Hg_{org}, probablemente asociado a la materia orgánica disuelta, producto de la actividad biológica. Los mayores porcentajes del mercurio orgánico disuelto se encuentran en la superficie y parte media de la bahía, mientras hacia el fondo aumenta el porcentaje de Hg_{inorg} disuelto (Tabla 13).

En las estaciones de las manantiales geotermales intermareales y las fuentes hidrotermales someras la concentración de Hgorg es más baja que la concentración de Hg_{inorg.} Tomando en cuenta que los fluidos que emanan de estas fuentes tienen bajo oxígeno, disminuido pH y alta temperatura, estas condiciones podrían favorecer este resultado (Tabla 1). Al parecer esto sucede directamente en la salida de los fluidos, ya que la muestra colectada en la superficie en el sitio de las ventilas presenta mayor concentración de Hgorg. La más alta concentración de Hg (170 ng kg⁻¹) se encontró en la estación CV (Figura 8). Es destacable que esta estación tiene casi 4 veces mayor concentración de Hg que la muestra colectada directamente en la ventila hidrotermal. Una razón podría ser que la estación CV, por encontrarse a la orilla de la playa, tiene menor influencia intermareal, al comparar con el manantial ubicado en Santispac y por lo tanto la mezcla del fluido geotermal con el agua del mar es menos directa. Incluso la fuente geotermal en Santispac no presenta muy alta concentración de Hg disuelto. Aunque el Hg medido en los sedimentos de la fuente en Santispac fué el más alto reportado en este estudio, lo cual indica que algo del Hg que sale al mezclarse con las partículas, se precipita y acumula en los sedimentos cercanos. Probablemente en este manantial el Hg que sale es depositado muy cerca de la fuente y solo una pequeña parte se queda en su forma disuelta. Podría decirse que el manantial de la estación CV tiene mayor aporte. Con respecto al As disuelto, a excepción de la estación T2 a 2m con 54 µg l⁻¹, las concentraciones de este elemento disuelto en las estaciones del centro de la bahía, tienen un rango de $2.3 - 8.4 \ \mu g \ l^{-1}$.

Tabla 12. Proporción de ET (As, Cu, Fe y Mn) en su forma disuelta y particulada de aguas con diferente composición de Bahía Concepción (colecta el 23 de mayo del 2011).

Estación	Ubicación	Mn tot	Mn dis	Mn part	Fe tot	Fe dis	Fe part	Cu tot	Cu dis	Cu part	As tot	As dis	As part
(profundidad)		µg l ⁻¹	%	%	μ g Ι ⁻¹	%	%	ng l ⁻¹	%	%	μg I ⁻¹	%	%
T1 (2 m)	Parte	1.8	8	92	38	0.7	99.3	453	85	15	2.3	100	0
T1 (15 m)	central-sur	3.7	5	95	53	0.4	99.6	277	72	28	3.1	100	0
T1 (24 m)	de la bahía	28.7	92	8	44	0.9	99.1	137	91	9	8.4	100	0
T2 (2 m)	Parte	2.6	2	98	45	1.7	98.3	418	93	7	53	97.4	2.6
T2 (15 m)	central	21.3	84	16	38	0.9	99.1	427	87	13	1.2	100	0
T2 (26 m)	de la bahía	26.8	46	54	190	0.2	99.8	522	91	9	2.7	100	0
W1 (2 m)		6.9	5	95	139	0.1	99.9	93	93	7	2	100	0
W1 (5 m)	Mapachitos	na	na	na	na	na	na	na	na	na	109	97.3	2.7
W1* (5 m)		44.3	71	29	1854	0.1	99.9	395	83	17	13.3	99.4	0.6
S27	Santispac	1941	36	64	936	0.3	99.7	16	16	84	177	98.6	1.4
LC	Santispac	174	42	58	241	0.3	99.7	911	33	67	72	87.1	12.9
CV	sur Santispac	na	na	na	na	na	na	na	na	na	429	95.1	4.9

* Muestra colectada por el buzo directamente en la ventila hidrotermal

na= no analizado

Este valor es incluso mayor a lo encontrado en la muestra colectada por el buzo en la ventila hidrotermal (13. 3 μ g l⁻¹). La muestra tiene 97% de As disuelto y 3% de As particulado (Tabla 12).

Para las concentraciones del arsénico disuelto medidas en el agua de las fuentes geotermales hay algunas diferencias con respecto a las estaciones del centro de la bahía. La más alta concentración de As disuelto fue 429 μ g l⁻¹ en la estación CV (fuente geotermal), seguido por la estación S27 con 177 μ g l⁻¹ (fuente geotermal dentro del manglar) y la ventila hidrotermal somera con 109 μ g l⁻¹ (Tabla 11). En este grupo de muestras se detectó un bajo porcentaje de partículas (1 a 13% de As particulado), mientras que las muestras del centro y sur de la bahía tienen el 100% de As disuelto. Solo la muestra colectada en la superficie justo arriba de las ventilas tuvo 100% de As disuelto. Este hecho demuestra que muy cerca de las fuentes, al parecer las condiciones fisicoquímicas permiten que algo del As disuelto, que se aporta, pase a su fase particulada. Si se compara con Hg, se puede notar que este elemento es menos afín a formar partículas y permanece forma disuelta tanto en los fluidos de las fuentes geotermales e hidrotermales, como en los sitios de referencia al centro de la bahía (T1 y T2).

Estación	Ubicación	Hg inorg dis	Hg org dis	Hg tot dis	Hg inorg dis	Hg org dis	Hg part	Hg tot (dis + part)	Hg tot dis	Hg tot part
(profundidad)		ng l⁻¹	ng l⁻¹	ng l ⁻¹	%	%	pg l⁻¹	ng l⁻¹	%	%
T1 (2 m)	Parte	3.5	15.8	19.3	18.1	81.9	11	19.3	99.9	0.1
T1 (15 m)	central-sur	3.3	20.7	24	13.8	86.3	7	24	100	0
T1 (24 m)	de la bahía	6	15.3	21.3	28.2	71.8	2	21.3	100	0
T2 (2 m)	Parte	3.9	17.9	21.8	17.9	82.1	11	21.8	99.9	0.1
T2 (15 m)	central	6.6	34.2	40.8	16.2	83.8	3	40.8	100	0
T2 (26 m)	de la bahía	11.6	10.8	22.4	51.8	48.2	219	22.6	99	1
W1 (2 m)		4.7	11	15.7	29.9	70.1	4	15.7	100	0
W1 (5 m)	Mapachitos	7.6	4.6	12.2	62.3	37.7	0	12.2	100	0
W1* (5 m)		28.9	16.4	45.3	63.8	36.2	8	45.3	100	0
S27 (manantial)	Santispac	11.8	6	17.8	66.3	33.7	30	17.8	99.8	0.2
LC (3 m-laguna)	Santispac	13.5	4.4	17.9	75.4	24.6	7	17.9	100	0
	Sur de									
CV (manantial)	Santispac	132.6	38.2	170.8	77.6	22.4	284	171.1	99.8	0.2

Tabla 13. Concentraciones y las contribuciones relativas de Hg (disuelto y particulado) en los fluidos geotermales, hidrotermales y agua del mar de Bahía Concepción (colecta el 23 de mayo del 2011).

* Muestra colectada por el buzo directamente en la ventila hidrotermal

8.2. Elementos traza en la MSP de las áreas contrastantes de Bahía Concepción

Las áreas contrastantes de Bahía Concepción se estudiaron con el fin de hacer una comparación entre los valores regulares de los contenidos de los ET en la materia suspendida particulada, con respecto de áreas, donde se puede distinguir algún efecto de sobre los contenidos de los ET en las partículas. Particularmente en sitios, donde puede existir alguna variación en las condiciones redox, como es el caso de las zonas con influencia geotermal, hidrotermal y en la zona profunda de la bahía. Se incluyen los resultados de dos campañas de muestreo.

8.2.1. Zona más profunda de la Bahía Concepción

La estación T1 se considera representativa de la zona con menos influencia por aportes del continente y del Golfo de California, por encontrarse al sur de la bahía en una zona cerrada (Figura 12). Además, este punto se eligió por tener datos registrados de ET en la MPH, donde pudo observarse algunas variaciones en los flujos. Por esta razón se pensó que si existe algún efecto de anoxia en la columna de agua, este sitio sería representativo y los contenidos de los ET en las partículas podrían reflejar efectos en las condiciones redox. En la Tabla 14 se muestran los contenidos de ET en la estación T1 a 3 diferentes profundidades (2 m, 15 m y 26 m), en dos campañas de muestreo (2 de junio del 2010 y 23 de mayo del 2011). Los contenidos de los ET en MSP se comparan con la composición de sedimento superficial colectado en el mismo punto de muestreo, Para el primer muestreo algunos elementos como Al, As, Ba, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, V y Zn tienen sus mayores concentraciones en MSP de la superficie (2 m). Destacan en este grupo elementos abundantes en la corteza terrestre como Al y Ti, la procedencia de estos elementos es el aporte de partículas terrígenas. Algunos elementos de importancia ambiental estan concentrados en las partículas de la superficie en comparación con la parte media y el fondo. Los intervalos para As, Co, Ni, Sb son 6.3-37, 6.4-11, 32-60 y 4.1-18 mg kg⁻¹, respectivamente. En la parte media de la columna de agua, los contenidos de As, Bi, Cs, Mn, Pb, Sb, Se, V y Zn fueron minimos a 15 m de

62

profundidad. Si se utiliza al Mn como indicador de condiciones redox, podría indicarse que la columna de agua en este sitio de muestreo tiene condiciones reductoras ya que los contenidos de Mn particulado son menores con respecto a los valores en la superficie y en el fondo de la columna de agua en ambos periodos de colecta.

Como rasgo particular Zn y Mn tienen contenidos de igual magnitud tanto en la superficie como en el fondo, mientras en la parte media de la columna de agua su contenido es bastante menor (Tabla 14). En contraste elementos como U, Sr y Th presentan un comportamiento inverso, con sus máximos contenidos en la MSP. Por encontrar los mas bajos contenidos de Mcontenidos de U en las partículas de la parte media, sustenta lo antes mencionado, sobre que a esta profundidad posiblemente hay condiciones reductoras. Los elementos Bi, Cr, Pb, Rb y Zn tienen los contenidos mayores en el fondo (Tabla 14). Al comparar los elementos antes mencionados con sus contenidos en los sedimentos de esta estación, los niveles son considerablemente más altos por unidad de masa en las partículas de la colecta del 2010 (Tabla 12). Los rangos para estos elementos en ese orden son 2.4-5.5, 123-198, 44-278 y 961-3365 mg kg⁻¹ respectivamente (para el 2010). Los elementos Bi, Cr, Pb y Zn tienen contenidos mucho más bajos en los sedimentos (Tabla 14). Cabe señalar que estos elementos son afines a las partículas, eso explicaría su alta acumulación con respecto a los sedimentos del mismo punto.

El factor de enriquecimiento de elementos fue calculado con respecto a la corteza usando Al como elemento normalizador. El mayor enriquecimiento fue para Ti tanto en las partículas de la superficie, como en las del fondo, ya que en las partículas de la parte media no fue detectado, probablemente por error en el análisis. La secuencia de mayor a menor FE para las partículas de la superficie (2 m) fue Ti> Se> Sb> Zn> Sn> Mo> Bi> Pb> As> Cd> Cu> Sr> Cr> Mn> Ni> Mg> Li> Co> Cs> V> Ba> U> Th> Rb> Sc>Y. Arsénico a 2 m de profundidad se clasificó como altamente enriquecido (FE=200). Para las partículas de la mitad de columna de agua la secuencia de FE es relativamente diferente (Se> Cd > Sb> Bi> Zn> Sn> Sr> As> Pb> Cr> Mg> Cu> Mo> Ni> Li> U> Cs> Mn> Co> Ba> Th>

Sc > V) con ligero enriquecimiento de U y Sr. Además se clasifica a Se, Cd, Sb y Zn como altamente enriquecidos, siendo algunos de estos elementos utilizados como micronutrientes por los organismos.

Elemento	2	de junio 20	10	23			
	T1 (2 m)	T1 (15 m)	T1 (24 m)	T1 (2 m)	T1 (15 m)	T1 (24 m)	T1 sed.
Al*	0.9	1	1.1	0.09	0.05	1.3	6
As	37	4	6.3	nd	nd	nd	14
Ва	106	85	60	34	21	92	410
Bi	4.1	2.4	5.5	1.5	0.2	0.6	0.07
Cd	2.5	3.6	2.4	1	0.5	2.5	3.4
Со	11	6.4	8.9	1.1	1	38	9.7
Cr	189	193	120	2	11.6	42	91
Cs	1.2	1	1.1	0.3	0.1	1.1	2
Cu	183	58	53	24	10	23	36
Fe	nd	nd	nd	1338	649	8505	3.1
Ge	0.21	0.2	0.3	nd	nd	0.3	0.2
Li	11.2	14.8	11.3	4.7	80	nd	16
Mg*	1.4	2.8	1.5	3.4	5.5	1.8	2.3
Mn	1114	301	1720	61	43	420	325
Мо	39	1.3	3.6	0.9	1.1	2.3	12.4
Ni	60	57.8	31.9	7.2	4.8	27.3	52
Pb	278	26	44	4.5	1.8	11.1	6.4
Rb	4.7	4.7	5.2	3	4.7	7.5	25
Sb	18	3.4	4.1	0.9	0.8	0.7	0.3
Sc	0.3	1	1.1	nd	nd	nd	10
Se	6.5	6.7	5.3	nd	nd	nd	2.2
Sn	87	23	53	9.4	0.7	4.2	nd
Sr	887	3249	803	403	272	437	827
Th	0.7	0.9	0.6	0.04	0.03	0.6	15
Ti	415	nd	196	338	155	4408	3430
U	0.5	1.4	0.8	5.3	11.4	1.6	3.1
V	46	3	15.2	6.3	3.2	23.8	58
Zn	3365	961	2460	211	48	144	49

Tabla 14. Composición elemental de la MSP en la estación T1 (centro sur de la Bahía Concepción) **mg kg**⁻¹; * **en** %.

nd= no detectado

Probablemente a esta profundidad los procesos biogénicos sean de mayor importancia que los aportes litogénicos. Las partículas del fondo tienen secuencia de enriquecimiento muy parecida a las partículas de la superficie. La secuencia de FE fue: Ti> Se> Zn> Bi> Sn> Sb> Cd> Pb> As> Mo> Sr> Mn> Cr> Cu> Mg> Li> Ni> Cs> Co> U> Ba> V> Th> Rb> Sc> Y. Aunque no posible detectar algún proceso redox, los perfiles de temperatura no muestran estraificación en la columna de agua sin embargo, la salinidad presenta algunas variaciones (Anexo 7). Es de destacar el enriquecimiento y alto enriquecimiento para la mayoría de los elementos.

Para el segundo muestreo se observa una composición similar entre las partículas de la superficie y las colectadas a 15 m. Sin embargo, las partículas en el fondo de la columna de agua tienen mayores contenidos de elementos como Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti y V. No se puede explicar concretamente la causa, pero probablemente la resuspensión de sedimento puede ser una de las razones de este comportamiento. Aun así los contenidos de los ET son iguales o más bajas con respecto a la muestra de sedimento colectada en ese mismo punto. Al comparar entre ambos muestreos se puede notar que en el segundo los contenidos de los ET en MSP para la mayoría de los elementos son más bajos.

A diferencia del primer muestreo, los elementos tienen contenidos menores a la composición en la muestra de sedimento colectada en el mismo punto con excepción de Co y Sb. La concentración de Mn en las tres profundidades es casi constante, sin embargo con valores menores a los obtenidos en el primer muestreo. Aunque en general las partículas tienen los contenidos bajos para la mayoría de los elementos. La secuencia de FE para el segundo muestreo es Bi> Cd> Sn> Sb> Zn> Mg> Sr> Mo> Cu> Pb> Li> Cr> Ni> Cs> Ba> Mn> Ti> U> V> Co> Rb> Fe> Be> Th a los 2 m de profundidad. Para las partículas de la parte media de la columna de agua permanece el alto FE para Cd. La secuencia de FE es Sb> Li> Cd> Mg> Bi> Mo> Sr> Zn> Sn> Cu> Pb> Cr> Ni> U> Rb> Ba> Cs> Mn> Co> Ti> V> Fe> Be> Th. Hacia el fondo las partículas permanecen con una composición parecida, no resaltan los elementos terrígenos. La secuencia de FE es Cd> Bi> Sb> Sn> Zn> Mo> Sr> Pb> Ti> Mg> Mn> Cr> Cu> Ni> Cs> U> Ba> Ge> V> Co> Fe> Rb> Be> Th.

8.2.2. Zona central de la Bahía Concepción frente a Mapachitos

La estación T2 corresponde al sitio localizado frente a Mapachitos (lugar de las ventilas hidrotermales someras) a 3 km de distancia en línea recta hacia el centro de la bahía. Se colectó agua a 3 diferentes profundidades (2 m, 15 m y 24 m). La composición elemental de la MSP se muestra en la Tabla 15.

Al comparar los contenidos de ET en la MSP del primer muestreo con las partículas de la estación T1, las partículas de la superficie tienen las mínimas concentraciones para la mayoría de los ET, con excepción de Mo. Además las diferencias entre las concentraciones en las 3 profundidades no son muy marcadas. Incluso elementos como Bi, Co y Mn tienen concentraciones similares en la mitad de la columna del agua y cerca del fondo. Los denominados metales pesados tienen sus contenidos máximos en la MSP en la parte media de la columna de agua. Estos elementos son Cd (2.3 mg kg⁻¹), Cr (196 mg kg⁻¹), Mn (943 mg kg⁻¹), Ni (66.7 mg kg⁻¹), Pb (20.1 mg kg⁻¹), Se (12.8 mg kg⁻¹), Sn (27.2 mg kg⁻¹), Sr (1726 mg kg⁻¹) y Zn (718 mg kg⁻¹). Al comparar los contenidos máximos de estos elementos en la MSP con los valores promedio para la corteza superior (Taylor, 1964), todos los elementos rebasan el valor de referencia, con excepción de Pb. Al comparar con los valores del contenido promedio para los sedimentos superficiales de la bahía (Rodríguez-Meza ,2004), los contenidos de los elementos Cr, Ni, Pb, Se y Sr siguen siendo mayores en las partículas. En contaste la mayoría de los elementos abundantes en la corteza (Al, As, Ba, Bi, Cs, Ge, Rb, Sc y Th) tienen sus contenidos máximos en las partículas cercanas al fondo. Probablemente aquí los procesos de resuspensión sean de mayor importancia que en la zona sur de la bahía. De acuerdo a los resultados se vio un ligero incremento de los contenidos de los elementos en la MSP de la parte media de la columna de agua, los resultados del zondeo con CTD (temperatura y salinidad) mostraron una columna completamente mezclada hasta 18 m de profundidad, para luego disminuir hacia el fondo. Este comportamiento puede explicar las diferencias en los contenidos de las partículas en esta estación (Anexo 7).

Elemento	2	de junio 20	10	23	011	Sedimentos	
	T2 (2 m)	T2 (15 m)	T2 (24 m)	T2 (2 m)	T2 (15 m)	T2 (24 m)	
AI*	0.1	0.5	3.1	0.2	0.1	3.2	2
As	6.4	6.4	13	48	nd	nd	3.7
Ва	13	127	179	54	24	198	136
Bi	0.6	1.3	1.2	0.7	2	1.4	0.03
Cd	0.3	2.3	1.3	4.7	4	3.4	0.1
Co	1.8	7.4	7.3	4.4	4.2	8.3	3.7
Cr	74	196	47	71	57	71	35
Cr	71	186	45	70	56	70	0.7
Cs	1.6	0.5	1.8	0.8	0.6	2.4	10
Cu	47	93	48	24	45	45	7
Fe*	nd	nd	1.7	0.4	0.3	1.7	1.3
Ge	0	0.1	0.4	nd	nd	nd	0.4
Li	4.4	9.9	7.8	nd	77	11	10
Mg*	4.4	7	3.5	1	1.3	1.5	1.2
Mn	238	943	928	217	274	1313	143
Мо	19	9.9	4.4	2.7	2.7	7.1	2.7
Ni	22	67	35	21	17	43	19
Pb	12	20	18	13	16	22	7
Rb	4.7	7.8	17.4	0.6	1	14.6	8.7
Sb	1.6	2	1.3	1.4	1	0.6	1.1
Sc	0.1	1	5.8	nd	nd	4.3	4.3
Se	4.7	12.8	5.1	nd	nd	nd	1.3
Sn	9	27	14	4	3	3	nd
Sr	314	1726	653	852	736	492	nd
Th	0.1	0.3	1.1	0.1	0.08	1.2	1
Ti	7.2	61	1719	962	887	1895	1000
U	0.2	0.7	1.7	0.3	4.9	1.5	1.7
V	8.5	6.9	38	20	16	45	27
Zn	117	718	181	259	207	1140	20

Tabla 15. Composición elemental de la MSP en la estación T2 (centro de la Bahía Concepción) (mg kg⁻¹; * en %).

Otro objetivo fue identificar, la posible influencia de las ventilas hidrotermales someras sobre la composición elemental de las partículas de esta zona. Los indicadores de fuentes hidrotermales As y Mn no tuvieron elevadas

concentraciones en el MPS, las cuales fueron muy a los valores encontrados para los sedimentos de la bahía.

El factor de enriquecimiento en las partículas de la parte central de la Bahía Concepción fue bastante similar a lo encontrado en la zona sur de la bahía. La mayoría de los elementos tuvo un enriquecimiento con respecto al otro sitio (T1). La principal diferencia es que las partículas de esta zona tienen mayor enriquecimiento de Mo, U y V en la parte superficial. Se encontró una secuencia de enriquecimiento, siendo las partículas de la superficie las mas enriquecidas, seguido de las partículas de la mitad de la columna de agua y posteriormente las partículas del fondo. El caso contrario solo lo presentaron Ti y Ba con mayor enriquecimiento las partículas del fondo y menor en las de la superfice. La secuencia de factor de enriquecimiento para las partículas de la superficie (2 m) es Se> Ti> Mo> Sb> Sn> As> Bi> Mg> Cd> Zn> Pb> Cu> Sr> Cr> Ni> Mn> Li> Co> U> V. En la mitad de la columna de agua (15 m) la secuencia de FE es Se> Ti> Sn> Cd> Zn> Sb> Bi> Mo> Sr> As> Mg> Cr> Cu> Pb> Mn> Ni> Li> Ba> Co> U> Cs> Rb> V> Sc> Th> Y. Las partículas del fondo tienen los menores valores del factor de enriquecimiento siguiendo la secuencia Ti> Se> As> Bi> Sn> Sb> Cd> Mo> Zn> Sr> Mg> Pb> Mn> Cu> U> Cs> Cr> Ni> Ba> Li> Fe> Co> V> Sc> Y> Rb> Th.

Las partículas del segundo muestreo tienen una composición similar a las del primer muestreo, los más altos contenidos están en las partículas del fondo, caracterizados principalmente por los metales pesados y elementos terrígenos (Tabla 15). Los contenidos en la MSP para estos elementos sobrepasan los valores de referencia de los sedimentos adyacentes a las ventilas hidrotermales. En este grupo aparecen Ba, Co, Cs, Fe, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Th, Ti, V y Zn. Los contenidos en las partículas del fondo tienen altos contenidos de elementos y lo más probable es que reflejen efectos de resuspensión. Los elementos relacionados a procesos biogénicos como Cd y Sr tienen sus valores máximos en la superficie y media de la columna de agua, respectivamente.

En los tres muestreos a profundidad sobresale el FE de Cd, probablemente por la presencia de organismos planctónicos, sin descartar el aporte de partículas

68

terrígenas. El FE para las partículas a 2 m de profundidad es Cd> Sb> Bi> Zn> Sr> Sn> Mo> Pb> Cr>Cu> Mg> Ni> Cs> Mn> Co> Ti> V> U> Ba> Fe>Be>Th> Rb. Los elementos altamente enriquecidos son de Cd a Mn. En este grupo se incluyen al Sr y Cd, elementos relacionados con procesos biogénicos y los elementos enriquecidos son de Co a Fe incluyendo elementos abundantes en la corteza terrestre. Por tener mayores contenidos de componentes biogenicos en las partículas de la mitad de la bahía, puede suponerse que los procesos biogénicos tienen mayor influencia en la composición de la MSP, seguido por los aportes terrígenos. Con la secuencia muy parecida, los FE para las partículas a 15 m muestran el siguiente orden Cd> Bi> Sb> Li> Zn> Sr> Mo> U> Sn> Pb> Cu> Cr> Mg> Mn> Ni> Cs> Co> Ti> V>Ba> Fe> Be> Rb> Th. En esta secuencia Fe, Ba y V son elementos enriquecidos y de Ti a Cd son elementos altamente enriquecidos. De igual forma en las partículas del fondo, a pesar de tener predominancia de elementos terrígenos mayor a los sedimentos, predominan el Cd y Sr. En este caso tanto elementos de origen biogénico como terrígenos son altamente enriquecidos, lo cual sugiere que hacia el fondo la composición de las partículas refleja algo del aporte biogénico y terrígeno. En las partículas del fondo, exceptuando Cd, la mayoría de los elementos son abundantes en la corteza. La secuencia de FE en el fondo es Cd> Zn> Bi> Mo> Sb> Pb> Sn> Mn> Sr> Cu> Cs> Cr> Mg> Ni> U> Li> Ba> Ge> Ti> Co> V> Fe> Sc> Be> Rb> Th.

8.2.3. Zona de las ventilas hidrotermales en Mapachitos

El aporte de elementos disueltos de las ventilas hidrotermales someras es evidente en este estudio. La temperatura medida directamente en las ventilas fue de máximo 28°C, sin embargo en campañas de muestreo anteriores se han detectado temperaturas de 43°C y pH de 6 en promedio, así como baja concentración de oxígeno disuelto de ~3 ml l⁻¹. Cuando los fluidos hidrotermales se mezclan con el agua de mar, algunos elementos se oxidan rápidamente, formando partículas o bien pegándose ("scavenging") a las partículas previamente formadas. Una muestra fue colectada por el buzo directamente en la salida de los fluidos hidrotermales (Tabla 16).

Las partículas de la superficie son de fuente terrígena ya que se encontró alto contenido de elementos como Al (3%), Ba (193 mg kg⁻¹), Fe (1.8%), Rb (14.8 mg kg⁻¹), Sc (5.8 mg kg⁻¹), Ti (1718 mg kg⁻¹) y U (2.1 mg kg⁻¹) (Tabla 16). El efecto de las ventilas hidrotermales fue posible identificarlo en las partículas del fondo (As y Mn). Los máximos valores para As (150 mg kg⁻¹), Cr (245 mg kg⁻¹), Mn (1744 mg kg⁻¹), Mo (22 mg kg⁻¹), Ni (68 mg kg⁻¹), Pb (83 mg kg⁻¹), Sb (6.9 mg kg⁻¹), Se (10 mg kg⁻¹) y Zn (1396 mg kg⁻¹) están en la MSP del fondo colectadas a 5 m de profundidad, por buceo autónomo. Algunos valores son algo diferentes a la muestra colectada con la botella Niskin a la misma profundidad (Tabla 16). La diferencia entre ambas muestras del fondo en Mapachitos, puede deberse a dos posibilidades: (1) los fluidos al mezclarse con el agua del mar, formen partículas muy cerca del fondo y precipiten muy cerca de las fuentes, i. e., distribución de los elementos en los sedimentos superficiales y (2) que permanezcan disueltos y sean asimilados por los organismos.

En general el factor de enriquecimiento para Se (2352), As (1094), Sb (403), Zn (234), Mo (172) en las partículas de Mapachitos se encontró con valores bajos en la superficie y con tendencia a aumentar en las partículas del fondo, clasificándose como elementos enriquecidos y altamente enriquecidos. Aunque algunos de estos elementos son afines a las partículas de Fe, este elemento no está enriquecido (FE=2), y la mayor probabilidad sería con las partículas de Mn (FE=22) que está altamente enriquecido. Solo algunos elementos como Ba, Rb, Sc, The Y se mostraron como conservativos y diluidos. Aunque en los manantiales geotermales se encontró enriquecimiento de Ba principalmente en los precipitados, las partículas cercanas a las ventilas de Mapachitos no parecen estar enriquecidas en Ba. Las secuencias de los elementos de acuerdo a sus valores de FE en las partículas de la superficie (2 m) fue: Ti> Se> As> Sb> Mo> Bi> Sn> Cd> Sr> Zn> Pb> Mn> Mg> U> Cs> Cr> Cu> Ni> Ba> V> Li> Co> Fe> Sc> Y> Rb> Th. Para la muestra colectada en la ventila la secuencia de los elementos por sus valores de FE fue: Ti> Se> As> Sn> Sb> Bi> Zn> Mo> Cd> Pb> Sr> Cr> Mg> Mn> Cu> Ni> Li> V> Cs> U> Co> Fe> Ba> Rb> Sc> Th> Y.

Elemento		2 de junio 20 ²	10	23 de ma	yo de 2010	sedimentos
mg kg-1; * en %	W1 (2m)	W1 (fondo)	W1 [#] (fondo)	W1 (2m)	W1 (fondo)	ventila
AI*	3	0.7	0.3	0.3	0.3	9.4
As	37	150	68	nd	2997	151
Ва	193	59	25	41	91	759
Bi	1.3	4.2	1	nd	0.9	nd
Cd	1.3	1.4	0.4	5.8	6.1	0.1
Со	8.5	5.3	2.6	4.9	4.1	13
Cr	59	245	103	99	231	65
Cs	1.8	0.9	0.5	1.6	3.8	17
Cu	32	99	29	18	53	18
Fe*	1.8	0.9	0.6	0.8	15	4.9
Ge	0.6	0.6	0.3	nd	7.1	0.6
Hg µg kg⁻¹	nd	nd	nd	0.1	0.2	143000
Li	7.3	11	7.3	15	nd	20
Mg*	2.2	4.5	3.2	0.7	3	1.7
Mn*	0.1	0.2	0.2	0.03	0.1	0.05
Мо	17	22	4	4.3	8.9	0.4
Ni	36	68	28	26	59	28
Pb	24	83	48	13	101	7.3
Rb	14.8	7	3.8	nd	1.7	38
Sb	2.4	6.9	2.7	1.3	7.2	0.7
Sc	5.8	1.4	0.4	nd	nd	14
Se	8.3	10	4.6	nd	nd	0.7
Sn	16	74	24	4	17	nd
Sr*	0.2	0.2	0.06	0.08	0.1	0.08
Th	1.1	0.5	0.2	0.2	0.5	2.9
Ti	1718	142	8	1982	3771	4500
U	2.1	0.8	0.8	0.5	9.8	1
V	55	65	41	38	480	100
Zn	376	1396	291	670	1498	48

Tabla 16. Composición elemental de la MSP en la estación W1 (zona hidrotermalen Mapachitos).

[#]Agua colectada por el buzo directamente en la ventila hidrotermal somera

La segunda muestra del fondo tomada con la botella Niskin tiene una secuencia de FE algo similar, aunque algunos elementos como Co, Fe, Mn y U aumentan su factor de enriquecimiento comparando con la muestra colectada directamente en la ventila, mientras Cd, Cu, Mo y Zn disminuyen su FE. La secuencia de FE fue: Se> As> Sb> Ti> Sn> Bi> Zn> Pb> Mo> Cd> Sr> Mn> Mg> Cr> Cu> Ni> Li> U> V> Cs> Fe> Co> Ba> Rb> Y> Sc> Th.

8.2.4. Zona de las fuentes geotermales en la Ensenada de Santispac

En la zona de Santispac se colectaron las muestras en 2 estaciones. La primera directamente en la fuente geotermal S27, la segunda a unos metros de la fuente justo al centro la laguna de manglar. Los resultados se muestran en la Tabla 17. Los fluidos geotermales están en una zona intermareal adyacente a la laguna. Estos tienen alta temperatura de 56°C, oxígeno disuelto indetectable (debido a la técnica de cuantificación) y pH de 7.6. Las partículas colectadas en fuente geotermal mostraron altos contenidos de As, Ba, Co, Cs, Cu, Li, Rb, Sb, Se, Sr, U, V y Zn. Particularmente, los contenidos de Zn, Cu, Co, Ba y As fueron el doble o mas comparado con la estación en el centro de la laguna (L-C). En contraste, las partículas de la laguna tienen contenidos mas elevados en Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Sr. Las diferencias más marcadas son para Mn con 30130 mg kg⁻¹ (S-27) en las partículas de la fuente y con 66690 mg kg⁻¹ (L-C) en las partículas del centro de la laguna. En base a lo anterior se puede suponer que cuando los fluidos geotermales se mezclan con el agua de la laguna, se da la formación de partículas como oxihidróxidos de Fe y Mn.

Para todos los elementos se hizo la comparación con los sedimentos de la laguna de manglar previamente colectados (Tabla 17). Sorprendentemente las partículas de la laguna tienen valores más altos a los valores promedio reportado para los sedimentos. Bajo este resultado es evidente que la laguna juega un papel importante en el comportamiento de elementos, ya que es aquí donde se forman las partículas que luego se transportan hacia la zona adyacente en la Ensenada de Santispac.

	JL	unio 201	L O	1	Mayo 2011		sedimentos	sedimentos
Elemento	CV	S27	LC	cv	S-27	L-C	S-27	LC
Al*	4	4.4	3.0	1.7	6.4	2.9	3.7	0.9
As	310	162	52	86	116	nd	111	4.7
Ва	1790	340	170	410	660	130	315	89
Bi	0.4	11.0	4.5	0.6	1.6	3.3	nd	nd
Cd	0.4	27.7	0.8	0.3	267	21.6	nd	nd
Со	41	74	16	12	115	9	35.8	2.5
Cr	32	139	308	23	75	127	16.1	9.6
Cs	26	29	11	14	67	24	28.4	2.2
Cu	413	123	80	184	627	521	23	4.0
Fe*	2.4	1.4	1.8	0.9	3.1	2.0	2.0	0.3
Ge	5.5	6.7	1.1	1.4	9.2	1.6	nd	nd
Hg**	na	na	na	0.1	9.4	nd	25200	7600
Li	16	24	12	16	47	8	nd	nd
Mg*	4	2.6	3.5	2.2	3.8	2.4	2.2	1.4
Mn*	2.7	3.0	6.7	0.6	4.1	0.9	0.25	0.02
Мо	3.3	17.4	6.8	1.7	37.6	61.6	n.d.	n.d.
Ni	21	30	88	14	45	47	16.7	5.32
Pb	16	49	33	10	27	64	4.6	1.4
Rb	41	53	24	21	89	28	32	3.1
Sb	1.6	18	3.7	0.3	4.2	45.2	1.3	0.5
Sc	6.0	7.0	6.3	3.1	10.8	1	7.7	1.8
Se	2.0	11	6.7	nd	4.8	nd	9.9	1.6
Sn	6.0	54	30	1.2	5.9	28	n.d.	n.d.
Sr	3500	730	1200	6000	760	800	200	3138
Th	1.4	2.4	1.7	1.1	3.6	2	2.4	0.3
Ti	1800	5700	1610	830	3400	3000	210	700
U	6.4	8.7	3.0	5.8	17.7	3.1	16	2.0
V	59	168	48	19	183	56	n.d.	n.d.
Zn	242	1838	825	459	9.4	779	54	9.2

Tabla 17. Composición elemental de la MSP adyacente a los manantiales geotermales y la laguna adyacente (**µg kg-1; mg kg-1; * en %).

na= no analizado; nd= no detectado.

Otra fuente geotermal fue encontrada a medio kilometro de la laguna en Santispac (CV), es interesante comparar porque al parecer esta fuente es menos afectada por la marea, ya que esta en la playa. Los parámetros físicos resultaron en pH de 7.0, oxígeno disuelto 1.2 ml L⁻¹ y temperatura de 60°C. Esta muestra

(CV) tiene la mayor concentración de As (310 mg kg⁻¹) comparando con la fuente principal en la laguna de manglar (S27), además de Ba, Cu, Fe y Sr. Las partículas de esta fuente son las más enriquecidas en esta zona de estudio (Tabla 15).

El factor de enriquecimiento en las partículas de la zona geotermal presentó abundancia de elementos terrígenos Ti y algunos elementos redox sensibles como As, Cd, Mo y U. El FE de las partículas de la laguna de manglar adyacente a los manantiales geotermales indicó que son más enriquecidas que las partículas de la fuente geotermal. Los elementos altamente enriquecidos fueron As, Bi, Cd, Se, Sb, Ti y Zn. Por tener en esta zona dos fuentes geotermales una en el manglar y otra a unos metros, se compararon las dos fuentes. Para algunos elementos como Mg, Li y Ti no hay diferencia entre ambas fuentes. En contraste la fuente en el manglar tiene partículas más ricas en Bi, Cd, Cr, Pb, Mn, Mo, Ni, Sb, Se y Zn. Mientras las partículas de CV son más ricas en As, Cs, Sr y U. En ambas fuentes las partículas fueron empobrecidas en Fe, Rb, Sc y Th y V.

Para las partículas del manantial de la zona de manglar (S-27) la secuencia de enriquecimiento fue Ti> Se> Mn> As> Bi> Sb> Sn> Zn> Mo> Cd> Cs> Sr> Cr> Pb> Mg> Cu> Ni> U> Co> Li> Ba> V> Fe> Sc> Y> Th. Para las partículas del centro de la laguna la secuencia de enriquecimiento fue Ti> Se> Cd> Sb> As> Bi> Mn> Sn> Zn> Mo> Cs> Pb> U> Co> Cu> Sr> Cr> V> Li> Mg> Ba> Rb> Ni> Sc> Y> Fe> Th. Para las partículas de la fuente CV-1 la secuencia de FE fue Ti> As> Se> Mn> Sr> Cs> Sb> Cu> Ba> Zn> Sn> Bi> U> Mo> Cd> Mg> Co> Pb> Li> Y> Rb> V> Fe> Cr> Ni> Sc> Th. En las tres secuencias Ti tiene mayor FE, sin embargo otros elementos terrígenos como Sc y Th fueron siempre empobrecidos.

En las partículas del segundo muestreo los mayores contenidos de elementos se encontraron en los sedimentos del manantial geotermal. Por la alta concentración de Fe y Mn en las partículas del manantial, se suponen condiciones oxidadas para la formación de oxihidróxidos de Fe y Mn, lo que favorece la acumulación de otros elementos. En el primer muestreo Fe y Mn estuvieron más altos en las partículas de la laguna y la mayoría de los elementos también estuvieron con las mayores concentraciones en esta zona (Tabla 17). En la

estación CV al igual que en el primer muestreo la concentración de elementos en las partículas fue menor con respecto a las del manantial en Santipac y a las partículas de la laguna, lo cual puede ser asociado a la baja concentración de oxígeno, el bajo pH y la alta temperatura que favorece la permanencia de elementos en fase disuelta. Se calculó el factor de enriquecimiento para las partículas de los manantiales geotermales S27 y CV, así como también para las partículas de la laguna. La secuencia de FE para el manantial CV es As>Sr>Mn> Zn> Cs> Bi> Cu> U> Sb> Cd> Mo> Mg> Ba> Ge> Pb> Li> Sn> Co> Be> Rb> Cr> Ni> Fe> Ti> Sc> V> Th. En esta secuencia destacan como altamente enriquecidos elementos redox sensibles como As y Mn, típicamente aportados por este tipo de fuentes. La secuencia de FE para el manantial S27 en Santispac es Cd> Se> As> Mn> Mo> Cs> Sb> Cu> Bi> U> Ge> Co> V> Sn> Zn> Li> Pb> Sr> Mg> Ba> Rb> Cr> Be> Ni> Ti> Fe> Sc> Th. En el manantial S27 elementos Cd y Se son altamente enriquecidos, probablemente por encontrarse en una zona está dentro del manglar, donde los procesos biológicos podrían tener alguna influencia. Arsénico, Cu, Mn, Mo, U y otros elementos están altamente enriquecidos. Por la mezcla de los fluidos geotermales con el agua de mar este grupo de elementos forma partículas en condiciones oxidadas y con alto pH. El factor de enriquecimiento en las partículas de la laguna es Sb> Cd> Mo> Bi> Sn> Zn> Cu> Mn> Cs> Pb> Sr> Cr> U> Ge> Ni> Ti> V> Li> Fe> Co> Rb> Ba> Be> Th> Sc. El As no fue detectado y resaltan otros elementos como Sb y Cd, probablemente por la mezcla con partículas presenten en el agua de mar. La mayoría de los elementos incluyendo los terrígenos como Fe y Sc están enriquecidos. Es de esperarse por ser una laguna semicerrada que recibe tanto los fluidos hidrotermales como el agua de mar adyacente de la Ensenada de Santispac.

8.2.5. Zona de las fuentes de aguas subterráneas en El Remate

Las fuentes de aguas subterráneas se encuentran al sur de Bahía Concepción, en tres pozos localizados en la orilla de la playa. La composición de las partículas de los pozos de agua subterránea se compararon con los otros dos tipos de fuentes (geotermales e hidrotermales someras). Cabe mencionar que el agua de uno de los pozos es utilizada por una familia de pescadores para labores domesticas.

Las partículas de los pozos de aguas subterráneas tienen los mayores contenidos encontrados en toda la Bahía Concepción para la mayoría de los elementos en especial As. Probablemente por estar en la playa y no tener contacto con el agua de mar, la mayoría de las partículas sean terrígenas y la formación de partículas autigenas sea menor. Otra opción es que efectivamente las aguas subterráneas sean ricas en elementos disueltos que después se oxidan y se vuelven afines a las partículas (Tabla 18).

Los más altos contenidos están en el pozo tres que se encuentra más al sur de la bahía (Tabla 18). Es de resaltar la alta concentración de As con 983 mg kg⁻¹, así como de Fe (56%) y Mn (5.4%). Los contenidos de elementos en las partículas de los pozos fueron comparados con sedimentos cercanos a los pozos. Aluminio tiene un intervalo de 13 – 29 % en las partículas con respecto al contenido de Al en sedimentos de 6 %. Arsénico es alto en las partículas comparadas con los sedimentos con intervalo de 19 – 983 mg kg⁻¹ contra 6 mg kg⁻¹ en los sedimentos. Las partículas de los pozos tienen alto contenido de Mn con 1.1 – 5.4% contra 0.0341% en los sedimentos. Al igual que para Zn con 1391 – 34051 mg kg⁻¹ en las partículas y 43 mg kg¹ en el sedimento.

El factor de enriquecimiento para las partículas de los tres pozos de agua subterránea mostró los altos valores de enriquecimiento para casi todos los elementos, encontrándose en el rango de FE de 10 a 100 clasificándolos como altamente enriquecidos. Resaltan en este grupo Ti, Cr, Mn, Ni (pozo 3), Zn, As, Se, Sn, Sb, Pb y Bi. La secuencia de FE para el pozo 1 fue Ti> As> Se> Sb> Bi> Sn> Zn> Pb> Mn> Cd> Cr> Cu> Ba> Sr> V> Fe> Mo> Cs> Mg> Co> Li> U> Ni> Y> Sc> Rb> Th. La secuencia de FE para el pozo 2 fue Ti> Se> Bi> Sn> Sb> Zn> Pb> Mn> As> Cd> Cu> Cr> Co> Mo> Cs> Sr> Ni> Mg> V> Li> U> Ba> Sc> Th> Rb> Y> Fe. La secuencia de FE para el pozo 3 fue: Ti> Se> Bi> Sn> As> Sb> Zn> Ni> Pb> Mn> Cr> Cd> Mo> Cu> Co> Sr> Cs> Fe> Li> Mg> U> V> Sc> Ba> Th> Rb> Y.

		Junio 2010		Sedimento
Elemento	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	P1
AI*	3	1.6	13	6
As	940	20	980	6
Ba	2900	130	570	460
Bi	8	9	190	1.1
Cd	2	0.8	5.1	2.1
Co	40	60	440	10
Cr	900	350	2700	120
Cs	6.4	4.3	32	1.1
Cu	400	200	1100	30
Fe*	15	0.1	56	3
Ge	4.8	0.5	13	0.3
Li	23	13	160	12
Mg*	4.3	2	14	2.2
Mn*	1.8	1.1	5.4	0.03
Мо	4.1	3.4	34	4.6
Ni	37	84	19600	55
Pb	270	180	2300	5.5
Rb	16	9	85	21
Sb	13	8	10o	0.2
Sc	4.4	3.6	40	10
Se	20	12	116	1.1
Sn	73	83	1370	0.2
Sr	2490	450	4900	nd
Th	1.2	1	10	10.5
Ti	920	930	3900	3590
U	2.9	1.1	15	2.1
V	840	100	590	60
Zn	1830	1390	34100	43

Tabla 18. Composición elemental de la MSP en pozos de agua subterránea al surde la Bahía Concepción (mg kg-1; * en %).

8.2.6. Elementos de tierras raras en las partículas de Bahía Concepción

Los elementos de tierras raras en las partículas de algunas zonas contrastantes de Bahía Concepción mostraron algunas diferencias. Los datos de concentración de lantánidos fueron normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC).

8.2.6.1. Zona más profunda de la Bahía Concepción (T1)

En la zona más profunda de la bahía las partículas colectadas en la superficie tuvieron elevada concentración de los lantánidos ligeros, además de presentar una anomalía positiva de Eu y Tm. Este patrón no se encontró en ninguna otra área. En las partículas de la mitad de la bahía no fue posible medir los lantánidos ligeros. En las partículas del fondo aunque las concentraciones son muy bajas, el patrón muestra una marcada anomalía positiva de Eu con un ligero incremento en los lantánidos pesados (Figura 18a).

En el segundo muestreo se repite la anomalía positiva de Eu en las partículas de las tres profundidades y hay un incremento en lantánidos ligeros con respecto a los lantánidos pesados. La principal diferencia entre estas muestras es que las partículas del fondo tienen mayor contenido de lantánidos, probablemente asociado a la cercanía con los sedimentos superficiales (Figura 18b).

8.2.6.2. Zona central de la Bahía Concepción frente a Mapachitos (T2)

Los patrones de lantánidos en las partículas de la parte central de la bahía fueron idénticos para la parte superficial y media de la columna de agua, aunque con diferencias en los contenidos ya que las partículas de la superficie tienen menores valores con respecto a las de la parte media de la columna de agua. Ambos patrones se caracterizan por bajo contenido de lantánidos ligeros, una marcada anomalía positiva de Eu y alta variabilidad en los lantánidos medios y pesados tendiendo al incremento en los pesados con anomalía positiva de Tm. Es sobresaliente que las partículas cercanas al fondo en esta área tengan un patrón completamente diferente con una anomalía positiva de Eu ligeramente marcada y tanto los lantánidos ligeros y pesados se muestran sin variaciones casi con la misma concentración (Figura 19).

Ya que los patrones en esta área son diferentes podría decirse que las partículas provienen de dos fuentes. Por la similitud con los patrones de la parte central-sur de la bahía se puede mencionar que las partículas de la superficie y la parte media tienen un origen mas terrígeno, mientras el patrón normalizado de los lantánidos con NASC para las partículas del fondo similitud el patrón de las partículas colectadas en la parte superficial en el sitio de las ventilas (Figura 19 y 20).

En el caso de las partículas en esta zona para el segundo muestreo, se encontró el mismo patrón a las 3 profundidades. Con anomalía positiva de Eu y similar contenido de elementos de tierras raras ligeros y pesados. En este caso este patrón es más parecido al patrón de los sedimentos superficiales de la Bahía Concepción. Probablemente la composición de las partículas en T2 sea más aporte de partículas terrígenas (Figura 19b).



Figura 18. Patrones de lantánidos/NASC en la estación T1: a) 2 de junio 2010; b) 23 de mayo 2011.



Figura 19. Patrones de lantánidos/NASC en la MSP de la estación T2: a) 2 de junio 2010; b) 23 de mayo 2011.

8.2.6.3. Zona de las ventilas hidrotermales en Mapachitos (W1)

Las partículas de la zona hidrotermal somera en Mapachitos tienen patrones completamente diferentes. En la muestra colectada por el buzo directamente en las ventilas es muy similar al encontrado en las partículas del fondo frente a Mapachitos (estación T2). Sin variaciones aparentes, con una ligera anomalía positiva de Eu y casi constantes valores para lantánidos ligeros y pesados. Sin embargo las muestras colectadas con la botella Niskin en la superficie y en el fondo en el sitio de las ventilas tienen el mismo patrón variando solo en los valores, ya que la primera tienen razones lantánidos/NASC casi del doble. La única diferencia entre estos dos patrones es que las partículas del fondo tienen mucho mayor concentración de La. Ambos presentan anomalía positiva de Eu, además de anomalía positiva de Tb y Tm, seguido por una ligera tendencia al incremento de lantánidos pesados. Los tres patrones se presentan en la Figura 16. En el segundo muestreo los patrones en ambas profundidades tienen un patrón parecido. Presentan anomalía positiva de Eu, sin embargo en el fondo las razones lantánidos/NASC son mucho mayores. Además en las partículas de las ventilas se muestra una anomalía negativa de Ho y variaciones considerables en los lantánidos pesados (Figura 20b).

8.2.6.4. Zona de las fuentes geotermales en Santispac

Los patrones en la fuente geotermal en Santispac son bastante similares al encontrado para las partículas de la laguna adyacente a este manantial. Con ligeras diferencias como que la anomalía positiva de Eu es un poco más elevada en las partículas de la laguna, además de que los lantánidos pesados (Yb y Lu) tienden al incremento. En general no se muestra una gran variabilidad entre las razones lantánidos/NASC. Ambos patrones son parecidos al patrón de las partículas de la superficie en el sitio de las ventilas hidrotermales y son mostrados en la Figura 21.



Figura 20. Patrones de lantánidos/NASC en la estación W1: a) 2 de junio 2010; b) 23 de mayo 2011.

Algo a resaltar es que las partículas de la segunda fuente geotermal tienen un patrón completamente diferente y se podría decir inverso. Con altas razones de lantánidos ligeros con tendencia a la anomalía negativa de Eu y más marcada anomalía negativa de Tb. Además de un incremento en los lantánidos pesados. Curiosamente este patrón es muy parecido al encontrado en el pozo 1 de aguas subterráneas ubicado al sur de la bahía.

En las partículas del segundo muestreo en la zona de fuentes geotermales tienen patrones no muy claros. En la estación CV el patrón mostro un incremento en los ETR ligeros, una muy leve anomalía positiva de Eu y una tendencia a decrecer en lantánidos pesados. En la estación S27 del manantial geotermal los lantánidos ligeros tienen menores razones normalizadas con respecto a los pesados, con tendencia a la anomalía positiva de Eu. El caso contrario sucede en las partículas de la laguna donde los lantánidos ligeros tienen mayores proporciones respecto а los pesados. Independientemente con del comportamiento de lantánidos ligeros y pesados la principal característica de estas partículas es la anomalía positiva de Eu típica de ambientes hidrotermales (Figura 21).

8.2.6.5. Zona de las fuentes de aguas subterráneas en El Remate

Al sur de la bahía se localizaron 3 pozos de aguas subterráneas que no tienen contacto con el agua de mar, están a unos metros de la orilla de la playa. A pesar de que se supone que estos pozos tienen el mismo origen los patrones del pozo1 son completamente diferentes a los del pozo 2 y 3 (estos últimos son muy similares). El patrón del pozo 1 es bastante parecido al reportado para la fuente geotermal (CV) en Santipac, presentando anomalía negativa de Eu con una tendencia al incremento tanto de lantánidos ligeros como La y Ce y lantánidos pesados como Lu. Sin embargo las variaciones en las razones son bastante suaves sin anomalías muy marcadas. Este patrón se muestra en la Figura 18.

El patrón del pozo 2 y 3 tienen una alta anomalía negativa de Eu aunque difieren en sus razones lantánidos/NASC. En el pozo 2 la más alta razón es para Eu con 0.26, mientras en el pozo 3 esta alcanza hasta 2.5. En ambos patrones
hay una variación en los lantánidos medios y pesados con tendencia al aumento con respecto a los lantánidos ligeros. Lo más destacable es que el pozo 3 tiene mayores razones para los lantánidos normalizados, al igual que para la mayoría de los elementos traza, donde se encontró que las partículas de este pozo tienen muy alto FE. Ambos patrones se muestran en la Figura 22.



Figura 21. Patrones de lantánidos en la MSP de los manantiales geotermales y la laguna en Santispac: a) 2 de junio 2010; b) 23 de mayo 2011.



Figura 22. Patrones de lantánidos/NASC en la MSP de los pozos de agua subterránea al sur de la bahía.

8.3. Materia particulada en hundimiento (MPH)

Los contenidos del MPH aumentaron en los flujos de particulas colectadas a partir del 31 de enero de 1996 (a partir de BC6), ya que los flujos son doblemente mayores con respecto al primer periodo (Tabla 19). Probablemente, en este periodo ocurrió algún evento como la formación de partículas autigenas o mayor aporte de partículas terrígenas, que provocó mayor aporte de material particulado. La composición química de este material puede dar alguna idea de los eventos que pudieron ocurrir. Principalmente con elementos de origen terrígeno como Sc y Fe.

Muestra	Flujo de masa total	
BC-1	0.36	
BC-2	2.79	
BC-3	1.48	
BC-4	1.93	
BC-5	0.34	
BC-6	161.7	
BC-7	11.3	
BC-8	741.6	
BC-9	74.9	
BC-10	14.6	
BC-11	187.1	
BC-12	286.2	

Tabla 19. Flujos de masa total (mg m⁻² d⁻¹) de la MPH colectada en Bahía Concepción.

Los valores máximos, mínimos, el promedio y la desviación estándar de las concentraciones de los elementos mayores y traza del MPH de Bahía Concepción, son comparados con los datos de sedimentos superficiales bajo la trampa sedimentaria y con los valores de la corteza continental (Taylor, 1964) (Tabla 20).

Los elementos As, Br, Ca, Cr, Se, Sb, Sr, y U en promedio presentaron contenidos mayores a la corteza. Al comparar los contenidos del MPH con los contenidos en los sedimentos superficiales bajo la trampa se pueden indicar algunas particularidades. Los contenidos de Br, Cs, Co, Hf y Th no tienen variación de concentración entre los periodos y tienen una composición similar a los sedimentos bajo la trampa. Estos elementos generalmente son considerados como conservativos ya que no son sensibles a cambios fisicoquímicos en la columna de agua y generalmente son partículas terrígenas (Salomons y Förstner, 1984). El porcentaje de material litogénico calculado a partir del contenido de Sc, existe un mayor aporte de partículas litogénicas en el segundo periodo con cerca del 40%. Este valor no es tan alejado del porcentaje litogénico de los sedimentos bajo la trampa. El primer periodo donde los flujos de MPH eran bajos, la

composición química permite señalar que pudieron presentarse condiciones de reducción en la columna de agua, ya que elementos redox sensibles como As, Cr, Sb y U afines a formar partículas en tales condiciones tienen elevados contenidos.

	Contenido	Contenido	Corteza
Elementos	1er periodo	2do periodo	
A	<u>12 - 25</u>	<u>7 - 14</u>	4.0
AS	19±5	10.2±2.7	1.8
5	<u>25-70</u>	<u>12 -71</u>	o =
Br	42±17	31±22	2.5
0.	<u>0.8-2.9</u>	<u>4.5-13.4</u>	4.0
Ca	1.9±0.9	7.9±3.3	4.2
0-	<u>10 - 30</u>	<u>8 -13</u>	05
Co	15±9	11±2	25
0	<u>429-3449</u>	<u>40-91</u>	100
Cr	1683±1098	70±18	100
0-	<u>0.5-3.8</u>	<u>1.3-3.6</u>	2
Us	1.9±1.2	2.6±0.9	3
Γ.	<u>1.6-4.5</u>	<u>1.3-3.9</u>	5.0
Fe	2.4±1.2	2.8±1.1	5.6
1.14	<u>0.1-3.2</u>	0.7-2.4	0
Hī	1.2±1.2	1.6±0.7	Z
Oh	<u>1.0-4.4</u>	<u>0.1-0.9</u>	0.0
50	2.5±1.2	0.4±0.3	0.2
0.	<u>1.7-8.9</u>	<u>03 - 13</u>	00
50	4.2±2.8	9±4	22
C.	<u>3 - 18</u>	<u>0.01-1.4</u>	0.05
Se	<u>7±7</u>	0.4±0.5	0.05
<u>C</u> .	<u>110-1060</u>	<u>398-1910</u>	275
31	<u>409±376</u>	981±518	375
ТЬ	<u>1.1-6.4</u>	<u>0.6-2.5</u>	0.6
	<u>3.1±2.2</u>	1.7±0.8	9.0
11	<u>11 - 31</u>	<u>1.3-7.5</u>	27
0	<u>22±8</u>	3.1±2.1	2.1
75	<u>2740-9980</u>	<u>100-420</u>	70
۷۱	5441±3064	<u>221±136</u>	70
% del material litogénico	19	<u>39</u>	

Tabla 20. Contenido de elementos mayores (Fe y Mn en %), traza (mg kg⁻¹) y porcentaje de material litogénico en MPH y sedimentos superficiales de Bahía Concepción.

Cromo, U y Zn también presentan elevados. Los flujos de masa total fueron mayores en el segundo periodo, al igual que la composición litogénica algunos otros elementos del MPH, tienen contenidos similares de As, Ca, Cr, Sb, Sc, Sr, U y Zn en los sedimentos bajo la trampa.

En este grupo se incluyen elementos relacionados con las partículas biogénicas como Ca y Sr. En el segundo periodo predominaron las partículas terrígenas, probablemente como producto de la resuspensión de sedimentos. Otra teoría puede ser que durante el fenómeno de El Niño de 1997-1998, aguas del océano pacifico penetraron hasta el Golfo de California con partículas ricas en elementos redox sensibles como U. Al igual que se encontraron algunas diferencias entre el contenido de elementos traza en los periodos, los elementos de tierras raras también muestran claras diferencias.

8.3.1. Contenidos de lantánidos y patrones normalizados en la MPH colectada en Bahía Concepción

Los elementos en tierras raras en la MPH se normalizaron con la lutita norteamericana (NASC). En los patrones obtenidos se encontraron valores menores a la lutita en ambos periodos, es decir todos las razones lantánidos/NASC son menores a uno (Figura 22). Los datos de los contenidos promedio de lantánidos normalizados indican dos tendencias, durante el primer periodo de muestreo se observó una anomalía negativa de Eu que para el segundo periodo se vuelve positiva.

El patrón de los contenidos normalizados de los lantánidos del segundo periodo de muestreo coincide con el patrón de los sedimentos superficiales, localizados bajo la trampa de sedimento (Figura 23).

89



Figura 22. Patrones de lantánidos/NASC del MPH de Bahía Concepción: a) primer periodo; b) segundo periodo.



Figura 23. Patrones normalizados de lantánidos/NASC de los sedimentos bajo la trampa de sedimentos (estación T1).

8.3.2. Factor de enriquecimiento en la MPH de Bahía Concepción

Los mayores factores de enriquecimiento se presentaron durante el primer periodo para As, Cr, Sb, Se, U y Zn. En el segundo periodo elementos como Ca y Sr tuvieron mayor factor de enriquecimiento lo que hace pensar que las partículas en ese periodo son ricas en material biogénico.

La secuencia del factor de enriquecimiento para el primer periodo fue Se (739)> Zn (524)> Cr (105)> Br (104)> Sb (97)> As (69)> Ni (60)> U (52)> Sr (6.5)> Cs (3.1)> Ca (2.8)> Fe (2.5)> Th (1.6)> Hf (0.06). Y para el segundo periodo fue Se (224)> Br (31)> As (19)> Zn (15)> Sr (9)> Sb (7)> Ca (6.9)> Ni (6.5)> U (5)> Cs (2.4)> Sr (2.2)> Co (1.4)= Fe (1.4)> Th (0.5)> Hf (0.05) (Figura 24).

Para la mayoría de elementos se encontró, que a mayor flujo de material correspondió un mayor factor de enriquecimiento.



Figura 24. Factor de enriquecimiento promedio de los elementos en la MPH en los dos periodos de estudio.

8.3.3. Flujos de elementos particulados

Los flujos promedio en ng m⁻² d⁻¹ para cada elemento por periodo se muestran en la Figura 25 en escala logarítmica. La secuencia de elementos de mayor a menor flujo es la siguiente en el primer periodo es Fe> Ca> Zn> Cr> Ni> Sr> Br> U> As> Cu> Co> Se> Sc> Th> Sb> Cs> Hf, y para el segundo periodo es Sr> Ca> Zn> Ni> Fe> Cr> Br> Co> As> Sc> U> Cs> Th> Hf> Se> Sb> Th>.

En todos los casos existen mayores flujos de elementos en el segundo periodo, mostrando que hubo un mayor aporte de material hacía la trampa.



Figura 25. Flujos de elementos traza en el MPH de la trampa sedimentaria.

8.4. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales de áreas contrastantes de la Bahía Concepción

El tamaño de grano de los sedimentos superficiales de los polígonos del area de estudio se presenta en forma completa en el en Anexo 3. A manera de descripción complementaria se muestran las distribuciones espaciales en cada uno de los poligonos en las figuras 26-29.

8.4.1. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac

De los datos del tamaño de grano en los sedimentos superficiales de la zona adyacente a los manantiales geotermales de la Ensenada de Santispac se puede observar la predominancia en arenas medias y finas (Figura 26). La distribución espacial del tamaño de grano de los sedimentos es heterogenea. Los sedimentos finos ya que se concentranen el centro de la Ensenada Santispac, además de la laguna. Los sedimentos gruesos están constituidos principalmente por el material calcáreo. Esta distribución al parecer responde a la circulación del agua.



Figura 26. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac.

8.4.2. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales de Mapachitos

La distribución del tamaño de grano en los sedimentos superficiales de Mapachitos muestra principalmente tres tamaños, que van desde arenas medias, arenas finas y arenas muy finas (Figura 27). En el sitio de las ventilas hidrotermales predominan las arenas medias, probablemente por la energía del oleaje que no permite sedimentar los granos finos. Hacia la parte mas profunda hay un cordón de sedimentos finos y tanto hacia el norte como hacia el sur hay mánchas de sedimento muy fino.



Figura 27. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales de Mapachitos.

8.4.3. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales adyacentes a la península Concepción

El tamaño de los sedimentos adyacentes a la península Concepción va desde arenas medias, arenas finas y hasta muy finas (Figura 28). Los mayores tamaños de grano se encuentran en la parte más somera, mientras hacia la parte mas profunda predominan los sedimentos más finos. Al parecer la distribución va desde sedimentos gruesos hacia los finos en proporción casi homogénea, probablemente debido a la pendiente pronunciada que aparece muy cerca de la costa.



Figura 28. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales del área adyacente a la península Concepción.

8.4.4. Tamaño de grano de los sedimentos superficiales del Remate

El tamaño de los sedimentos del Remate osciló entre arenas finas hasta limos medios. La principal acumulación de sedimento fino se da frente a un abanico delta que desemboca en esta zona. Asi mismo en la parte norte del polígono se observa otra mancha de material fino que coincide con la desembocadura de un arroyo. El resto del area presenta el material de mayor tamaño encontrado (arena fina).



Figura 29. Distribución del tamaño de grano de los sedimentos superficiales del área adyacente al Remate.

8.5. Geoquímica de sedimentos superficiales de áreas contrastantes de la Bahía Concepción

Los datos completos sobre la composición química de los sedimentos superficiales en los cuatro polígonos de Bahía Concepción se presentan en el Anexo 3.

8.5.1. Geoquímica de sedimentos en los manantiales geotermales y zona adyacente

Los manantiales geotermales se ubican dentro del manglar y son inundados durante la marea alta, y en la etapa de bajamar los fluidos geotermales mezclados con el agua de mar se dispersen hacia las zonas adyacentes. La Ensenada de Santispac tiene una profundidad máxima de 9 m. La temperatura en los manantiales fue de 50 °C, mientras la zona adyacente tenía una columna de agua mezclada con 18 °C. El pH en los sedimentos de las fuentes geotermales fue de 6.9 en el manantial (S27). Para evaluar la influencia de los manantiales sobre la geoquímica de los sedimentos adyacentes se determinó la composición elemental, los contenidos de carbono orgánico, carbonatos y otros componentes mayores. La concentración de elementos mayores y traza en forma resumida se muestra en la Tabla 21. Los datos fueron separados por áreas: sedimentos de los manantiales geotermales, la laguna de manglar y Ensenada Santispac. Las concentraciones promedio fueron comparadas con los datos de la corteza continental (Taylor, 1964). Los sedimentos de las fuentes geotermales son ricos en elementos potencialmente tóxicos como As y Hg. Otros elementos como Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn, Sb, U y Zn también tienen valores máximos en los sedimentos de las fuentes. Este comportamiento puede indicar que los fluidos geotermales aportan elementos disueltos y estos al combinarse con el agua de mar tienden a precipitarse muy cerca de su fuente.

Elementos	Fuentes	Laguna	Ensenada	Abundancia promedio
	geotermales		Santispac	corteza continental ¹
As	<u>13-111</u>	0.7-2.8	0.5-4	1.8
	74±53	1.5±1	1.4±1	
Ba	<u>37-800</u>	<u>7-200</u>	<u>8-300</u>	425
	300±400	90±90	80±70	
Br	<u>57-235</u>	<u>51-151</u>	<u>32-82</u>	2.5
	145±89	88±47	59±14	
Ca	<u>1.7-2.9</u>	<u>5 - 22</u>	<u>18-26</u>	4.2
	2.4±0.6	17±6	22 + 2	
Со	<u>14-36</u>	<u>1.5-4.2</u>	<u>0.7-5.1</u>	25
	23±12	2.5±1.1	2.7±1.4	
Cr	<u>16-36</u>	<u>4.3-18.7</u>	<u>3 - 59</u>	100
	28±10	9.6±5.5	17±14	
Cs	<u>26-44</u>	<u>0.2-7.3</u>	<u>0.1-1.4</u>	3
	33±10	2.2±3.0	0.4±0.4	
Cu	<u>19.9-23</u>	<u>1.9-7.2</u>	<u>1.1-5.5</u>	55
	21.1±1.6	4.0±2.3	3.0±1.3	
Hf	<u>0.2-3.4</u>	0.2-0.5	<u>0.07-2.1</u>	2
	2.2±1.7	0.4±0.2	0.4±0.5	
Hg	<u>600-25000</u>	<u>15-230</u>	<u>6 - 60</u>	80
	11000±13000	90±100	20±10	
Mn	<u>500-9000</u>	<u>100-300</u>	<u>31-130</u>	950
	4000±5000	200±70	70±27	
Ni	<u>16.7-20.3</u>	<u>3.8-7.6</u>	<u>3.7-11.7</u>	75
	18.6±1.8	5.3±1.7	7.1±2.5	
Pb	3.8-10.1	0.8-2.1	0.4-2.4	12.5
	6.2±3.4	1.4±0.5	1±0.5	
Sb	<u>0.1-1.3</u>	<u>0.06-0.9</u>	<u>0.08-1.2</u>	0.2
	0.5±0.7	0.5±0.3	0.4±0.3	
Sc	<u>7.7-11.0</u>	<u>0.8-2.8</u>	<u>0.5-5.7</u>	22
_	9.1±1.7	1.8±0.8	2.4±1.6	
Se	<u>4.3-9.9</u>	<u>0.1-2.7</u>	<u>0.2-4.3</u>	0.05
-	7.4±2.9	1.6±1.3	1.7±1.5	
Sr	<u>200-1000</u>	<u>2400-4000</u>	<u>2300-6000</u>	375
	500±500	3100±700	4000±1100	
Th	<u>2.2-2.7</u>	<u>0.1-0.6</u>	<u>0.07-0.6</u>	9.6
	2.4±0.3	0.3±0.2	0.2±0.2	~ -
U	<u>2.3-16.3</u>	<u>0.8-3.7</u>	<u>0.5-5.2</u>	2.7
	8.7±7.1	2.0±1.2	2.8±1.2	70
Zn	<u>53.7-6</u> 7.7	<u>4.7-1</u> 7.0	<u>1.8-12</u> .9	10
	60.4±7.0	9.1±5.4	7.2±3.7	

Tabla 21. Elementos mayores Fe y Ca (%) y elementos traza (mg kg⁻¹; excepto Hg μ g kg⁻¹) de los sedimentos superficiales en Santipac (¹Taylor, 1964).

Esta evidencia es apoyada por los contenidos de los elementos de una costra colectada en la pared de uno de los manantiales (S26) (Tabla 22). Los altos contenidos de Mn 10.35 %), Ba (840 mg kg⁻¹), elementos potencialmente tóxicos (As y Hg) y otros elementos traza producto de la mezcla de compuestos autigénicos, principalmente de SiO₂ con 53% y MnO con 15%.

Tabla 22. Composición elemental de la costra colectada en el manantial geotermal S26 (mg kg-1; excepto Mn y SiO₂ en %) 1 (Taylor, 1964).

Elemento	costra	Corteza continental ¹
As	635	1.8
Ba	840	425
Cu	5.2	55
Fe	0.74	5.63
Hg	60.3	0.08
Mn	10.35	0.095
Ni	7.5	75
U	4.65	2.7
Zn	21.8	70
SiO ₂	52.9	
MnO	15.1	

Los sedimentos de las zonas adyacentes a los manantiales tienen dominancia de elementos de origen biogénico comparado con el material litogénico. En la zona más profunda de la Ensenada de Santispac se observa el mayor porcentaje de material litogénico (24%, Figura 30a), mientras en las zonas menos profundas, donde el sedimento es más grueso, predominó el material calcáreo con hasta 98% (Figura 30b).





Figura 30. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) material litogénico y b) carbonatos de calcio.

Los contenidos de carbonatos, elementos como Ca y Sr fueron altos en las mismas zonas de acumulación de carbonatos. La presencia de alto contenido de material biogénico puede ser considerada una de las razones por las que encontramos bajos contenidos de elementos traza en la Ensenada Santispac, ya que los efectos de dilución podrían jugar un rol importante en la distribución de estos elementos en la zona adyacente.

Las distribuciones de Ca y Sr ambos elementos coinciden hacia las zonas someras y la orilla de la playa, donde los carbonatos tienen sus máximas concentraciones, probablemente por la zona de mayor energía, donde la acumulación de material calcáreo es más común (Figura 31).

Una de las formas de eliminar los efectos de dilución por carbonatos o por tamaño de grano, es la normalización de los datos con un elemento indicador de la corteza terrestre. Para este caso se usó al Sc como tal elemento normalizador. Se redibujó la distribución espacial de la razón Mn/Sc (Figura 32b). Se puede observar que al comparar la razón de Mn/Sc con su similar en la corteza, toda la zona adyacente muestra valores por encima del valor de referencia (Figura 32b).

Un componente importante en el comportamiento de los elementos traza es el carbono orgánico (restos de organismos y plantas). La formación de agregados en la columna de agua y su preservación da información de la migración de elementos traza afines a la materia orgánica hacia el fondo. Elementos como Cd y Zn en condiciones de alta reducción forman partículas insolubles como sulfuros. La distribución espacial de C_{org} y de Zn (micronutrientes para los organismos planctónicos) indicaría zonas de reducción en los sedimentos (Figura 33).



Figura 31. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) calcio y b) estroncio.



Figura 32. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) manganeso y b) la razón Mn/Sc.





Figura 33. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) carbono orgánico y b) zinc.



Figura 34. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) arsénico y b) mercurio.





Figura 35. Distribución espacial en sedimentos superficiales de los manantiales geotermales y zona adyacente: a) la razón As/Sc y b) la razón Hg/Sc.

Los fluidos geotermales se han caracterizado por ser fuente de elementos disueltos, algunos potencialmente tóxicos como arsénico y mercurio. En esta zona de Santispac ambos elementos mostraron tendencias similares. Es decir, alta concentración en los sedimentos cerca de los manantiales que fue disminuyendo hacia la laguna y la ensenada Santispac, al parecer sin efectos importantes (Figura 34). Los sedimentos cercanos a los manantiales tienen altos contenidos de As y Hg, los cuales fueron disminuyendo hacia la laguna y Ensenada de Santispac están por encima del valor de referencia de la corteza. Esto indica que los efectos de dilución por carbonatos son eliminados al normalizar con Sc y que de acuerdo a este resultado los fluidos geotermales, tienen influencia sobre la geoquímica de los sedimentos adyacentes (Figura 35 a y b).

8.5.1.1. Factor de enriquecimiento en los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac

El factor de enriquecimiento de los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac fue calculado con Sc y se muestra en valores promedio (Figura 36). Se compararon los sedimentos por áreas. Los FE en sedimentos se comparar por areas geotermal, laguna de manglar y Ensenada de Santispac, con la finalidad de determinar elementos enriquecidos en las fuentes la zona adyacente. La mayoría de los elementos se encuentran con valores de FE bajos, lo que se consideran como diluidos o conservativos. El alto contenido en Mn de los sedimentos de las fuentes, puede incorporar a otros elementos como Co, U y Zn. Hay algunas similitudes de enriquecimiento para Br, Se y U entre elementos para las tres áreas, donde los valores son muy parecidos con tendencia a aumentar de los manantiales a la Ensenada de Santispac. Otros elementos como Ca y Sr tienen bajos contenidos en sedimentos de las fuentes e incrementan en la laguna y Ensenada de Santispac. Estos elementos son más característicos en sedimentos marinos con alto contenido en carbonato de calcio como en esta zona. En cuanto a los elementos potencialmente tóxicos, As y Hg se clasificaron como elementos altamente enriquecidos en los sedimentos de las fuentes. Aunque los valores de

FE para As y Hg disminuyen en la zona adyacente, la influencia de los procesos geotermales en la Ensenada de Santipac, deben ser considerados



Figura 36. Valores del logaritmo del factor de enriquecimiento (FE) en los sedimentos geotermales y zona adyacente.

La secuencia de valores de FE para las 3 áreas (manantiales geotermales, laguna y Ensenada de Santispac, respectivamente) fue Hg> Se> Br> As> Mn> U> Sb> Sr> Co> Zn> Ca> Pb> Fe> Cu> Ba> Cr> Th> Ni en los sedimentos de los manantiales, Br> Se> Sr> Ca> Sb> U> Hg> As> Mn> Ba> Zn> Pb> Co> Cr> Ni> Cu> Fe> Th en los sedimentos de la laguna y Se > Br > Sr> Ca> Sb> U> As > Hg > Ba> Cr> Pb> Ni> Co> Zn> Mn> Fe> Cu> Th en los sedimentos de la Ensenada de Santispac.

8.5.1.2. Contenidos de los lantánidos en los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac

La composición de elementos de tierras raras en los sedimentos de los manantiales geotermales y zona adyacente se muestra fue comparada entre áreas y con la lutita norteamericana y se encontraron contenidos menores a los promedios para la NASC (Tabla 23).

Tabla 23. Contenido de los lantánidos (mg kg⁻¹) en sedimentos de los manantiales geotermales y la zona adyacente (mínimo–máximo/promedio \pm desviación estándar).

Elemento	Manantiales geotermales	Laguna	Ensenada de Santispac	NASC
La	<u>9.5 - 14.5</u>	<u>1 - 2</u>	<u>0.5 - 4.7</u>	32
	11.3 ± 2.8	1 ± 0.5	2.6 ± 1.2	
Ce	<u> 19 - 28</u>	<u>2 - 5</u>	<u>1 - 10</u>	73
	23 ± 5	3 ± 1	5 ± 3	
Pr	<u>2.2 - 3.1</u>	<u>0.2 - 0.6</u>	<u>0.2 - 1.2</u>	7.9
	2.7 ± 0.5	0.4 ± 0.2	0.6 ± 0.3	
Nd	<u>9 - 12</u>	<u>0.6 - 3</u>	<u>0.5 - 4.8</u>	33
	11 ± 2	1.7 ± 1	2.5 ± 1.3	
Sm	<u>2.3 - 3.5</u>	<u>0.1 - 0.2</u>	<u>0.1 - 1.2</u>	5.7
	2.9 ± 0.6	0.5 ± 0.3	0.7 ± 0.4	
Eu	<u>0.2 - 0.5</u>	<u>0.03 - 0.2</u>	<u>0.01 - 0.5</u>	1.24
	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.06	0.1 ± 0.1	
Gd	<u>2.7 - 4.1</u>	<u>0.2 - 1.2</u>	<u>0.2 - 1.6</u>	5.2
	3.5 ± 0.7	0.7 ± 0.4	0.7 ± 0.4	
Tb	<u>0.4 - 0.6</u>	<u>0.04 - 0.2</u>	<u>0.03 - 0.2</u>	0.85
	0.5 ± 0.1	0.1 ± 0.06	0.1 ± 0.05	
Dy	<u>2.2 - 2.9</u>	<u>0.3 - 1</u>	<u>0.2 - 1.1</u>	5.8
	2.6 ± 0.4	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.2	
Ho	<u>0.4 - 0.6</u>	<u>0.1 - 0.2</u>	<u>0.04 - 0.2</u>	1.04
	0.5 ± 0.1	0.1 ± 0.07	0.1 ± 0.04	
Er	<u>1.2 - 1.4</u>	<u>0.2 - 0.6</u>	<u>0.1 - 0.5</u>	3.4
	1.3 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.1	
Tm	<u>0.17 - 0.19</u>	<u>0.03 - 0.09</u>	<u>0.02 - 0.1</u>	0.5
	0.18 ± 0.1	0.1 ± 0.02	0.04 ± 0.01	
Yb	<u>0.9 - 1</u>	<u>0.1 - 0.5</u>	<u>0.1 - 0.3</u>	3.1
	0.9 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.07	0.40
Lu	<u>0.1 - 0.2</u>	<u>0.02 - 0.08</u>	<u>0.02 - 0.05</u>	0.48
	0.1 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.03 ± 0.01	

En ambientes hidrotermales la mayores contenidos de los lantánidos se relaciona a la precipitación conjunta con los compuestos de Fe y su baja concentración esta relacionada con el alto contenidos de carbonatos. De hecho las máximas concentraciones están en los sedimentos de las fuentes, donde los procesos de precipitación podrían ser más evidentes, mientras la zona adyacente donde los contenidos de carbonatos son mayores, las concentraciones de los lantánidos son bajos (Figura 37).





Los patrones también muestran una marcada anomalía de Eu y en menor grado la anomalía negativa de Ce (Figura 37). La primera anomalía sugiere que los sedimentos se formaron en condiciones de alta reducción donde el Eu fue enriquecido en las soluciones. Este hecho confirma que los procesos de precipitación en los manantiales geotermales no son tan intensos, ni de alta reducción capaz de acumular alto contenido de Eu rico en los fluidos dentro de los sedimentos.

8.5.1.3. Asociación entre los ET usando el análisis de factores por el método de componentes principales

El análisis de factores por el método de componentes principales fue aplicado a los datos para detectar asociaciones. El resultado del análisis explica el 85% de la varianza con un total de 4 factores representativos. Las cargas de los factores se muestran en la Tabla 24. El Factor 1 (52%) agrupa a Ce, Cu, Co, Dy, Er, Fe, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Ni, Pr, Sc, Sm, Tb, Th, Tm, Yb, Zn con las cargas más altas, estos corresponden a elementos abundantes en la corteza terrestre. Con altas cargas negativas se agruparon componentes asociados a los sedimentos biogénicos como el CaCO₃, Ca y Sr. Así al parecer la geoquímica de los sedimentos de la laguna y Ensenada Santispac es una mezcla de material terrígeno y los sedimentos calcáreos. Con cargas entre 0.8 y 0.6 se agrupan As, Hg, Pb y S. Arsénico y Hg se mostraron altos en la zona de los manantiales geotermales. Otros elementos con cargas menores a 0.6 fueron Br, Hf, U y Mn. Probablemente estos elementos que salen disueltos precipitan muy cerca de las fuentes geotermales, como se encontró en la composición de la costra del manantial geotermal. El segundo factor (24%) agrupa a Sb y Ba tienen sus mayores cargas en este grupo. En el caso de Ba se encontró alto en los sedimentos del manantial. De ahí sus diferencias con otros elementos. El factor 3 solo (7 %) agrupa a C_{ora}, Mn y Pb. Probablemente procesos de "scavenging" en esta zona fueron importantes y suficientes para la acumulación de estos elementos, que se sabe son afines geoquímicamente.

Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
As	0.490	0.689	0.370	Lu	0.753	0.463	0.336
Ва	0.174	0.565	-0.281	Mn	0.505	0.207	0.662
Br	0.274	0.802	0.228	Nd	0.878	0.449	0.021
Ca	-0.787	-0.504	-0.288	Ni	0.927	0.258	0.045
CaCO₃	-0.897	0.180	-0.348	Pb	0.616	0.273	0.628
Ce	0.906	0.323	0.083	Phi	-0.138	-0.007	0.405
Co	0.595	0.759	0.109	Pr	0.895	0.397	0.048
C _{org}	0.195	-0.144	0.667	S	0.533	0.792	0.109
Cr	0.713	-0.229	-0.329	Sb	-0.277	0.659	0.077
Cu	0.807	0.532	0.238	Sc	0.962	0.192	0.002
Dy	0.821	0.537	0.115	Se	0.707	0.511	-0.126
Er	0.808	0.509	0.204	Sm	0.836	0.516	-0.021
Eu	0.757	-0.048	-0.350	Sr	-0.713	-0.401	-0.008
Fe	0.955	0.237	0.128	Tb	0.829	0.533	0.083
Gd	0.831	0.532	0.042	Th	0.788	0.453	0.338
Hf	0.813	-0.156	0.342	Tm	0.792	0.498	0.254
Hg	0.363	0.883	-0.101	U	0.309	0.784	-0.112
Ho	0.815	0.532	0.134	Yb	0.773	0.480	0.295
La	0.897	0.282	0.118	Zn	0.856	0.391	0.318
			Porce	entajes			
		Varianza	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
		Explicada	52%	24%	7%		

Tabla 24. Resultado del análisis de factores por componentes principales en sedimentos de los manantiales geotermales y zona adyacente.

Por ser los dos primeros factores los principales que explican la varianza de los datos, se grafico el factor 1 contra el factor 2 para identificar las asociaciones entre los elementos. Algunas asociaciones con los elementos de tierras raras unidos a elementos abundantes en la corteza, incluidos los metales pesados, lo cual podría explicar el origen terrígeno de estos elementos. Con cargas negativas se agruparon elementos de origen biogénico Ca y Sr, además de CaCO₃. Otro grupo fue Co, As y S probablemente de origen terrígeno ya que el carbono orgánico en esta zona es bajo. El resto de los elementos mostró un comportamiento independiente (Figura 38).



Figura 38. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos de los manatiales geotermales y zona adyacente (Factor 1 vs Factor 2).

8.5.2. Geoquímica de sedimentos de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente

Las ventilas hidrotermales someras se ubican aproximadamente a 5 m de profundidad, la mezcla de fluidos hidrotermales con el agua de mar es casi instantánea, ya que las variaciones en la temperatura (34°C en la ventila y 29°C

en la superficie) y pH (7.5 en la ventila y 8.2 en la superficie) no son amplias. El oxígeno disuelto fue bajo en las ventilas con 2.7 ml L⁻¹ indicando condiciones favorables para la permanencia Fe, Mn y otros elementos en fase disuelta. Mientras en la superficie se encontraron niveles de oxígeno típicos para el agua de mar óxica con 5.9 ml L⁻¹. Los contenidos de CaCO₃ y C_{ora}, elementos mayores como Al, Ca, Fe, S y Ti se muestran en la Tabla 25. La distribución espacial de los contenidos de CaCO₃ indica manchas de hasta ~87% como valor máximo al norte de las ventilas hidrotermales en las estaciones 45 y 46 (Figura 39a). Fue posible detectar la gran cantidad de conchas que acompañan al sedimento marino en estas estaciones. En promedio para sedimentos de las ventilas hidrotermales y las zonas adyacentes, los sedimentos tienen un 61% de CaCO₃ y 1% de carbono orgánico (C_{org}). Ambos componentes influyen en la composición de ET en los sedimentos, principalmente por la formación de agregados orgánicos que tienen la capacidad de incorporar a los ET dentro de los sedimentos. El promedio los sedimentos en Mapachitos es menor al promedio reportado para toda la bahía Concepción (2%) (Rodriguez-Meza, 2005). Las mayores acumulaciones con hasta 3.3% de contenido estan en las estaciones 40 y 44 (Figura 39b). En esta zona el CaCO₃ es bajo y el sedimento es fino. Los contenidos de elementos mayores como Al, Fe y Ti al compararse con la corteza muestran que solo los valores máximos son mayores al valor de referencia, mientras los promedios para estos elementos están por debajo. Estos elementos son considerados de origen terrígeno y su baja presencia en los sedimentos de esta zona probablemente esté relacionada a la ausencia de arroyos, ya que se considera que son los arroyos un medio de aporte importante de material terrígeno a la bahía con 1.48 X 10^4 m³ año⁻¹ (Pérez-Soto, 1995), además de los componentes biogénicos como carbonatos que enmascaran el contenido de material terrígeno (Figura 40).

Tabla 25. Componentes y elementos mayores (%) y elementos traza (mg kg⁻¹, excepto Hg en μ g kg⁻¹) en sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente (min-max/promedio±D E).

Elemente	Sedimentos ventilas		codimontos do la	Cortoza
	11101 V25	VE1		Bromodio ¹
	A25	<u></u>		Fromedio
	0.13	2.2	<u>0.13 - 87.7</u>	
%	0.07	0.00	61.3 ± 21.2	
Corg	0.07	0.06	<u>0.05 - 3.3</u>	
%			1.07 ± 0.81	
Al	9.4	11	<u>0.1 - 11</u>	8.23
%			2.5 ± 2.3	
As	155	207	<u>0.9 - 9.2</u>	1.8
mg kg			3.7 ± 2.2	
Ba	759	1350	<u>11 - 609</u>	425
mg kg ⁻ '			136 ± 108	
Ca	5.7	5.9	<u>5.7 - 38.5</u>	4.2
%			28.3 ± 7.9	
Cd	0.1	0.01	<u>0.1 - 4.1</u>	0.2
mg kg⁻¹			0.1 ± 0.9	
Со	12.9	18.4	<u>0.5 - 16.7</u>	25
mg kg⁻¹			3.7 ± 2.9	
Cs	17.2	6.6	<u>0.1 - 2.1</u>	3
mg kg⁻¹			0.7 ± 0.5	
Cu	18.1	54.3	<u>1.4 - 34.2</u>	55
mg kg⁻¹			9.9 ± 7.4	
Fe	4.9	5.9	<u>0.2 - 5.9</u>	5.6
%			1.3 ± 1.2	
Hg	896	143062	<u>8 - 431</u>	80
µg kg⁻¹			52 ± 63	
Li	20.4	15.2	<u>3.2 - 20.5</u>	20
mg kg⁻¹			9.5 ± 4.4	
Mn	508	480	<u>24 - 532</u>	950
mg kg⁻¹			143 ± 94	
Мо	0.4	0.3	<u>0.2 - 11.8</u>	1.5
mg kg⁻¹			2.7 ± 2.5	
Ni	27.6	63	<u>8.9 - 48.5</u>	75
mg kg⁻¹			19 ± 8	
Rb	37.7	43.1	<u>0.6 - 28</u>	90
mg kg⁻¹			7.3 ± 5.8	
S	0.03	0.06	<u>0.03 - 1.19</u>	
%			0.39 ± 0.23	

Ti	0.5	0.3	<u>0.0 - 0.45</u>	0.57
%			0.11 ± 0.10	1
U	1	1.8	<u>0.4 - 3.7</u>	2.7
mg kg⁻¹			1.7 ± 0.8	
V	100	122	<u>4 - 122</u>	85
mg kg⁻¹			27 ± 18	
Zn	47.9	64.7	<u>3.4 - 67</u>	70
mg kg⁻¹			20 ± 14	

¹ Taylor, 1964

La composición elemental de los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales (X25 y X51) y los sedimentos de las zonas adyacentes se compararon con la abundancia promedio para la corteza continental (Tabla 25). La composición de Cu, Mn, Ni y Zn es menor a los valores de la corteza (Taylor, 1964). Generalmente en zonas hidrotermales estos elementos están asociados a los oxihidróxidos de Mn, sin embargo, en este estudio el contenido de Mn en los sedimentos de las ventilas hidrotermales es bajo y la composición de los fluidos indica mayor proporción de este elemento en forma disuelta. Los elementos redox sensibles U y V muestran una leve mayor concentración en algunas muestras las cuales coinciden con la alta acumulación de carbono orgánico. Generalmente estos elementos en condiciones reductoras son afines a formar partículas insolubles. Otros elementos de aporte hidrotermal como Cs y Ba también son altos en la zona de las ventilas, recordando que en la zona de los manantiales geotermales en Santispac, el Ba fue bastante alto en la costra colectada en el manantial y bajo en la zona adyacente, asociados a zonas de acumulación de Cora de acuerdo a la distribución espacial (Figura 39b). Es destacable además la alta concentración de elementos potencialmente tóxicos como As y Hg. Al comparar el número de veces que estos elementos son mayores a la corteza se tienen, de 1788 para Hg y 155 veces para As (Figura 41). Al comparar la composición de los sedimentos colectados en las ventilas con los valores promedio de los sedimentos en la zona adyacente, la mayoría de los elementos tienen mayores contenidos en los sedimentos de las ventilas, incluyendo elementos terrígenos.



Figura 39. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente: a) carbonato de calcio y b) carbono orgánico.



Figura 40. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente: a) aluminio y b) fierro. Los sedimentos adyacentes tienen algunas diferencias en su composición con respecto a los sedimentos hidrotermales. Por ejemplo algunos elementos que se encontraban altos en los sedimentos de las ventilas ahora son bajos en la zona adyacente, como en el caso de Cs y U.Otros elementos permanecen con bajas concentraciones en los sedimentos adyacentes como Cu, Co, Li, Rb, Ni y Zn. En general en la bahía la acumulación de estos mismos elementos esta mayormente asociada a zonas profundas, menos dinámicas y donde el sedimento es fino, como en la parte central de la bahía (Rodríguez-Meza et al., 2009). Los sedimentos de las zonas adyacentes tienen mayores contenidos en Ca, Cd, Mo y S tienen mayores contenidos, al igual que el contenido de carbonatos y carbono orgánico. La geoquímica de la zona adyacente no muestra los efectos por la influencia hidrotermal, para elementos potencialmente tóxicos, sin embargo la composición muestran que los tanto los procesos biogénicos como las condiciones redox, tienen influencia. Se encontraron elementos que solo sus valores máximos superan el valor de la corteza, pero que en promedio la concentración es menor. Esto indica que muy pocas muestran tienen valores elevados. En este caso se agrupan el Ba, Cd, U y V.

Finalmente los elementos de aporte hidrotermal como As y Hg permanecen con altos valores en el área de las ventilas hidrotermales, mientras la zona adyacente tiene para As un promedio menor al contenido encontrado en las ventilas, pero alto comparando con el valor de la corteza. Los valores máximos de estos elementos son cinco veces más altos que la corteza. Para Hg en promedio su valor es más bajo que el valor de referencia de la corteza sin embargo en la zona adyacente el valor máximo es de 431 µg kg⁻¹ en la estación X1, la más cercana a las ventilas hidrotermales. Las distribuciones espaciales de As y Hg tienen algunas similitudes coincidiendo con valores más altos en estaciones como X-20, X-45, X-46 y X-49. Justo en estas mismas estaciones el carbonato de calcio también es alto. En base a estos resultados puede destacarse las diferencias movilidad de ambos elementos. Hay dos opciones, que ambos elementos al salir permanezcan en fase disuelta y sean asimilados en los organismos o que al salir precipiten muy cerca de las fuentes hidrotermales.


Figura 41. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente: a) arsénico y b) mercurio.

8.5.2.1. Factor de enriquecimiento en los sedimentos suerficiales de las ventilas hidrotermales y zona adyacente

El factor de enriquecimiento (FE) para los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales indicó a los elementos potencialmente tóxicos como As y Hg como altamente enriquecidos. Bario, Cs, U, Zn y otros elementos se clasifican como enriquecidos, probablemente son aportados por las fuentes hidrotermales. Es resaltable la clasificación de diluidos para elementos indicadores de aporte hidrotermal como Mn y Fe, lo que puede indicar que estos permanecen en fase disuelta o se precipitan en las zonas adyacentes. Los factores de enriquecimiento para los sedimentos adyacentes se muestran en la figura 42.



Figura 42. Log₁₀ del FE en los sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente.

El contenido de Hg fue bastante alto (143000 mg kg⁻¹) en los sedimentos hidrotermales y en la zona adyacente este elemento es muy bajo (máximo contenido de 52 mg kg⁻¹). Caso similar presenta el As con altos contenidos en los sedimentos de las ventilas hidrotermales (155 mg kg-1) y valores promedio más bajos en la zona adyacente (9.2 mg kg⁻¹) (Figura 43). Los FE's promedios para Fe y Mn son diluidos y conservativos respectivamente, probablemente permanezcan disueltos o en las partículas suspendidas de la columna de agua. El U se clasifico como diluído en los sedimentos cercanos a las ventilas y su enriquecimiento aumenta en la zona adyacente y sus areas de acumulación coinciden con las del carbono orgánico (Figura 44). Permanece en la zona adyacente el enriquecimiento de Hg y alto enriquecimiento de As. Este resultado permite corroborar que existe influencia de las ventilas hidrotermales sobre los sedimentos del área adyacentes. Además de la presencia hidrotermal, otros procesos biológicos aportan elementos a los sedimentos tales como Cd que se considera micronutriente y Ca que puede ser de aporte biogénico o autigénico tienen alto enriquecimiento (Figura 42).



Figura 43. Distribución espacial en los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente: a) FE As y b) FE Hg.



Figura 44. Distribución espacial del FE de U en los sedimentos de las ventilas y zona adyacente.

8.5.2.2. Asociación entre los ET usando el análisis de factores por el método de componentes principales

El análisis de factores por el método de componentes principales resultó en tres factores que explican el 91% de la varianza (Tabla 26). En el primer factor (60.4 %) representa la mayor variabilidad de los datos se agruparon los elementos Ba, Rb, Al, Fe, Pr, Pb, Li, Ni, Cu, Zn, Cr, Ce, Nd, Sm, Co, Mn, elementos abundantes en la corteza terrestre. En contraste están Ca y CaCO₃. La composición de los sedimentos en Mapachitos es predominantemente terrígena y por otro lado con

alta composición de carbonatos biogénicos. En el factor 2 (20 %) esta caracterizado por cargas positivas para elementos identificados por aporte hidrotermal como As, Cs y Hg. Mientras con cargas positivas se agruparon algunos elementos redox sensibles como Cd, Mo, U, S y C_{or} , estos elementos mencionados se sabe que en condiciones de reducción se enriquecen en las partículas. Sb y Se tuvieron sus cargas máximas en el factor 1 aunque no son muy altas.

Tabla 26. Resultado del análisis de factores por ACP aplicado al contenido elemental de los sedimentos superficiales de las ventilas hidrotermales y zona adyacente.

Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Al	0.929	0.142	0.269	Mn	0.968	0.124	0.154
As	0.456	-0.197	0.802	Мо	0.247	0.945	-0.017
Ва	0.941	0.001	0.328	Nd	0.938	0.287	0.107
Са	-0.876	-0.292	-0.245	Ni	0.872	0.447	-0.096
CaCO ₃	-0.912	-0.321	-0.227	Pb	0.915	0.349	0.130
Cd	0.215	0.945	0.003	Phi	-0.468	0.021	0.586
Ce	0.931	0.305	0.046	Pr	0.933	0.310	0.092
Со	0.982	0.123	0.075	Rb	0.889	0.249	0.344
Corg	0.412	0.847	-0.185	S	0.215	0.947	-0.128
Cr	0.869	0.322	-0.063	Sb	0.407	0.143	0.228
Cs	0.528	-0.134	0.787	Se	0.441	0.472	-0.259
Cu	0.823	0.519	-0.044	Sm	0.943	0.244	0.172
Fe	0.944	0.188	0.265	Ti	0.942	0.195	0.258
Hg	0.531	-0.198	0.770	U	0.361	0.871	-0.032
La	0.934	0.312	0.068	V	0.949	0.198	0.213
Li	0.847	0.465	0.126	Zn	0.833	0.375	0.012
		_	Porc	_			
		Varianza	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
		explicada	60.4%	20%	9.7%		

Por ser los dos primeros factores los principales que explican la varianza de los datos, se graficó el factor 1 contra el Factor 2 para identificar asociaciones entre los elementos. Resultaron cuatro grupos: (1) lantánidos y otros elementos abundantes en la corteza, lo cual podría explicar el origen terrígeno de estos elementos; (2) asociación de los elementos potencialmente tóxicos, As y Hg; (3) el CaCO₃ y Ca por origen biogénico; (4) elementos redox sensibles como U, Mo unidos a C_{org} y S, probablemente agrupados por efectos de reducción o simple afinidad química (Figura 45).



Figura 45. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente (Factor 1 vs Factor 2).

8.5.2.3. Contenidos de los lantánidos en los sedimentos superficiales de la Ensenada de los Mapachitos

Los contenidos de elementos de tierras raras al compararse con los valores promedio para la lutita norteamericana, todas las muestras tienen contenidos menores, con excepción de la muestra X51 (Tabla 27).

Tabla 27. Contenido de elementos de tierras raras en los sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente (mg kg⁻¹).

i	Vot			INAGO
i	X25	X51	zona adyacente	
La	12.9	35.2	<u>0.7 - 15.1</u>	32
			5.1 ± 2.9	
Ce	28.1	76.3	<u>1.4 - 34.2</u>	73
			11.7 ± 6.7	
Pr	4.2	11	<u>0.2 - 4.7</u>	7.9
			1.6 ± 0.9	
Nd	14.6	35.1	<u>0.6 - 15.9</u>	33
			5.3 ± 3.1	
Sm	3.2	6.2	<u>0.1 - 3.1</u>	5.7
			1 ± 0.6	
Eu	1.1	1.9	<u>0.05 - 1</u>	1.24
			0.3 ± 0.2	
Gd	3.4	5.3	<u>0.1 - 3</u>	5.2
			1 ± 0.6	
Tb	0.5	0.6	<u>0.1 - 0.4</u>	0.85
			0.2 ± 0.08	
Dy	2.9	3.5	<u>0.1 - 2.6</u>	5.8
			0.9 ± 0.5	
Но	0.6	0.6	<u>0.1 - 0.5</u>	1.04
-	4 5	4 7	0.2 ± 0.1	<u> </u>
Er	1.5	1.7	<u>0.1 - 1.4</u>	3.4
T	0.0	0.0	0.5 ± 0.3	0.5
Im	0.2	0.2	<u>0.1 - 0.2</u>	0.5
Vh	1 0	1.0	0.1 ± 0.00	24
U U	1.3	1.2	$\frac{0.1 - 1.1}{0.4 + 0.2}$	J. I
1.0	0.2	0.1	0.4 ± 0.2	0.49
Lu	0.2	0.1	0.1 - 0.2	0.40

Los patrones normalizados con lutita norteamericana, para los sedimentos de las ventilas hidrotermales muestra algunas similitudes entre las muestras X25 y X51, pero con una diferencia en la abundancia de los lantánidos ligeros con respecto a los lantánidos medios y lantánidos pesados en la muestra X51. Ambas muestras se presenta la anomalía positiva de Eu y comportamiento similar entre los lantándios ligeros y medios. Luego se observa una disminución en lantánidos pesados. Probablemente por el menor contenido de carbonatos en esta zona los valores sean mayores a los sedimentos adyacentes (Figura 46).



Figura 46. Patrones de lantánidos normalizados con lutita norteamericana en la composición de los sedimentos de las ventilas hidrotermales y zona adyacente.

8.5.3. Geoquímica de sedimentos de la zona con influencia de aguas subterráneas

Los contenidos de los componentes mayores (CaCO₃ y C_{org}) en los sedimentos del sur de la bahía se muestran en la Tabla 28. Los sedimentos carbonatados alcanzaron el 80% y mostraron un incremento hacia las zonas mas profundas. En la zona sur de la zona donde el contenido de carbonatos es bajo, se observa mayor acumulación de carbono orgánico. La energía dada por el oleaje en esta zona es un factor determinante en la distribución de estos componentes en el material sedimentario (Figura 47 a y b). Los contenidos de elementos en los sedimentos fueron comparadas con el valor promedio para la corteza terrestre (Taylor, 1964) (Tabla 26). Respecto a los elementos considerados como terrígenos, las concentraciones maximas de Ti (5 mg kg⁻¹) y Li (55 mg kg⁻¹) sobrepasan sus valores promedio para la corteza terrestre (Taylor, 1964). Aluminio tiene promedio de 5% y Fe de 2.8 %, también en esta zona, lo que al parecer es un rasgo típico para la Bahía Concepción (Figura 48).

Los elementos redox sensibles Mo, U y V se caracterizan por su afinidad a las partículas en condiciones de reducción. La acumulación en los sedimentos está relacionada a bajas tasas de sedimentación, esto podría ser una explicación a la baja concentración promedio de estos elementos en comparación con los valores para la corteza continental (Tabla 28). Las concentraciones máximas de Mo, U y V sobrepasan los valores de referencia (Taylor, 1964), lo cual sugiere que su acumulación es puntual (Figura 49 a y b).

Componente	Min	Max	Promedio	S. D.	Corteza ¹	unidad
CaCO ₃	0.7	80	36	22		%
C_{org}	0.05	2.7	0.6	0.6		%
AI	0.8	10	5	2	8.23	%
As	0.3	11	4	3	1.8	mg kg⁻¹
Ba	70	924	460	231	425	mg kg⁻¹
Ca	5	34	18	8	4.2	%
Cd	0.1	2.1	0.4	0.5	0.2	mg kg⁻¹
Co	2	21	12	5	25	mg kg⁻¹
Cr	29	190	99	36	100	mg kg⁻¹
Cs	0.1	1	0.5	0.2	3	mg kg⁻¹
Cu	6	55	25	12	55	mg kg⁻¹
Fe	0.8	4.6	2.8	1	5.6	%
Li	6	55	25	12	20	mg kg⁻¹
Mn	107	674	331	143	950	mg kg⁻¹
Мо	0.1	4.6	1.3	1.4	1.5	mg kg⁻¹
Ni	20	107	61	22	75	mg kg⁻¹
Pb	1.1	14	5	3	12.5	mg kg⁻¹
Rb	3	29	16	7	90	mg kg⁻¹
Sb	0.1	0.4	0.2	0.1	0.2	mg kg⁻¹
Se	0.1	1.1	0.5	0.3	0.05	mg kg⁻¹
Ti	0.05	5	0.3	0.1	0.57	%
U	1	6	2	1	2.7	mg kg⁻¹
V	7	105	61	26	85	mg kg⁻¹
Zn	11	75	40	16	70	mg kg⁻¹

Tabla 28. Contenidos de carbonatos, carbono orgánico y elementos mayores ytraza en sedimentos superficiales del sur de la Bahía Concepción (El Remate).

¹ Taylor, 1964



Figura 47. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) carbonato de calcio y b) carbono orgánico.



Figura 48. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) titanio y b) litio.

Los elementos Cd, Ni, Pb y Zn clasificados como micronutrientes en el medio marino con efectos dañinos en contenidos elevados en el ambiente tienen contenidos promedios inferiores a los valores de referencia (Tabla 28). Solo Cd tiene valor promedio de 0.4 mg kg⁻¹, con maximos de 2.1 mg kg⁻¹ mayor al valor de referencia de 0.2 mg kg⁻¹ en la corteza continental (Taylor, 1964). El Cd tiene valores altos con FE de elemento enriquecido en Mapachitos. Al parecer su fuente principal es de origen biogénico relacionado con el aporte de materia orgánica.

Además de conocer si las aguas subterráneas tenían algún efecto sobre la composición de los sedimentos, otro objetivo fue que esta área sirviera de comparación como una zona de nula influencia hidrotermal. El contenido de As en los sedimentos del Remate esta por arriba del valor de referencia de 1.8 mg kg⁻¹ (Tabla 28). La concentración promedio de As (4 mg kg⁻¹) en El Remate fue mayor a la encontrada en los sedimentos adyacentes de la zona hidrotermal en Mapachitos (3.4 mg kg⁻¹) y en la Ensenada de Santispac (1.4 mg kg⁻¹). Lo anterior puede sugerir que los sedimentos de la Bahía Concepción tienen un valor de fondo para As mayor a lo reportado para la corteza promedio ó que las aguas subterráneas en esta zona contienen niveles altos de As por fuente natural y que este se aporte a la zona adyacente y se acumule en los sedimentos (Figura 50a).

Los elementos análogos al As como Sb y Se tienen concentraciones máximas mayores a la corteza de 2 y 22 veces mayor respectivamente) (Figura 50b). Mientras Sb puede ser de origen terrígeno, el selenio se sabe que participa en las funciones metabólicas de las algas. Al igual que el Cd, la alta concentración de Se puede deberse a fuentes biogénicas (Figura 51). Las zonas de acumulación de as y Se son similares, probablemente por comportarse químicamente igual (Figura 50).



Figura 49. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) vanadio y b) molibdeno.



Figura 50. Distribución espacial en los sedimentos superficiales del Remate: a) arsénico y b) selenio.



Figura 51. Distribución espacial de los contenidos de Cd en los sedimentos superficiales del Remate.

8.5.3.1. Factor de enriquecimiento en los sedimentos superficiales del Remate

Se calculó el factor de enriquecimiento usando a Sc como elemento normalizador después del análisis de correlación entre Fe y elementos terrígenos como Al, Ti y Li. La correlación Sc vs Fe tuvo una R² de 0.97.

De acuerdo a la gráfica de FE, la mayoría de los elementos se clasificaron en diluidos (Cs, Rb, Th y Mn) y conservativos (V, Cu, Co, Fe, Ti, Li, Al, U y Ni) ordenados de menor a mayor (Figura 52). Los elementos terrígenos se agruparon como conservativos. La mayoría de las estaciones rodean un pequeño abanico delta de un arroyo principal. Podría esperarse que el aporte terrígeno fuera significativo, sin embargo por ser por ser una zona árida probablemente el principal aporte sea eólico y con menor proporción el aporte fluvial.

De acuerdo al FE As es clasificado como elemento enriquecido, al igual que Ba y Cr y probablemente la fuente de estos elementos sea por el aporte de aguas subterráneas. Como en el resto de las áreas analizadas los elementos biogénicos altamente enriquecidos (Ca, Cd y Se). La secuencia del FE de mayor a menor fue Se> Ca> As>Cd> Cr>Ba>Ni>U>Al>Li> Zn>Ti>Fe>Co>Cu>V.



Figura 52. Log₁₀ del FE en los sedimentos superficiales del Remate.

8.5.3.2. Asociación entre los ET usando el análisis de factores por el método de componentes principales

El análisis de factores para los datos de la composición química de los sedimentos en El Remate reportó tres factores que explican el 85% de la varianza (Tabla 29).

Tabla 29. Cargas para cada factor resultado del análisis de factores aplicado a la composición de los sedimentos del Remate.

Elemento	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Elemento	Factor 1	Factor 2	Factor 3
AI	0.979	-0.155	0.062	Li	0.843	-0.151	0.259
As	-0.460	-0.343	-0.286	Lu	0.870	0.186	-0.052
Ва	0.986	-0.037	-0.002	Mn	0.959	-0.044	-0.058
Be	0.970	0.062	0.118	Мо	-0.208	-0.877	0.015
Ca	-0.941	0.278	-0.098	Nd	0.990	0.068	-0.003
CaCO ₃	-0.961	0.248	-0.093	Ni	0.925	0.001	0.291
Cd	-0.329	-0.901	-0.019	Pb	0.505	-0.544	-0.173
Ce	0.964	0.127	0.046	phi	-0.265	0.526	0.534
Co	0.977	0.037	0.158	Pr	0.989	0.072	-0.011
Corg	0.070	-0.601	0.324	Sb	-0.449	0.091	0.129
Cr	0.538	-0.204	0.632	Sc	0.971	-0.080	0.159
Cs	0.354	-0.860	0.072	Se	-0.377	-0.758	0.185
Cu	0.923	-0.266	-0.085	Sm	0.991	0.062	0.024
Dy	0.978	0.118	0.094	Tb	0.968	0.078	0.066
Er	0.974	0.126	0.074	Th	0.453	-0.548	0.451
Eu	0.993	0.043	0.049	Ti	0.766	-0.200	0.500
Fe	0.973	-0.075	0.163	Tm	0.820	0.277	0.294
Gd	0.987	0.071	0.065	U	-0.184	-0.100	0.629
Ge	0.814	0.128	0.000	V	0.846	-0.121	0.370
Hf	0.688	-0.268	0.563	Y	0.974	0.104	0.069
Ho	0.957	0.037	0.102	Yb	0.969	0.118	0.084
La	0.989	0.063	-0.012	Zn	0.959	-0.196	-0.048
			Porce	entajes			
		Varianza	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
		Explicada	67.7%	11.3%	6%		

El primer factor tiene una varianza de 68% y agrupa con cargas positivas al Ca y CaCO₃. Mientras las cargas negativas son para la mayoría de los elementos de tierras raras acompañados de elementos abundantes en la corteza. Los elementos agrupados fueron Al, Ba, Be, Ce, Co, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Hf, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Nd, Ni, Pr, Rb, Sc, Sm, Tb, Ti, Tm, V, Y, Yb, Zn. En el Factor 2 que representa el 13% de la variabilidad de los datos se encuentran el carbono orgánico con elementos tales como Zn, Co, V con carga negativa y Th con carga positiva. El Factor 3 presenta la menor proporción de variabilidad y se comforma de Mn y U. Las diferentes agrupaciones pueden se presentan en la figura 53.



Figura 53. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos superficiales del Remate (Factor 1 vs Factor 2).

8.5.3.3. Contenidos de los lantánidos en los sedimentos superficiales del Remate

Los elementos de tierras raras en los sedimentos del sur de la Bahía Concepción tienen concentraciones por debajo de los valores de referencia para la lutita norteamericana. La alta concentración de carbonatos puede ser un factor que influya en los bajos contenidos (Tabla 30).

Elemento	Min	Max	Promedio	D. E.	NASC
La	4	24	14	5	32
Ce	9.5	46	30	9	73
Pr	1	6.5	3.8	1.4	7.9
Nd	4.2	26	15	6	33
Sm	0.8	5.2	3	1.2	5.7
Eu	0.2	1.5	0.9	0.3	1.24
Gd	0.8	4.4	2.7	1	5.2
Tb	0.1	0.6	0.4	0.1	0.85
Dy	0.7	3.2	2	0.7	5.8
Но	0.1	0.6	0.4	0.1	1.04
Er	0.4	1.7	1.1	0.4	3.4
Tm	0.1	0.2	0.1	0.05	0.5
Yb	0.4	1.5	0.9	0.3	3.1
Lu	0.1	0.2	0.1	0.04	0.48

Tabla 30. Contenido de los lantánidos en los sedimentos superficiales del sur de la Bahía Concepción en El Remate (mg kg⁻¹).

El patrón sobre la composidion promedio de lantánidos normalizado con NASC, mostró que hay mayores valores de ETR ligeros con respecto a los ETR pesados, además los ETR medios son altos, con anomalía positiva de Eu típico de los sedimentos del sur de la bahía. El patrón de los contenidos promedios de lantánidos se muestra en la Figura 48.



Figura 54. Patrón de promedio de lantánidos normalizados con NASC en sedimentos del Remate.

8.5.4. Geoquímica de los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción

Se colectaron 27 muestras de sedimento superficial en una zona adyacente a la Península Concepción donde se ha reportado alta concentración de ²²²Rn (Santos *et al.*, 2011). Se eligió esta área además para utilizar los resultados como comparación por ser una zona sin aparentes descargas de fluidos hidrotermales. Los valores de contenidos de elementos se muestran en la Tabla 31. **Tabla 31.** Contenido de carbonatos, carbono orgánico, elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción (mg kg⁻¹; * en %).

Componente	Min	Max	Promedio	D. E.	Corteza continental ¹
CaCO ₃ *	12	81	38	20	
C _{org} *	0.06	1.2	0.6	0.6	
AI *	0.8	10	5	2	8.2
As	0.3	11	4	3	1.8
Ca *	5	34	18	8	4.2
Ва	70	924	460	231	425
Cd	0.1	2.1	0.4	0.5	0.2
Co	2	21	12	5	25
Cr	11	21	32	21	100
Cs	0.1	1	0.5	0.2	3
Cu	6	55	25	12	55
Fe *	0.8	4.6	2.8	1	5.6
Ge	0.3	0.7	0.4	0.1	1.5
Li	6	55	25	12	20
Mg *	1.1	2.6	1.8	0.4	2.3
Mn	107	674	331	143	950
Мо	0.1	4.6	1.3	1.4	1.5
Ni	20	107	61	22	75
Rb	3	29	16	7	90
Th	0.1	5.5	2.4	2	9.6
Ti *	0.05	5	0.3	0.1	0.57
U	1	6	2	1	2.7
V	7	105	61	26	85
Y	3	14	10	3	33
Zr	5	87	48	22	165
Zn	11	75	40	16	70

¹ Taylor, 1964

El contenido de carbonatos en los sedimentos adyacentes a la Península Concepción es en promedio moderado con un 38%, sin embargo en algunas zonas alcanza los 81% (estación 65). De hecho González-Yajimovich y colaboradores (2010) reportan para esta zona que el sedimento es una mezcla de arenas carbonatadas, arenas volcanoclásticas con fragmentos de moluscos y además lodos (Green Muds).

El contenido de carbono orgánico en los sedimentos de esta zona, fue bastante bajo. En promedio tienen 0.57% y en algunas estaciones no fue detectado con valores menores a 0.05%. Al parecer esta zona recibe material terrígeno de la cuenca de drenaje en la Península Concepción pues se encuentra adyacente a algunos abanicos-deltas formados por los arroyos. La pendiente en esta zona es pronunciada pues la batimetría pasa en pocos metros hasta aproximadamente 25 m (González-Yajimovich et al., 2010). De este hecho es posible inferir que las corrientes juegan un papel importante ya que el sedimento fino es transportado hacia la boca de la bahía, lo que tampoco permitiría la acumulación de sedimento rico en carbono orgánico. Las distribuciones de estos dos componentes (CaCO₃ y C_{org}) se muestran en la Figura 55. Comparando las concentraciones promedio con los valores reportados para la corteza continental dados por Taylor (1964), la mayoría de los elementos tienen valores por debajo de los valores de referencia. Como en el resto de las zonas analizadas el valor de Ca es bastante elevado, por lo que los efectos de dilución pueden ser significativos en la concentración de otros elementos. Justo en la estación donde el contenido de carbonatos es máximo, algunos elementos tienen sus concentraciones mínimas como Al, Ba, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hf, Li, Mn, Ni, Pb, Rb, Th, V, Y y Zn. Al parecer la mayoría son elementos asociados a una fuente terrígena. El arsénico fue un elemento que tiene concentraciones en promedio mayores a la corteza con 18 mg kg⁻¹. El máximo valor de As (59 mg kg⁻¹) es alto, aunque en esta zona se supone que no existen aportes importantes de fluidos hidrotermales o aguas subterráneas. Santos et al. (2011), reporta altos contenidos de ²²²Rn en esta área (Figura 56).



Figura 55. Distribución espacial en los sedimentos superficiales adyacentes a la Peninsula Concepción: a) carbonato de calcio y b) carbono orgánico.



Figura 56. Distribución espacial de As en los sedimentos adyacentes a la Península Concepción.

Las posibilidades de la elevada concentración de As con respecto a la corteza puede ser por aporte de material terrígeno desde la cuenca de drenaje de la Península Concepción, o algún aporte de fluidos ya sea de agua subterránea o hidrotermal que aún no se haya descubierto (Figura 56).

8.5.4.1. Factor de enriquecimiento de ET en los sedimentos adyacentes a la Península Concepción

El factor de enriquecimiento de los sedimentos adyacentes a la Península Concepción se muestra en la Figura 57. La mayoría de los elementos se clasificaron como diluidos y conservativos. Al parecer se asocian al aporte terrígeno porque en este grupo hay elementos que solo son abundantes en la corteza como Al, Li, Fe, etc. Se repite el mismo patrón reportado para las otras áreas con Cd, Ca y As como elementos abundantes en los sedimentos. Por la alta concentración de carbonatos en esta zona, todo parece indicar que el enriquecimiento de estos elementos es por fuente biogénica. Como ejemplo se muestra la distribución espacial del FE Cd.



Figura 57. Logaritmo del FE en los sedimentos adyacentes a la Península Concepción.

La distribución espacial del FE Cd tiene sus mayores valores hacia el norte del área estudiada (Figura 58a), cual coincide los mayores contenidos de carbonatos. En general Cd se sabe que es un micronutriente para los organismos marinos, por su analogía con el fósforo.



Figura 58. Distribución espacial del FE en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción: a) cadmio y b) arsénico.

Arsénico resultó como elemento altamente enriquecido en los sedimentos adyacentes a la Península Concepción. En una zona puntual en el centro del área estudiada se muestra el alto enriquecimiento de As. Probablemente exista en esta zona alguna fuente no descubierta ya que las concentraciones de ²²²Rn son altas en la misma área (Figura 58b).

8.5.4.2. Análisis de las asociaciones de los elementos traza aplicando el tratamiento estadístico de los datos

El análisis de componentes principales aplicado a los datos de la composición química de los sedimentos adyacentes a la Península Concepción resultó en tres factores que explican el 87% de la varianza (Tabla 32). El primer factor corresponde al 65% de la variabilidad y está compuesto como en los casos anteriores por dos fuentes claras. Elementos de origen terrígeno con cargas negativas altas y componentes de origen biogénico representado por Ca y CaCO₃. Los elementos fueron AI, Ba, Be, Ce, Cr, Co, Cs, Er, Eu, Fe, Gd, Ho, K, La, Li, Mn, Nb, Nd, Ni, P, Pr, Pb, Rb, Te, Th, Tm, Ti, Sc, Sm, V, Y, Yb, Zn. El segundo factor agrupo a elementos redox sensibles como U, Re y Mo al carbono orgánico y el S. Probablemente sus zonas de acumulación en los sedimentos coincidan con procesos de reducción en los sedimentos por la oxidación de materia orgánica. Los elementos del factor 3 se mostraron independientes sin asociaciones de elementos como As, Mg, Sb y Lu (Figura 59).

Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Al	0.828	0.079	0.522	Mg	0.191	0.159	0.856
As	0.182	0.205	0.602	Mn	0.759	0.026	0.613
Ва	0.954	-0.063	0.249	Nb	0.235	0.681	0.478
Be	0.927	0.215	0.250	Nd	0.948	0.205	0.226
Ca	-0.899	-0.198	-0.315	Ni	0.354	0.812	0.394
CaCO₃	-0.904	-0.177	-0.355	Р	0.837	0.388	-0.139
Cd	0.147	0.953	0.123	Pb	0.908	0.338	0.101
Ce	0.961	0.227	0.092	Pr	0.957	0.220	0.166
Со	0.735	0.086	0.622	Rb	0.897	0.205	-0.024
C _{org}	0.218	0.946	0.068	Re	0.175	0.914	-0.040
Cr	0.313	0.698	0.351	S	0.147	0.949	0.212
Cs	0.488	0.239	0.706	Sc	0.798	0.115	0.538
Cu	0.518	0.154	0.712	Se	0.286	0.879	0.168
Dy	0.928	0.117	0.341	Sm	0.936	0.158	0.301
Er	0.930	0.126	0.289	Tb	0.897	-0.020	0.327
Eu	0.920	0.084	0.372	Th	0.648	0.186	0.346
Fe	0.774	0.111	0.591	Ti	0.682	0.304	0.615
Gd	0.919	0.102	0.367	Tm	0.595	0.048	0.485
Ge	0.253	-0.616	0.462	U	-0.232	0.721	-0.312
Hf	0.454	0.411	0.722	V	0.749	-0.122	0.572
Но	0.883	0.055	0.365	Y	0.944	0.067	0.289
La	0.963	0.230	0.060	Yb	0.911	0.101	0.382
Li	0.721	0.270	0.589	Zn	0.750	0.408	0.480
Lu	0.221	-0.294	0.484	Zr	0.617	0.385	0.649
			Porce	entajes			
		Varianza	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
		Explicada	52%	17%	18%		

Tabla 32. Cargas de los factores resultados del análisis de factores aplicado a la composición de los sedimentos adyacentes a la Península Concepción.



Figura 59. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de los sedimentos adyacentes a la Peninsula Concepción (Factor 1 vs Factor 2).

8.5.4.3. Contenido de los lantánidos en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción.

Los contenidos de lantánidos en los sedimentos adyacentes a la Península Concepción tienen bajos contenidos de elementos de tierras raras comparados con la lutita norteamericana (Tabla 33). Las rocas que conforman la Península Concepción son ígneas intrusivas, sin embargo existen abanico deltas a lo largo de península formados principalmente por areniscas que muy probablemente conformen el sedimento de la zona adyacente. El alto contenido de carbonatos (máximo 80 %) puede afectar sus contenidos totales en los sedimentos. En este caso de estudio, las proporciones entre los lantánidos ligeros y pesados es muy similar y los lantánidos medios son mayores, además de la anomalía positiva de Eu típica de los sedimentos de Bahía Concepción (Rodriguez-Meza, 2005) (Figura 60).

Elemento	Min	Max	Promedio	D. E.	NASC	
La	4	24	14	5	32	
Ce	9.5	46	30	9	73	
Pr	1	6.5	3.8	1.4	7.9	
Nd	4.2	26	15	6	33	
Sm	0.8	5.2	3	1.2	5.7	
Eu	0.2	1.5	0.9	0.3	1.24	
Gd	0.8	4.4	2.7	1	5.2	
Tb	0.1	0.6	0.4	0.1	0.85	
Dy	0.7	3.2	2	0.7	5.8	
Но	0.1	0.6	0.4	0.1	1.04	
Er	0.4	1.7	1.1	0.4	3.4	
Tm	0.1	0.2	0.1	0.05	0.5	
Yb	0.4	1.5	0.9	0.3	3.1	
Lu	0.1	0.2	0.1	0.04	0.48	

Tabla 33. Contenido de los lantánidos en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción (mg kg⁻¹).



Figura 60. Patrón de la composición promedio de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en los sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción.

8.6. Geoquímica de los núcleos de sedimento colectados en Bahía Concepción8.6.1. Geoquímica del núcleo colectado en la parte central-sur de la BahíaConcepción

El núcleo de sedimento fue colectado en la parte central de la bahía con el fin de conocer los perfiles verticales de elementos. El contenido de carbono orgánico decrece con respecto a la profundidad del núcleo. Esta disminución muy probablemente se deba a la remineralización de materia orgánica dentro del sedimento, lo cual tendría efecto sobre la distribución vertical de los elementos redox sensibles. El contenido de carbonatos tiene un intervalo de 18 a 26 %, que comparado con los sedimentos superficiales es bajo, ya que el núcleo fue tomado

en la zona más profunda donde el sedimento es fino con baja presencia de material calcáreo y sin embargo ambos componentes aumentan a partir del centímetro 16 a los 22 cm del núcleo. Probablemente algunos eventos extremos fueron suficientemente intensos como para transportar material calcáreo, que es abundante en la zona adyacente, hasta la parte central de la bahía o bien hubo una disolución por consumo de C_{org} (Figura 61).





Los elementos traza tienen algunas similitudes a lo largo de los perfiles verticales. Por ejemplo los elementos que son abundantes en la corteza terrestre como Al, Li, Fe, Sc mostraron un incremento gradual con la profundidad y todos aumentaron su concentración entre los 10 y 18 cm. De estos solo Li es mayor al valor de referencia de la corteza, aunque en general los sedimentos de la bahía no presentan altos contenidos de estos elementos, es decir es algo típico para esta

zona. En este caso el aporte de elementos terrígenos hasta el fondo puede estar asociado a un evento como como algún huracán (Figura 62).



 \longrightarrow Li (mg kg⁻¹) ----- Li corteza (mg kg⁻¹)

Figura 62. Perfil vertical del contenido de Li y Fe en el núcleo NT colectado en la estación T1.

Los elementos redox sensibles U, Re y Mo presentaron un perfil similar entre ellos y coincide en su mayor acumulación a la misma profundidad que los elementos terrígenos. Aunque presentan picos de alta y baja concentración. U y Re incrementan sus contenidos desde los 4 cm con valores mucho mayores a la corteza y solo se disminuye después de los 18 cm, para luego incrementarse. Cabe mencionar que la acumulación de ambos elementos depende de la formación de complejos en condiciones reductoras. Los perfiles de ambos elementos se muestran en la Figura 63.



---- Re µg kg⁻¹

Figura 63. Perfiles verticales del contenido de U y Re en el núcleo NT colectado en la estación T1.

Aunque las fuentes geotermales e hidrotermales están lejos del sitio de colecta del núcleo, para los elementos potencialmente tóxicos como As sus valores en los sedimentos del núcleo son mucho mayores a la corteza. Ya que el arsénico es afín a las diferentes matrices, su incremento en la concentración puede llegar por diferentes vías, ya sea con partículas terrígenas, con fuentes orgánicas, etc. Además mostró un comportamiento similar al Mo, aumentando su concentración hacia el fondo y con ciertos picos de menor concentración entre los 8 y 18 cm. Por otra parte el Hg, con altos contenidos en los sedimentos de las

zonas de las fuentes geotermales e hidrotermales, en los sedimentos de este núcleo a diferencia del As disminuye su concentración, además sus valores son menores con respecto a la corteza.

La distribución de Hg en los sedimentos de las zonas adyacentes a las fuentes geotermales e hidrotermales indicó contenidos menores a los encontrados en los sedimentos colectados directamente en las salidas de fluidos, lo que indica la baja movilidad de Hg en los sedimentos de Bahía Concepción. El perfil vertical de Hg muestra dos picos a 2 cm y 18 cm. Estos dos máximos de concentración no fueron observados en el resto de los elementos (Figura 64).



Figura 64. Perfiles verticales de As y Hg en el núcleo NT colectado en T1.

Los contenidos de Cd en el núcleo NT decrecen con la profundidad, aunque los valores son mayores a la corteza. Este elemento en general muestra este comportamiento en la bahía Concepción, es decir siempre aparecía con concentraciones por arriba del valor de referencia. Los altos contenidos de Cd en
los primeros centímetros del núcleo pueden estar asociados a su afinidad a las partículas orgánicas. Los elementos químicos análogos como Pb y Ni tienen un perfil con un pico de máxima concentración en los primeros 3 cm que disminuye y es casi lineal dentro del núcleo. En condiciones de alta reducción, ambos elementos forman partículas insolubres de sulfuros. En el caso del núcleo NT, al parecer no existe tan alta reducción como para formar compuestos insolubles de estos elementos, ya que sus contenidos disminuyen con la profundidad del núcleo (Figura 65).



Figura 65. Perfil vertical del contenido de Cd y Pb en el núcleo NT.

8.6.1.1. Factor de enriquecimiento de ET en la composición del núcleo NT

El factor de enriquecimiento se calculó tomando como elemento normalizador al AI, ya que en la aplicación de regresión líneal contra Fe este elemento tuvo mejor correlación (r^2 =0.94). El FE es una prospección para clasificar los elementos de diluídos hasta altamente enriquecidos.

La descripción del FE se hizo con respecto a la profundidad. Los elementos que tienen valores de FE entre 0 y 0.6, se consideran diluidos como Co, Cs, Fe, Hg, Mn, Ni, Rb, Sc, Th y V (Figura 66 y 67).



Figura 66. Perfiles verticales del Fe de elementos diluídos en el núcleo NT (1era parte).

Cabe mencionar que en este grupo se encuentran elementos que en los sedimentos cercanos a los manantiales mostraron enriquecimiento como Hg y Mn. Sin embargo en este núcleo aparecen como diluidos. Probablemente por su lejanía de estas fuentes se tenga este resultado, encontrando valores de fondo, menores al promedio para la corteza. Es de resaltar además el agrupamiento de

elementos terrígenos como Sc y Fe, a pesar de que el sedimento en esta zona es principalmente terrígeno.



Figura 67. Perfiles verticales del FE de elementos diluidos en el núcleo NT (2da parte).

Los elementos clasificados como conservativos por tener valores de FE entre 1 y 2 fueron Cr, Li, Mg y Zn (Figura 68). El Cr presenta mayor variabilidad en sus contenidos a lo largo del núcleo. Este elemento es redox sensible y en condiciones de bajo pH forma oxianiones en fase disuelta, mientras en condiciones básicas tiende a formar oxihidróxidos. Probablemente la variabilidad de los picos corresponda a cambios de pH dentro de la columna sedimentaria. El resto de los elementos de este grupo muestran un comportamiento casi constante a lo largo del núcleo (Figura 68).



Figura 68. Perfiles verticales del FE de elementos conservativos en el núcleo NT.

Los elementos que tienen valores de FE entre 1 y 5 fueron Ca, Sb, Sr, Ti, y U (Figura 69). Dentro de este grupo cada uno de los elementos tienen comportamientos diferentes, no se puede dar un patrón definido. El Ca por su relación con los contenidos de carbonatos tiene un perfil similar, este elemento en el núcleo está relacionado con la presencia de material calcáreo al igual que Sr. Sin embargo U tiene un comportamiento muy similar al Cr y Mo. Aunque en diferente grado de enriquecimiento los picos de mayores valores coinciden. Esto podría servir para suponer que dentro del núcleo si hubo cambios significativos de

pH que permitieron que estos elementos aumentaran o disminuyeran su concentración a lo largo del núcleo, formando oxianiones en fase disuelta o partículas como oxihidróxidos y complejos insolubles.



Figura 69. Perfiles verticales del FE de elementos enriquecidos en el núcleo NT.

Para los elementos clasificados como altamente enriquecidos destacan cuatro (Figura 70). El Se en mayor proporción seguido por Cd. Ambos elementos sabe tienen interacción con la biota marina, considerados se como micronutrientes. Dentro del núcleo disminuyen su concentración. Es probable que su alto enriquecimiento esté relacionado con el aporte de material biogénico desde la zona marina adyacente hasta la zona de manglar, incluso podría ser que el material orgánico que aporta el manglar este enriquecido en ambos como se menciono en micronutrientes. El Mo el caso anterior tiene comportamiento similar a Cd y Cr con algunos picos a lo largo del núcleo. Dentro de los elementos potencialmente tóxicos, el As mostro alto enriquecimiento a lo largo del núcleo, ya que sus valores de FE llegan hasta los 14 (Figura 70).

Es resaltable que a comparación de Hg que se mostró diluido, As permanezca como altamente enriquecido. Su afinidad a las diferentes formas químicas lo hace un elemento omnipresente que a lo largo de este estudio apareció de manera significativa en la mayoría de las matrices estudiadas.



Figura 70. Perfiles verticales del FE de elementos altamente enriquecidos en el núcleo NT.

8.6.1.2. Contenidos de lantánidos y patrones normalizados con NASC de los sedimentos del núcleo NT

Los contenidos de elementos de tierras raras en el núcleo de sedimento colectado al sur de la Bahía Concepción resultaron con valores más bajos al compararlos con los valores de referencia dados para la lutita norteamericana (NASC). Los patrones normalizados de estos elementos mostraron similares proporciones entre elementos de tierras raras ligeros y pesados. En general a lo largo del núcleo se repite este patrón coincidiendo además con la anomalía positiva de Eu, rasgo típico para sedimentos de la Bahía Concepción. Para fines prácticos solo se graficaron 3 horizontes del núcleo (1 cm, 10 cm y 20 cm) (Figura 71). La baja composición de los lantánidos en los sedimentos de la bahía puede estar relacionada con una composición natural baja en estos elementos, ya que en todos los casos estudiados los valores no sobrepasan los contenidos para la lutita norteamericana.



Figura 71. Patrones de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en tres horizontes del núcleo NT.

8.6.1.3. Asociación de elementos traza en el núcleo NT aplicando el análisis de factores

Los datos de la composición elemental de los sedimentos del núcleo se sometieron al análisis de factores por el método de componentes principales. Con este tratamiento se explica el 81% de la variabilidad de los datos con tres factores (Tabla 34).

Tabla 34. Cargas de los factores resultado del análisis de factores por componentes principales aplicado sobre la composición elemental de núcleo NT.

Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Al	0.935	0.095	0.262	Мо	0.693	0.168	0.108
As	0.783	0.452	-0.096	Nb	0.778	-0.058	0.014
Ва	-0.315	0.004	-0.805	Nd	0.961	0.225	0.106
Be	0.884	0.234	0.099	Ni	0.953	-0.073	0.188
Ca	0.191	0.857	0.150	Р	0.423	0.182	0.540
CaCO ₃	-0.390	0.832	-0.110	Pr	0.968	0.216	0.057
Cd	-0.691	-0.519	0.344	Rb	0.813	0.025	0.439
Ce	0.974	0.164	0.065	Rb	0.003	-0.676	0.229
Со	0.960	0.113	0.083	Re	0.241	0.787	0.209
Corg	-0.688	-0.608	0.267	S	0.336	-0.558	0.637
Cr	0.312	0.460	-0.128	Sb	0.790	0.112	0.062
Cs	0.833	0.286	-0.022	Sc	0.748	0.206	0.510
Cu	-0.122	-0.640	0.250	Se	-0.396	-0.512	0.266
Dy	0.950	0.220	0.004	Sm	0.962	0.208	0.015
Er	0.930	0.254	0.020	Sr	0.361	0.821	0.174
Eu	0.916	0.301	0.162	Tb	0.877	-0.133	-0.066
Fe	0.924	0.103	0.294	Th	0.868	0.033	-0.194
Gd	0.934	0.182	0.122	Ti	0.904	0.049	0.291
Hf	0.947	0.080	-0.021	Tm	0.720	0.477	-0.030
Hg	-0.586	-0.636	0.180	U	0.601	0.601	0.156
Но	0.687	0.186	0.112	V	0.891	0.250	0.297
К	0.868	-0.194	0.380	W	-0.071	-0.502	-0.390
La	0.971	0.171	0.070	Y	0.941	0.208	0.184
Li	0.927	0.302	0.051	Yb	0.864	0.298	0.097
Lu	0.900	-0.213	-0.026	Zn	0.923	-0.129	0.241
Mn	0.875	0.377	0.029	Zr	0.969	0.031	0.034
	Porcentajes			-			
		Varianza	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
		Explicada	60%	15%	6%		

El primero (60 %) agrupa a elementos abundantes en la corteza como los lantánidos, Al, As, Be, Cs, Co, Cu, Er, Fe, Hf, K, Li, Mn, Mo, Rb, Sb, Sc, Sr, V, Th, Ti, U e Y estos con cargas altas negativas. En este grupo con cargas altas positivas Cd, Hg y carbono orgánico.

En el segundo grupo (15 %) aparecen Ca, CaCO₃ y Sr con cargas negativas altas, por lo tanto el segundo factor representa los componentes biogénicos, además de los metales pesados como Cu, Pb relacionados con S con cargas altas positivas. El tercer factor (6 %) no tiene cargas significativas (Tabla 34).



Figura 72. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental del núcleo NT (Factor 1 vs Factor 2).

8.6.1.4. Fechación del núcleo NT con el método del ²¹⁰Pb

En los primeros 4 cm del núcleo, el perfil de la actividad del ²¹⁰Pb mostró una irregular, pero un decremento aproximadamente exponencial como una función de la profundidad. Bajo los 4 cm, el perfil de la actividad del ²¹⁰Pb es cercanamente vertical. La actividad máxima del ²¹⁰Pb de 1.61 DPM/g observada en la sección 1 -2 cm es 2.1 veces mayor a la actividad más baja de 0.76 DPM/g en la sección del fondo (profundidad extrapolada de 14.5 – 20 cm).

La actividad de ²¹⁰Pb en la sección superior del núcleo (0-1 cm) es más baja que la sección adyacente (1-2 cm) y esto probablemente representa un incremento en la tasa de acumulación de sedimento, y/o mezcla física por la biota o actividad hidrodinámica, y/o difusión de ²¹⁰Pb a través del gradiente redox y/o incompleta diagénesis de sedimentos superficiales, y/o incompleto crecimiento interno del nieto ²¹⁰Pb que se está midiendo.

La densidad aparente en seco generalmente incrementa con la profundidad de 0.259 g cm⁻³ en la superficie del núcleo a 0.762 g cm⁻³ en el fondo del núcleo. La tasa de acumulación de sedimento es relativamente constante en el intervalo de 1 – 4 cm, con un rango de 0.0839 – 0.0874 g cm⁻³ año⁻¹ y esta incrementa a 0.0994 g cm⁻³ año⁻¹ en la superficie del núcleo.

La actividad de ²²⁶Ra fue medido a 0.48 y 0.51 DPM/g en la sección 2-3 cm y 9-10 cm, respectivamente. ²¹⁰Pb neto no soportado arriba de la quinta sección fue calculado sustrayendo la medición de ²²⁶Ra en la sección 2-3 cm de cada valor de ²¹⁰Pb total. La medición de la actividad de ²²⁶Ra en las dos profundidades indica que la actividad del ²¹⁰Pb de fondo no ha sido lograda en el núcleo. La actividad de ¹³⁷Cs fue indetectable en este núcleo.

El modelo de regresión asume una entrada constante de ²¹⁰Pb y sedimentos. Este supuesto parece ser generalmente satisfecho en el intervalo del núcleo entre 1-4 cm, y por lo tanto el modelo ha sido aplicado a este intervalo del núcleo para estimar la tasa de sedimentación promedio. El modelo de regresión resultó con una R²=0.9740 en la tasa de acumulación promedio de 0.0851 g cm⁻² año⁻¹ tomando la actividad de fondo del ²¹⁰Pb en 0.4795 DPM g (Figura 73).



Figura 73. Modelo de regresión de la actividad de ²¹⁰Pb no soportado vs masa acumulada seca.

8.6.2. Geoquímica del núcleo de sedimento adyacente al manantial geotermal en Santispac.

El contenido de carbono orgánico es bastante alto en la superficie (30%). Se entiende por estar en una zona de manglar donde se sabe estos ambientes son trampas de carbono orgánico, además de lo que por sí mismos aportan. En los primeros centímetros de profundidad se ve un decremento en la concentración de carbono orgánico, lo que indica que algo de este se remineraliza, sin embargo hay una excesiva acumulación de C_{org} a los 8 cm con contenidos hasta por 70% (Figura 74). Definitivamente un evento extremo pudo ocasionar tal acumulación. Pudo ser un temblor que removió la columna sedimentaria, pudo ser un excesivo aporte desde la zona adyacente, sin embargo es poco probable, ya que se esperaría además altos contenidos de carbonatos, sin embargo no sucede esto. Se puede notar como la concentración después de los 10 cm drásticamente disminuye quedando en valores similares a los obtenidos en los primeros centímetros y terminando en los últimos centímetros con valores muy bajos y similares a lo encontrado en los primeros cadyacentes. Por otro lado, el contenido de carbonatos es bajo en los primeros centímetros y después de los 12 cm hay un incremento. Probablemente los efectos de marea fueron suficientemente intensos como para transportar material calcáreo, que es abundante en la zona adyacente, hasta el área de los manantiales dentro del manglar ya que se encontraron restos de conchas (Figura 74).



Figura 74. Distribución vertical de C_{org} y CaCO₃ en el núcleo NM adyacente al manantial geotermal.

Los perfiles verticales de elementos terrígenos AI, Li, Sc y Ti mostraron una disminución en la concentración con respecto a la profundidad. Al comparar con los valores promedio para la corteza continental solo Li sobresale en los primeros 9 cm. Por el contrario el Al tiene valores por debajo del promedio para la corteza terrestre (Taylor, 1964). Para Sc y Ti el perfil vertical es muy similar para ambos elementos, con disminución con respecto a la profundidad. A su vez, los dos elementos tienen concentraciones menores al promedio para la corteza.

Los principales elementos indicadores de condiciones redox son Fe y Mn, ya que en condiciones reductoras sus concentraciones en forma particulada disminuyen. En el núcleo analizado se encontró al Fe con concentraciones menores a la corteza a pesar de ser abundante en sedimentos terrígenos. En cambio Mn en los sedimentos de los manantiales se mostró en algunos intervalos enriquecidos (Figura 75).



Figura 75. Perfil vertical del contenido de Fe y Mn en el núcleo NM adyacente al manantial geotermal.

Al parecer la formación de óxidos de Fe autigénicos en los sedimentos cercanos al manantial no fueron comunes, y más bien la acumulación de otros elementos traza estaría relacionada con los compuestos autigénicos de Mn. Incluso los procesos diagenéticos podrían predecirse con el perfil vertical de este elemento. En su perfil vertical Mn disminuye su concentración con respecto a la profundidad, sin embargo comparando con la corteza, tanto en la superficie como dos picos en los centímetros 5 y 13 son mayores al valor de referencia. Ya que este comportamiento solo se observa para Mn una teoría es que por efecto de difusión Mn puede migrar hacia arriba o hacia abajo y volver a forman Mn particulado en forma de óxidos, hecho que se presenta cuando los procesos de diagénesis están presentes en los sedimentos (Froelich et al., 1979). La mayoría de los elementos redox sensibles As, Mo, Cd, Re, U y V tuvieron sus mayores concentraciones entre los 5 y 9 cm. Este comportamiento es muy similar a lo encontrado para S y justo a esta profundidad los contenidos de Mn disminuyen, así como el contenido de carbono orgánico. Cabe mencionar que algunos de estos elementos en condiciones reductoras forman sulfuros insolubles como el caso de Cd (Figura 76).



Figura 76. Perfil vertical del contenido de Cd y S en el núcleo NM adyacente al manantial geotermal.

Como puede apreciarse en la figura los picos coinciden exactamente. Sin embargo además de los procesos diagenéticos, no se puede descartar algún evento extremo que haya aportado elementos traza en la columna sedimentaria como algún temblor.

Otro ejemplo son los perfiles verticales de Mo y V (Figura 77). Ambos elementos en condiciones reductoras forman partículas insolubles como complejos químicos. El pico máxima concentración para estos elementos coincide con los picos de Cd y S. Comparando con la corteza, el contenido de Mo encontrado sobrepasa los niveles, mientras V excede su valor de referencia solo en el pico después de los 135 mg kg⁻¹. Cabe mencionar que la acumulación de V en la columna sedimentaria por ejemplo está relacionada con bajas tasas de sedimentación. En este caso, solo el pico máximo sobrepasa el valor de la corteza, probablemente porque el núcleo en cuestión fue colectado en una zona intermareal donde hay constante recambio de agua y por lo tanto resuspensión del sedimento.



Figura 77. Perfil vertical del contenido de Mo y V en el núcleo NM adyacente al manantial geotermal.

Los elementos potencialmente tóxicos As y Hg mostraron comportamientos diferentes. Al comparar con la corteza, el As tiene valores muy por arriba del valor para la corteza terrestre (1.8 mg kg⁻¹), ya que su rango fue de 9.6 – 18.3 mg kg⁻¹. Su concentración máxima coincide con otros elementos redox sensibles entre los 5 y 9 cm. El caso de Hg tiene su pico máximo a los 3 cm con 58 µg kg⁻¹ y un segundo pico de menor concentración a los 18 cm (40 µg kg⁻¹). Justo a la concentración donde varios elementos tienen sus concentraciones máximas, Hg tiene sus menores contenidos (Figura 78). Probablemente por sus diferencias de movilidad química, el Hg no se precipite cerca de los manantiales y permanezca en fase disuelta, mientras As un elemento más afín a las partículas se enriquezca en los sedimentos adyacentes.



Figura 78. Perfil vertical del contenido de Hg y As en el núcleo NM adyacente al manantial geotermal.

8.6.2.1. Factor de enriquecimiento de ET en los contenidos del núcleo NM

Se construyeron los perfiles de valor de FE a lo largo del núcleo y los elementos que en su mayoría se clasificaron como diluidos son Fe, Ni, Cu, Cr y Pb. Estos elementos son llamados metales pesados y en condiciones de alta reducción forma partículas insolubles. En este caso tomando como referencia estos elementos, podría decirse que no hubo alta reducción hasta la formación de sulfuros. Aunque para la mayoría de los elementos exceptuando al cromo se observa un pico entre los 8 y 10 cm que coincide con altos contenidos de carbono orgánico, a esta misma profundidad el Cr disminuye ligeramente (Figura 79). Solo Pb en la parte superficial tiene un ligero mayor enriquecimiento, seguramente por aporte atmosférico y su afinidad a las partículas.



Figura 79. Perfiles verticales de elementos diluidos en el núcleo NM.

Los elementos Mg, V y Zn en su mayoría se clasificaron como conservativos a lo largo del núcleo, la única similitud es que tienen un pico de máxima concentración entre los 8 y 10 cm, y para Mg y Zn su concentración decrece con la profundidad (Figura 80). Sin embargo V presentó alta variabilidad en sus contenidos. Tanto en la superficie como en el fondo tiene valores bajos de FE (diluídos) y justo a los 7 cm hay un incremento considerable que lo clasifica como enriquecido. Este alto pico coincide con un elevado contenido de carbono orgánico (70%), además de otros elementos. La explicación es que el alto enriquecimiento a esta profundidad probablemente fue un evento extremo, como un temblor.



Figura 80. Perfil vertical del FE para elementos clasificados como conservativos del núcleo NM.

En promedio los elementos clasificados como enriquecidos fueron Cs, Co, Li y Mn. El Co tiene un pico muy similar a lo encontrado para V, los otros elementos también presentan este pico entre los 8 y 10 cm aunque en menor proporción. Incluso el Mn también presenta un ligero pico. Este hecho sugiere de nueva cuenta que a pesar de existir una excesiva acumulación de carbono orgánico a este profundidad, este aun no es remineralizado completamente, pues si fuera así, se observara una disminución del Mn particulado. Este elemento es variable con incremento y decrementos con respecto a la profundad del núcleo, esto por ser un elemento redox sensible. Su elemento análogo el Fe a pesar de estar diluido se comporta de manera similar coincidiendo en los mismos picos altos y bajos de acumulación. Solo Cs muestra un comportamiento algo diferente con un notable incremento en los valores de FE con la profundidad muy similar a lo encontrado para los carbonatos (Figura 81).



Figura 81. Perfil vertical del FE para elementos clasificados como enriquecidos del núcleo NM (1era parte).

Dentro de los elementos que se encontraron altamente enriquecidos se incluyen algunos de importancia ambiental como As y Hg que son potencialmente tóxicos, otros elementos redox sensibles, etc. Estos son As, Ba, Ca, Cd, Hg, Mo Sb y U este último con los mayores enriquecimientos encontrados en este estudio. En general la mayoría de los elementos fueron altos en los sedimentos colectados en los manantiales geotermales y en la costra. Para fines prácticos se graficaron solo Cd, As y Hg en forma logarítmica, y estos tres elementos coinciden con un pico entre los 8 y 10 cm al igual que otros elementos, sin embargo es de llamar la atención el comportamiento de Hg (Figura 81). Su pico máximo no coincide con ningún elemento graficado, sino a los 6 cm, y su concentración disminuye hacia los últimos centímetros del núcleo.



Figura 82. Perfil vertical del FE para elementos clasificados como altamente enriquecidos del núcleo NM.

La única explicación es que si existió ese evento extremo, el Hg permaneció en forma disuelta y fue acumulado posteriormente en la zona adyacente. El cadmio también fue altamente enriquecido en los sedimentos del núcleo, aunque en los sedimentos de la bahía es un comportamiento típico por ser micronutriente y probablemente su enriquecimiento esté relacionado con el aporte desde la zona marina adyacente. El As también presenta alto enriquecimiento pero en menor proporción que el Hg. Probablemente por ser un elemento más móvil afín a diferentes matrices como las partículas suspendidas, el agua y los organismos (Figura 82).

8.6.2.2. Contenidos de los lantánidos en los sedimentos del núcleo NM

Los patrones de elementos de tierras raras mostraron un comportamiento similar para lantánidos ligeros a través de todo el horizonte, con una anomalía positiva de Eu y con algunas diferencias en los elementos de tierras raras pesados (Figura 78).



Figura 83. Patrones de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en tres horizontes del núcleo NM.

Este patrón es típico de los sedimentos de la bahía (Rodríguez Meza, 2005). La anomalía positiva de Eu se asocia a las fuentes geotermales cercanas al punto de muestreo de este núcleo, que además por encontrarse en la zona de manglar donde el sedimento es principalmente terrígeno otra razón para esta anomalía puede ser al aporte continental de partículas por presencia de feldespatos. Para efectos prácticos se presentan los patrones de tres horizontes dentro del núcleo (1cm, 10 cm y 20 cm) (Figura 78).

8.6.2.3. Análisis de las asociaciones de los ET aplicando el análisis factores sobre la composición del núcleo NM

El análisis de factores aplicado a la composición elemental del núcleo NM resulto en 3 factores que explican 46% de la varianza de los datos con una proporción del 92% (Tabla 35). El primer factor con el mayor porcentaje de 71% agrupo a los lantánidos y otros elementos abundantes en la corteza como Al, Fe, Li, Sc, Ti e Y entre otros. El segundo factor incluyó a los elementos redox sensibles como As, Cd, Co, Mo, Re, S, Sb, U y V unidos a carbono orgánico. Este grupo abarco un porcentaje de 18%, lo cual indica que la asociación de elementos redox sensibles al carbono orgánico tiene un cierto valor en la variabilidad de la composición elemental de los sedimentos del núcleo. El factor tres solo representa a Te y Hg como elementos independientes que no se agruparon con algunos otros aunque Hg tiene la misma carga en el factor 1 y el factor 3. Este elemento tuvo cierta relación con As por ejemplo, sin embargo sus picos de mayor acumulación no coincidieron con ningún otro elemento (Figura 84).

Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Al	0.988	0.063	-0.011	Mn	0.588	-0.112	0.399
As	0.267	0.954	0.068	Мо	-0.019	0.964	-0.106
Ва	0.990	0.045	-0.026	Nb	0.972	0.054	-0.052
Be	0.977	0.165	0.095	Nd	0.991	0.116	0.036
Ca	-0.862	-0.394	-0.231	Ni	0.702	0.688	0.005
CaCO₃	-0.884	-0.379	-0.208	Р	0.063	0.529	0.805
Cd	0.153	0.913	-0.046	Pb	0.988	0.046	0.059
Ce	0.996	0.052	0.022	Pr	0.992	0.094	0.031
Со	0.173	0.967	0.009	Rb	0.990	0.110	0.017
C _{org}	0.344	0.858	0.354	Re	-0.081	0.980	-0.018
Cr	0.563	0.456	0.261	S	0.271	0.928	0.093
Cs	0.976	0.143	0.094	Sb	-0.023	0.992	-0.038
Cu	0.979	0.149	0.014	Sc	0.986	0.100	-0.007
Dy	0.984	0.136	0.063	Sm	0.991	0.100	0.052
Er	0.979	0.160	0.054	Sr	-0.879	-0.358	-0.057
Eu	0.974	0.149	0.053	Tb	0.955	0.151	0.102
Fe	0.972	0.219	-0.031	Th	0.990	0.005	-0.019
Gd	0.982	0.156	0.056	Ti	0.966	0.205	0.052
Ge	0.005	0.921	0.111	Tm	0.899	0.006	0.093
Hf	0.924	0.074	-0.048	U	0.051	0.953	0.238
Hg	0.522	0.012	0.067	V	0.275	0.927	0.064
Но	0.947	0.196	0.096	W	0.579	0.549	0.407
La	0.992	0.103	0.050	Y	0.966	0.201	0.131
Li	0.941	0.284	0.161	Yb	0.987	0.129	0.060
Lu	0.836	-0.216	-0.398	Zn	0.884	0.426	0.109
Mg	0.924	0.156	0.288	Zr	0.961	0.081	-0.016
	Porcentajes						
		Varianza	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
		Explicada	66%	24%	3%		

Tabla 35. Resultado del análisis de factores por el método de ACP aplicado a lacomposición elemental del núcleo NM.



Figura 84. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental del núcleo NM (Factor 1 vs Factor 2).

8.7. Macroalgas como bioindicadores de los contenidos de ET en Bahía Concepción

8.7.1. Composición elemental de las macroalgas

Se colectaron especímenes de una especie de macroalga cafe (*Sargassum sinicola*) en el área de Santispac, Mapachitos y El Remate. Se trató de hacer una primera prospección del posible efecto de las descargas sobre los organismos. Se eligió esta especie por su abundancia en la bahía, siendo representativa y posible de comparar, así como identificar si los ET disueltos están siendo acumulados por los organismos. Con los resultados se puede dar una aproximación sobre la biodisponibilidad de ET principalmente aquellos potencialmente tóxicos. La composición elemental de las macroalgas en las tres zonas de estudio se muestran en la Tabla 36 con los valores: mínimo – máximo/ promedio ± desviación estándar.

Elemento	Santispac	Mapachitos	El Remate
As	23 - 168	62 - 640	32 - 81
mg kg⁻¹	<u>54 + 48</u>	203 + 195	<u>51 + 14</u>
Ba	<u>13 - 20</u>	<u>11 - 29</u>	<u>12 - 38</u>
mg kg⁻¹	16 ± 3	18 ± 7	29 ± 9
Ca	<u>0.03 - 7.4</u>	<u>0.5 - 1.9</u>	<u>1 - 11</u>
%	3.8 ± 2.7	1.3 ± 0.5	4 ± 3
Cd	<u>1 - 5</u>	<u>1.4 - 5</u>	<u>1 - 5</u>
mg kg⁻¹	3 ± 1.5	3.7 ± 1.3	3 ± 1
Co	<u>0.8 - 2</u>	<u> 1.5 - 3.9</u>	<u> 1.6 - 6.5</u>
mg kg⁻¹	1.3 ± 0.4	2.7 ± 0.8	3.5 ± 1.6
Cr	<u>0.2 - 1.3</u>	<u>0.3 - 2</u>	<u>1 - 5</u>
mg kg⁻¹	0.4 ± 0.7	0.9 ± 0.6	3 ± 2
Cs	<u>61 - 340</u>	<u>84 - 561</u>	<u>59 - 160</u>
µg kg⁻¹	170 ± 100	197 ± 170	101 ± 32
Cu	<u>2 - 3.8</u>	<u>1.3 - 2.5</u>	<u>1.9 - 4.5</u>
mg kg⁻¹	2.6 ± 0.7	1.8 ± 0.5	3 ± 0.8
Fe	<u>112 - 670</u>	<u> 144 - 1240</u>	<u>460 - 2390</u>
mg kg⁻¹	376 ± 214	599 ± 452	1348 ± 683
Ge	<u>20 - 220</u>	<u> 30 - 830</u>	<u>60 - 240</u>
µg kg⁻¹	70 ± 66	237 ± 299	144 ± 60
Hg	<u> 16 - 95</u>	<u>20 - 71</u>	<u>14 - 49</u>
µg kg⁻¹	48 ± 28	35 ± 16	32 ± 11
Mn	<u> 25 - 941</u>	<u> 28 - 196</u>	<u>35 - 373</u>
mg kg⁻¹	204 ± 304	78 ± 66	104 ± 105
Ni	<u>1.1 - 3.7</u>	<u>1.4 - 3.1</u>	<u>3 - 8</u>
mg kg⁻¹	1.2 ± 0.8	2.3 ± 0.7	5 ± 2
Pb	<u> 160 - 430</u>	<u>120 - 310</u>	<u> 190 - 650</u>
µg kg⁻'	270 ± 103	206 ± 74	422 ± 72
Sc	<u>45 - 252</u>	<u>62 - 420</u>	<u> 163 - 895</u>
mg kg⁻'	147 ± 79	191 ± 135	458 ± 222
Sb	<u>24 - 55</u>	<u>50 - 665</u>	<u>32 - 71</u>
µg kg⁻¹	38 ± 11	207 ± 243	51 ± 14
Sr	<u> 1250 - 3080</u>	<u> 1120 - 1930</u>	<u> 777 - 2270</u>
mg kg⁻¹	2118 ± 571	1580 ± 316	1577 ± 526
Th	<u>14 - 84</u>	<u>21 - 99</u>	<u>48 - 143</u>
µg kg⁻¹	36 ± 23	50 ± 28	87 ± 36
U	<u>0.6 - 1.6</u>	<u>0.5 - 2</u>	<u>0.52 - 0.9</u>
mg kg⁻¹	1 ± 0.3	1 ± 0.5	0.7 ± 0.14

Tabla 36. Composición elemental en las macroalgas Sargassum sinicola en laszonas de estudio en Bahía Concepción.

V	<u>1 - 3.7</u>	<u>1.1 - 5.6</u>	<u> 1.8 - 8.5</u>
mg kg⁻¹	1.9 ± 0.9	2.5 ± 1.6	4.8 ± 2
Zn	<u>5 - 10</u>	<u>3.5 - 14</u>	<u>5 - 15</u>
mg kg⁻¹	7 ± 2	6.6 ± 3.2	9 ± 4

Al comparar los valores de concentración de elementos en las macroalgas por las tres áreas, se puede notar que los mayores contenidos de elementos potencialmente tóxicos están en los especímenes colectados en el área geotermal (para Hg) y área hidrotermal (para As). Fue resaltable la alta concentración de As (640 mg kg⁻¹) en el ejemplar colectado en la estación más cercana a las ventilas hidrotermales. Este valor es 4 veces mayor al valor máximo encontrado en los sedimentos de esta zona (155 mg kg⁻¹). En esta área también coinciden los valores más altos para Cd, Cs, Ge y Sb. De este grupo de elementos Cd y Ge son utilizados como micronutrientes.

En la zona con influencia por aguas subterráneas, donde se esperaba que la composición de elementos en las macroalgas sería mínima, se encontraron los valores máximos para la mayoría de los elementos (Ba, Ca, Co, Cs, Cu, Fe, Ni, Pb, Sc, Th, V y Zn). Bajo este hecho existen dos teorías, o efectivamente las descargas de aguas subterráneas aportan elementos disueltos ó existen otras fuentes hidrotermales que no han sido descubiertas. Lo que es un hecho es que existen estos aportes de fluidos externos, pues las concentraciones de ²²²Rn reportadas para esta zona fueron bastante altas (Santos et al., 2011). La distribución espacial de As en los especímenes colectados en Santispac (zona geotermal) mostró que los valores altos cerca de una fuente que ha sido reportada por primera vez en este estudio con contenidos de 168 mg kg⁻¹ (Figura 84). Al parecer la distribución de As en las macroalgas depende de la marea y la circulación del agua. En la zona de Mapachitos donde los sedimentos mostraron influencia muy localizada, con alta acumulación muy cerca de las ventilas, el contenido de As en macroalgas fue alto en la mayoría de las muestras colectadas. Cabe señalar que este muestreo abarca 4 km (2 km a cada extremo de las ventilas).





Al parecer el As permanece en fase disuelta y está siendo asimilado por las macroalgas lejanas a las ventilas. Ya que como referencia solo tenemos 3 valores de As disuelto en esta zona y es resaltable que uno de los valores más altos de As disuelto se encontró precisamente en la muestra colectada en la ventila. Este resultado puede servir de referencia para que se continúen los estudios biológicos ver más a detalle la influencia.



Figura 85. Distribución espacial del contenido de As en las macroalgas *Sargassum sinicola* adyacentes: a) a las ventilas hidrotermales someras; b) a los pozos de aguas subterráneas.

En la zona sur de la Bahía la distribución de As tiene valores regulares, con un valor máximo de 80 mg kg⁻¹ cerca de la zona de manglar. Aunque los elementos potencialmente tóxicos no muestran alta acumulación en los especímenes de esta zona, la mayoría de los elementos son altos. Probablemente las aguas subterráneas no aporten elementos tóxicos pero si amplia gama de elementos que son acumulados por las macroalgas. Además al parecer de las 3 áreas analizadas, existe una mayor influencia de las ventilas hidrotermales someras sobre las macroalgas probablemente porque los fluidos se están esparciendo debido a la circulación costera. Como se puede ver en la figura 85 la mayoría de las muestras colectadas tienen valores altos de As. Otro elemento potencialmente tóxico es el Hg. Este estudio se demostró que es aportado por las fuentes geotermales e hidrotermales y que en las muestras de agua donde fue medido se encontró que este está en mayor porcentaje en forma disuelta. Una idea de su biodisponibilidad es conocer su distribución en las macroalgas de las diferentes áreas de estudio en Bahía Concepción. El mayor contenido fue determinado en el espécimen colectado frente a CV-1 (95 µg kg⁻¹) y justo en esta estación también se encontraron los mayores valores de Hg disuelto. Otros contenidos considerables fueron detectados en las muestras colectadas en la boca de la laguna de manglar. Este hecho podría indicar que algo del Hg que logra llegar hasta la Ensenada Santispac es acumulado por las macroalgas cerca de la laguna (Figura 86).



Figura 86. Distribución espacial del contenido de Hg en las macroalgas *Sargassum sinicola* en la zona adyacente a los manantiales geotermales en Santispac. La distribución de Hg en la zona hidrotermal en Mapachitos tiene claramente valores bajos tanto al norte como al sur de las ventilas y altos contenidos en los especímenes colectados arriba de las ventilas. Este hecho sugiere una baja movilidad de Hg. También se debe tomar en cuenta que la principal especiación química de Hg en el agua de mar es en forma de cloruros. Probablemente una vez aportado por las ventilas Hg forme cloruros que no son fácilmente asimilables por los organismos. Si se compara la distribución de Hg con la de As en las macroalgas, se puede notar que mientras As es alto en los 4 km muestreados alrededor de las ventilas, el Hg es alto solo en las macroalgas colectadas cerca de las ventilas (Figura 87a).

La distribución de Hg en las macroalgas colectadas al sur de la bahía tienen valores bajos en toda la zona muestreada, con excepción de los especímenes colectados cerca del pozo 3, el cual también tuvo la mayor concentración de elementos en la materia suspendida particulada.



Figura 87. Distribución espacial del contenido de Hg en las macroalgas *Sargassum sinicola* de a) la zona adyacente a las ventilas hidrotermales someras y b) en la zona adyacente a los pozos de aguas subterráneas. Se puede decir que para Hg esta zona tiene valores de fondo.. La distribución espacial de Hg se muestra en la Figura 87b.

8.7.2. Contenidos y patrones normalizados con NASC de los lantánidos en las macroalgas

La composición de lantánidos en las macroalgas se muestra en la Tabla 37. Además de los valores promedio, las concentraciones se normalizaron con lutita norteamericana (NASC) para conocer los patrones e identificar anomalías.

Tabla 37. Composición de los lantánidos en las macroalgas Sargassum sinicolade Bahía Concepción.

Elementos	Santispac	Mapachitos	El Remate
La	<u>80 - 395</u>	<u> 135 - 739</u>	<u> 261 - 1360</u>
	232 ± 116	331 ± 239	796 ± 402
Ce	<u> 136 - 708</u>	<u>216 - 1380</u>	<u>495 - 2860</u>
	417 ± 203	610 ± 464	1561 ± 829
Pr	<u> 18 - 88</u>	<u> 29 - 163</u>	<u>59 - 312</u>
	51 ± 26	72 ± 53	182 ± 93
Nd	<u>68 - 327</u>	<u> 106 - 607</u>	<u> 217 - 1200</u>
	191 ± 98	274 ± 199	705 ± 362
Sm	<u>14 - 68</u>	<u>22 - 118</u>	<u>7 - 41</u>
	39 ± 20	54 ± 39	24 ± 12
Eu	<u>7 - 24</u>	<u>9 - 39</u>	<u> 16 - 76</u>
	15 ± 6	19 ± 12	46 ± 21
Gd	<u>11 - 54</u>	<u> 17 - 92</u>	<u>32 - 192</u>
	31 ± 15	41 ± 29	104 ± 54
Tb	<u>3 - 14</u>	<u>5 - 24</u>	<u>8 - 43</u>
	8 ± 4	11 ± 7	25 ± 12
Dy	<u> 15 - 66</u>	<u>23 - 106</u>	<u> 36 - 171</u>
	40 ± 19	52 ± 33	103 ± 48
Ho	<u>3 - 13</u>	<u>5 - 20</u>	<u>7 - 31</u>
	8 ± 4	10 ± 6	8 ± 19
Er	<u>3 - 12</u>	<u> 15 - 62</u>	<u>22 - 99</u>
	7 ± 3	31 ± 19	61 ± 27
Tm	<u>1 - 5</u>	<u>2 - 8</u>	<u>3 - 12</u>
	3 ± 1	4 ± 2	7 ± 3
Yb	<u>9 - 34</u>	<u>12 - 53</u>	<u> 19 - 80</u>
	21 ± 9	27 ± 16	50 ± 22
Lu	<u>1 - 5</u>	<u>2 - 8</u>	<u>3 - 12</u>
	3 ± 1	4 ± 2	7 ± 3

Los patrones se separaron por las áreas de muestreo. En los tres grupos de muestras el rasgo más importante es la anomalía positiva de Eu en todos los casos. En el área geotermal de Santispac se encontraron los menores valores de razones lantánidos/NASC y en las estaciones del área sur de la bahía los mayores (Figura 88).



Figura 88. Patrones de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en la composición de las macroalgas Sargassum sinicola: a) Ensenada de Santipac y b) Mapachitos.

El patrón es típico de aguas hidrotermales, y es de llamar la atención que al sur de la bahía donde aún no se ha detectado alguna fuente hidrotermal se mantenga este patrón y con las mayores razones (Figura 89). Se pueden plantear varias hipótesis. La primera es que la circulación del agua en la bahía permite que los especímenes al sur mantengan esta firma. La segunda que existan fuertes hidrotermales aún no descubiertas. La tercera que los especímenes en etapas tempranas ya con esta firma logren llegar hasta el sur de la bahía.



Figura 89. Patrones normalizados de los lantánidos/NASC en macroalgas *Sargassum sinicola* colectadas en la zona adyacente a los pozos de aguas subterráneas.

8.7.3. Aplicación del análisis de factores sobre los valores de la composición elemental de las macroalgas.

El análisis de factores por componentes principales realizado a la composición elemental de las macroalgas resultó en tres factores que explican el 79% de la varianza de los datos (Tabla 38).

Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Elementos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
As	-0.081	0.949	-0.167	Mn	0.077	0.363	0.586
Ва	0.829	0.000	0.118	Nd	0.996	-0.009	0.020
Ca	0.352	-0.134	0.796	Ni	0.900	-0.165	-0.086
Cd	-0.343	-0.436	-0.435	Pb	0.833	-0.081	0.384
Ce	0.993	0.005	-0.001	Pr	0.974	0.023	-0.024
Со	0.529	-0.099	-0.461	Rb	-0.005	0.235	-0.003
Cr	0.975	-0.081	0.027	Re	-0.162	0.138	-0.355
Cs	-0.005	0.917	0.344	Sb	0.052	0.926	-0.170
Cu	0.678	-0.234	0.588	Sc	0.923	-0.013	0.159
Dy	0.991	0.042	0.065	Sm	0.997	0.000	0.025
Er	0.988	0.051	0.073	Sr	-0.070	-0.120	0.791
Eu	0.994	-0.025	0.058	Tb	0.995	0.005	0.069
Fe	0.980	0.150	-0.001	Th	0.944	0.064	-0.088
Gd	0.992	-0.028	0.070	Ti	0.976	0.033	0.033
Ge	0.171	0.954	-0.052	Tm	0.983	0.077	0.086
Hg	-0.175	0.557	0.642	U	-0.374	-0.108	0.169
Но	0.987	0.058	0.068	V	0.965	0.054	0.073
La	0.996	0.007	0.022	W	0.447	0.271	0.155
Li	0.683	-0.145	0.391	Yb	0.987	0.068	0.067
Lu	0.983	0.060	0.070	Zn	0.577	-0.156	0.144
			Porcentaje	es			
		Varianza	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
		Explicada	60%	11%	9%		

Tabla 38. Cargas de los factores como resultado del análisis de factores por ACP aplicado al contenido elemental de las macroalgas *Sargassum sinicola*.

El primer factor está compuesto por el total de elementos de tierras raras, con elementos abundantes en la corteza continental como Fe, Li, Sc y Ti, y otros elementos traza como Ba, Cr, Cu, Hf, Ni, Pb y V. Con este hecho puede decirse entonces que la composición en las macroalgas es principalmente de elementos terrígenos. Sin embargo un porcentaje importante por incluir elementos potencialmente tóxicos está en el factor 2 con 12 %. Este incluye algunos metaloides como Ge, Sb y As junto con Hg y Cs. El factor 3 está compuesto por Ca, Cu, Mn, Sr y Hg con cargas no muy altas y explicando el 7 % de la variabilidad de los datos. Aunque Ca y Sr generalmente están asociados a fuente biogénica es

un hecho que para las macroalgas estos elementos no son esenciales. En general el análisis de componentes principales fue una buena herramienta para separar las fuentes de elementos que son asimilados por los organismos (Figura 90).



Figura 90. Asociación entre los elementos mayores y traza como resultado del análisis de factores aplicado a la composición elemental de las macroalgas *Sargassum sinicola* (Factor 1 vs Factor 2).

8.8. Zooplancton como bioindicador de los contenidos de ET en Bahía Concepción8.8.1. Contenidos de elementos traza en el zooplancton de la costa oeste de Bahía Concepción

El contenido de elementos traza fue medido en el zooplancton colectado en seis áreas de la costa oeste de Bahía Concepción, tratando de coincidir con las zonas de colecta de sedimentos y macroalgas cercanas a las descargas geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas. Los contenidos se muestran en la Tabla 39. Las concentraciones promedio se compararon con los valores promedio para la corteza terrestre (Taylor, 1964). Algunos elementos incluyendo los de interés por ser potencialmente tóxicos fueron mayores a la corteza como As, Cd, Hg, Li, Mo, Sb, Sc y Se. La variabilidad de los datos es amplia pues es el promedio de todas las áreas estudiadas. Esto es debido a que las muestras colectadas en las zonas de descargas tuvieron valores altos de la mayoría de los

elementos analizados, mientras que las zonas lejanas a estas, presentan valores moderados. Tal hecho, se puede apreciar mejor en las gráficas de FE construidas de forma individual.

Tabla 39. Composición elemental promedio de zooplancton colectado en BahíaConcepción.

Elemento	<u>min - max</u>	Corteza	Elemento	<u>min - max</u>	Corteza
unidades	X ± D E	terrestre	unidades	X ± D E	terrestre
As	<u>1.7 - 22</u>	1.8	Мо	<u> 260 – 810</u>	0.015
mg kg⁻¹	7.9 ± 7.1		µg kg⁻¹	500 ± 200	
Ва	<u>1-39</u>	425	Na	<u>0.002 - 9.6</u>	2.4
mg kg⁻¹	15 ± 13		%	1.3 ± 3.4	
Ca	<u>0.03 - 4</u>	4.1	Ni	<u>0.5 - 4</u>	75
mg kg⁻¹	0.7 ± 1		mg kg⁻¹	2.3 ± 1.3	
Bi	<u>1 -15</u>	0.17	Pb	<u>0.7 – 41.7</u>	12.5
µg kg⁻¹	4.8 ± 5.8		mg kg⁻¹	11.3±15.8	
Cd	<u>1.6 – 10.8</u>	0.2	Rb	<u>2.7 - 7.3</u>	90
mg kg⁻¹	5.1 ± 3.1		mg kg⁻¹	4.8 ± 1.5	
Co	<u>0.2 – 4.6</u>	25	Re	<u>0.3 - 0.7</u>	
mg kg⁻¹	1.2 ± 1.4		µg kg⁻¹	0.4 ± 0.2	
Cr	<u>0.2 - 3</u>	100	Sb	<u>0.1 - 3.2</u>	0.2
mg kg⁻¹	1.1 ± 1.2		mg kg⁻¹	0.8 ± 1	
Cs	<u> 37 - 350</u>	3000	Sc	<u>2 - 460</u>	0.22
µg kg⁻¹	160 ± 100		µg kg⁻¹	80 ± 157	
Cu	<u>2.6 – 61.6</u>	55	Se	<u>0.6 – 3.2</u>	0.05
mg kg⁻¹	17.9 ± 21.9		mg kg⁻¹	1.4 ± 0.9	
Fe	<u>4 – 800</u>	56300	Sr	<u>70.2 – 540</u>	375
mg kg⁻¹	120 ± 280		mg kg⁻¹	170 ± 160	
Hf	<u>3 - 3460</u>	3	Ti	<u> 30 - 280</u>	5700
µg kg⁻¹	540 ± 1290		mg kg⁻¹	133 ± 90	
Hg	<u>21 - 173</u>	80	U	<u>76 – 290</u>	0.0027
µg kg⁻¹	55 ± 49		µg kg⁻¹	180 ± 80	
Li	<u>490 - 3740</u>	20	V	<u>0.5 - 5.4</u>	135
µg kg⁻¹	1690 ± 1150		mg kg⁻¹	2.5 ± 1.6	
Mg	<u>2.3 - 96</u>	23300	Y	<u>1 - 170</u>	0.033
mg kg⁻¹	42 ± 34		µg kg⁻¹	50 ± 65	
Mn	<u>4.1 – 35.4</u>	950	Zn	<u> 16 - 130</u>	70
mg kg⁻¹	19.2 ± 10.4		mg kg⁻¹	55 ± 35	
8.8.2. Factores de enriquecimiento de ET en el zooplancton colectado en la costa este de Bahía Concepción

Los factores de enriquecimiento de elementos traza en el zooplancton fueron calculados usando Sc como elemento normalizador. Este fue graficado por áreas para una mejor interpretación del enriquecimiento en cada zona. En general cada estación tiene sus particularidades. Las estaciones ZO-A y ZO-B fueron los puntos de colecta en las ventilas hidrotermales. La mayoría de los elementos analizados tuvieron sus máximos valores en la muestra ZO-A y curiosamente los menores valores en la muestra ZO-B (Figura 91 y 92).



Figura 91. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton colectado en alrededor de las ventilas hidrotermales someras.

Este comportamiento se presentó en elementos como As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mn, Mo, Ni, Rb, Se, Sr, Ti, U y V. En la muestra ZO-A el contenido de Sc es mucho más bajo que la muestraZO-B (Figura 91 y 92). Tomando en cuenta que el FE se calculó a partir de Sc se observaron estas diferencias, aunque ambas estaciones sean de la misma zona. La muestra ZO-A tiene clasificados a la mayoría de los elementos como altamente enriquecidos. Solo salen de esta ordenamiento Ca, Co, Fe, Hf e Y. La secuencia de FE de mayor a menor fue: Se> As> Sb> K> Zn> Mo> Hg> Sr> Cu> Pb> Cs> Rb> U> Ni> Li> Cd> V> Ba> Ti> Bi> Mn> Na> Cr> Mg> Hf> Fe> Y> Co> Ca.

En el caso de la muestra ZO-B esta tiene los menores valores de FE para algunos elementos y hay mayor variabilidad en cuanto a la clasificación. Se destaca al Hg como elemento enriquecido y al As como altamente enriquecido. También resalta que Cd y Ni, declarados como micronutrientes para los organismos planctónicos aparezcan como diluidos (Figura 92).



Figura 92. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton colectado en alrededor de las ventilas hidrotermales someras (réplica).

La estación Z-1 tomada a lo largo de la costa, abarcando la zona donde fueron colectadas las macroalgas. Siendo el As el principal indicador del efecto hidrotermal en Mapachitos en las macroalgas, el zooplancton mostró valores altos del FE As. No solo de este elemento sino de la mayoría (As, Ba, Bi, Cd, Cr, Cs, Cu, Hg, K, Li, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Ti, U, V y Zn). El comportamiento es muy similar a los FE en la estación ZO-B. La secuencia del FE de mayor a menor es Se> Sb> As> Zn> K> Pb> Na> Mo> Sr> Cu> Li> Hg> U> Cd> Rb> Cs> Mn> Ni> Ba> Ti> V> Bi> Cr> Hf> Mg> Fe> Ca> Co> Y (Figura 93).

Las muestras Z-2, Z-3 y Z-5 tienen un patrón bastante similar de FE. La coincidencia principal entre estas muestras es que se encuentran alejadas de la descargas de la bahía (Figuras 94 y 95). Esta coincidencia podría servir de referencia sobre los enriquecimientos de fondo del zooplancton de la Bahía Concepción, cuando no hay una influencia directa de las descargas. Es notoriamente marcado que el zooplancton colectado en las ventilas hidrotermales y en las descargas de aguas subterráneas tienen a la mayoría de los elementos como altamente enriquecidos.



Figura 93. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton colectado a lo largo de la costa en Mapachitos.



Figura 94. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton colectado a lo largo de la costa al sur de Mapachitos: a) Z-2 y b) Z-3.

La secuencia de FE para Z-2 de mayor a menor es Se> As> Sb> Zn> Mo> K> Pb> Sr> Cu> Li> U> Hg> Cs> Ba> Rb> Ni> Hf> Ti> Mn> Cd> V> Bi> Cr> Ca> Y> Na> Fe> Mg> Co. Para la estación Z-3 la secuencia de FE de mayor a menor es: Se> As> K> Sb> Sr> Zn> Mo> Pb> Li> Cu> Rb> U> Hg> Cs> Hf> Ti> Ba> Rb> Ni> Hf> Ti> Mn> Cd> V> Bi> Cr> Ca> Y> Na> Fe> Mg> Co. Para la estación Z-5 la secuencia de FE de mayor a menor es: Se> As> Sb> Zn> K> Sr> Mo> Pb> Cu> U> Rb> Ni> Cs> Ba> Ti> Li> Hf> Hg> Cd> V> Mn> Cr> Bi> Ca> Y> Na> Mg> Fe> Co.





La muestra Z-4 fue colectada en la zona de descargas de aguas subterráneas, donde los contenidos de ²²²Rn son altos (Santos *et al.*, 2011). La mayoría de los elementos analizados en esta muestra son altamente enriquecidos (Figura 96). Esto hace suponer la existencia de descargas considerables de fluidos subterráneos en esta zona, sin embargo hay la necesidad de ampliar los estudios, ya que las partículas y las macroalgas de esta zona también resultaron con contenidos considerables. La secuencia de FE de mayor a menor es:Se> As> K> Sb> Zn> Sr> Mo> Pb> Hg> Cu> Rb> U> Li> Cs> Bi> Cd> Ni> Ti> Na> Mn> Mg> V> Hf> Ba> Cr> Fe> Ca> Y> Co.





La muestra de zooplancton Z-6 fue colectada en la Ensenada de Santispac, cubriendo la zona en movimientos circulares. De acuerdo al FE se considera que

todos los elementos analizados excepto Co son altamente enriquecidos. El elemento con mayor valor es Se. El orden de mayor a menor FE para esta muestra es el siguiente: Se>Na>As>Pb>Sb>Sr>Cu>Zn>K>Mg>Mo>Li>U>Bi> Rb> Ba>Hf>Cd>Cs>Cr>Hg>Ni>Mn>V>Ca>Fe>Y>Ti>Co (Figura 97).



Figura 97. Factores de enriquecimiento de elementos traza en zooplancton colectado a lo largo de la costa en la Ensenada de Santispac.

8.8.3. Patrones de los lantánidos normalizados con la lutita nortemericana en el zooplancton

Los patrones normalizados de los lantánidos con la lutita norteamericana (NASC) mostraron el mismo comportamiento encontrado para las macroalgas. Se presenta una anomalía de Eu con los mayores valores en la muestra de zooplacton colectada en la Ensenada de Santispac, seguida por los contenidos de lantánidos en la muestra colectada en el Remate y finalmente la muestra colectada en la zona de las ventilas hidrotermales en Mapachitos. Aunque el contenido de los ET en el zooplancton en general fue bajo, los contenidos mayores de lantánidos

encontrados en este estudio corresponden a las muestras colectadas en las zonas de descargas de fluidos geotermales, hidrotermales y de aguas subterráneas (Figura 98).



Figura 98. Patrones de lantánidos normalizados con los valores promedio para la lutita norteamericana (NASC) en la composición del zooplancton.

9. DISCUSIÓN

9.1. Generalidades de elementos disueltos y particulados en la columna de agua de Bahía Concepción

9.1.1 Comportamiento de elementod disueltos

Considerando los resultados obtenidos para As, Cu, Fe, Hg y Mn disueltos y particulados. De este grupo los más sensibles a condiciones redox son Fe y Mn, ya que en por su comportamiento químico en condiciones subóxicas y anóxicas son reducidos a los cationes simples Mn (2+) y Fe (2+) o parcialmente complejados producto de la reducción in situ de las formas particuladas MnO₂, FeOOH (geotita), Fe_2O_3 (hematita) y Fe_3O_4 (magnatita) (Libes, 2003). Un estudio clásico que muestra a detalle los cambios entre las fases disueltas y particuladas de estos elementos se realizó en el Océano Pacifico (Landing y Bruland, 1987). El tipo de muestreo desde la costa hasta el mar abierto pasando por la zona subóxica permitió ver las distribuciones verticales y horizontales de los contenidos de ambos elementos. La concentración de Fe disuelto reportada fue baja, con sus máximas concentraciones que coinciden con la ZMO, al igual que para Mn disuelto. Se pudo detectar que cerca de la zona costera los procesos de remoción son más significativos para Fe que para Mn. Las condiciones subóxicas favorecen la aparición de Fe disuelto, mientras para Mn los cambios entre fase disuelta y particulada son evidentes dentro de la zona de mínimo oxígeno (Landing y Bruland, 1987). El caso semejante se presentó en el margen de Mazatlán en el Océano Pacífico Oriental donde las concentraciones de Mn disuelto mostraron un pico de máxima concentración entre los 150 y 700 m (Nameroff et al., 2002). En mares marginales como el Golfo de California la distribución de Mn disuelto mostró un máximo superficial explicado por el aporte de aerosoles, un mínimo subsuperficial referido al "scavenging" de partículas y un incremento con la profundidad coincide mínimo que con la zona de oxígeno.

Elemento	Este	estudio		Bahía	Golfo de	Golfo de Océano Océano abier		Otras
Mn disuelto	Profundidad	T1	T2	Concepción	California	Pacífico	(Chester, 2003)	áreas
nM	2 m	2.7	0.7	 100 nM ^a	1.7 - 6.9 nM ^b	8 nM ^c	0.2 - 3; 0.5 nM ^e	4 nM ^g
	15 m	3.6	326			7.3 nM ^d		10000 nM ^{h*}
	24 m	483	223					
Fe disuelto	2 m	4.4	13.7					6 nM ^g
nM	15 m	3.5	5.8	18000 nM ^a	5.5 - 7. 2 nM ^f	2 - 6 nM ^g	0.1 - 2.5; 1 nM ^e	500 nM ^h
	24 m	7.2	8.2					
Cu disuelto	2 m	6.1	6.1					
nM	15 m	3.1	5.9	nd	1 -8 nM ^d	1.5 - 3 nmol kg ⁻¹ⁱ	0.5 - 6 nmol kg ⁻¹	20 -230 nM ^j
	24 m	1.9	7.4					
Hg disuelto	2 m	0.10	0.11					
nmol kg⁻¹	15 m	0.12	0.20	< 0.001 nmol kg ⁻¹	nd	nd	0.005 nmol kg ⁻¹	nd
	24 m	0.11	0.11					
As disuelto	2 m	0.03	0.7					
μM	15 m	0.04	0.01	< 0.007µM	nd	nd	1.1 - 1.9 μM	nd
	24 m	0.11	0.03		h			
^a Prol-Ledesma <i>et al.</i> , 2004 ^e Chester, 2003				"Pohl <i>et al</i> . Gotland, Mar B	, 2004 (Cuenca altico)		nd= no datos	
2006 Segovia-Zavala		Zavala e	t al., 2009 v	* Valores maxim	nos tomados dentro o	de la redoxclina		
^c Bruland, 1983		Bruland, 1987		3	ⁱ Boyle et al., 19	977		
^d Nameroff <i>et al</i> ., 2002		Chase et al., 2011 (Mar Rojo)			^j Neira <i>et al.,</i> 2009			

Tabla 40. Concentraciones de As, Cu, Hg, Fe y Mn disuelto en las estaciones T1 y T2 y su relación con otras áreas.

Sin embargo las concentraciones de Mn disuelto en el fondo se incrementan considerablemente por varios órdenes de magnitud. Cabe señalar que en la estación T2 los máximos de Mn disuelto están en la parte media de la columna de agua, probablemente en esta zona las concentraciones de oxígeno sean menores, aunque las concentraciones de Mn disuelto en nuestro estudio, no son tan grandes como lo encontrado en cuencas anóxicas como la Cuenca Gotland en el Mar Báltico (Pohl et al., 2004). La oxidación del Mn (+2) al Mn (+4) es mediado principalmente en las partículas suspendidas en la parte superficial de la columna de agua, donde los procesos de adsorción y oxidación son importantes y estos son muy lentos, de tal manera que Mn puede permanecer en forma disuelta por periodos largos, esto se ha visto principalmente en océano abierto (Furness y Rainbow, 1990). Probablemente en la zona costera este fenómeno no sea tan lento, por la alta concentración de partículas. A diferencia de Mn el Fe disuelto medido en la columna de agua de Bahía Concepción no es muy diferente a lo reportado para el Golfo de California y mar abierto como el Océano Pacífico (Tabla 40). Ya que la composición en los fluidos sobrepasa las concentraciones de las estaciones antes mencionadas es útil hacer la comparación con fluidos hidrotermales de otras áreas.

En el caso de Cu disuelto las concentraciones encontradas en este estudio son similares a las típicas para el agua el océano abierto. La principal especie química de Cu disuelto en el agua de mar es CuCO₃, en aguas con baja salinidad está como CuOH⁻. El principal mecanismo para la unión de Cu a las partículas es debido a la adsorción (Clark, 2001). Generalmente las altas concentraciones de Cu disuelto en la zona costera se asocian a las actividades antropogénicas, principalmente por actividades portuarias. En la cuenca Shelter Island Yacht en la Bahía de San Diego, California, se encontró un efecto dentro de la zona costera debido a las actividades portuarias. Se observó un incremento en la concentración de Cu disuelto desde afuera de la entrada de la marina hacia el interior, con un rango de 20.4 nmol L⁻¹ a 230 nmol L⁻¹ en la superficie y de 31 nmol L⁻¹ a 160 nmol L⁻¹ en el fondo (Neira *et al.*, 2009). Este comportamiento coincidió con la distribución de los yates ubicados en la marina y las altas concentraciones se

relacionan con las pinturas antiincrustantes que se usan en los yates (Neira *et al.*, 2009). Otro caso de estudio fue hecho en la laguna de Venecia, donde se encontró un rango de concentración de 1.8 a 70 nM con las mayores concentraciones detectadas en las aguas cerca del puerto de Marghera, dentro laguna de Venecia (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2008). Lo más evidente en este estudio fue el rol que juegan los ligándos orgánicos en controlar la concentración de iones libres de Cu, regulando la biodisponibilidad y toxicidad de Cu en la laguna de Venecia. Seguramente las bajas concentraciones de Cu disuelto en Bahía Concepción se deban a las condiciones prístinas de la zona. El mercurio y arsénico disueltos en la columna de agua de Bahía Concepcion (estaciones T1 Y T2) es mayor a lo reportado para esta bahía en estudios anteriores (Prol-Ledesma *et al.*, 2004). Al comparar ambos elementos con las concentraciones del océano abrierto el Hg tiene concentraciones mayores y el As menores (Tabla 40).

9.1.2. Geoquímica de la materia suspendida particulada de la Bahía Concepción

Uno de los componentes principales para la geoquímica de los ET del agua de mar es el material suspendido particulado. Su interacción con los ET juega un importante rol en la regulación de la concentración de elementos en forma disuelta (Salomons y Förstner, 1984). En la migración de ET en el océano, las partículas significan el primer paso a través de la adsorción y el último con la desorción dentro de los ciclos biogeoquímicos. Ambos procesos dependen de condiciones fisicoquímicas como pH, salinidad, potencial redox (Chester, 2003). Generalmente la presencia de material particulado en las zonas costeras se asocia a los aportes fluviales, ya que los ríos y cuencas de drenaje son su fuente principal de ahí que la zona costera presente elevados contenidos (Salomons y Förstner, 1984). Otro factor importante son las mareas y las corrientes de las bahías, que directamente influyen en la resuspensión y transporte del material particulado (Alvarez y Jones, 2004;). La composición del material particulado tiene principalmente dos orígenes. El material litogénico dominado por aluminosilicatos y material biogénico producto de la actividad biológica (Chester, 2003). Sobre la composición de la MSP, estudios realizados en el Rio Volga, Mar Caspio, demostraron que la composición

química de la MSP puede variar espacial y temporalmente, y su aporte influye directamente en el tamaño y composición de los sedimentos del mar adyacente (Anikey et al., 2009). En zonas más abiertas como el Mar Noruego, en el Océano Atlántico, la composición de la MSP depende de la intensidad de los procesos biológicos, ya que mientras arriba de la capa nefeloide predominan las partículas biogénicas, debajo de esta capa el material litogénico tiene mayor proporción (Lukashin, 2008). El mismo caso se encontró en la zona costera de Singapur, donde los mayores contenidos de elementos traza como Cd, Cr, Cu. Pb y Zn en el material particulado se encontraron en la capa subsuperficial (The Coung et al., 2008). Existen grandes variaciones sobre el contenido de elementos traza por unidad de volumen en la zona costera con respecto al océano abierto. En el caso de los aluminosilicatos representados por Al (Tabla 41), se pueden observar amplias variaciones en magnitud para los valores del océano abierto y los de la Bahía Concepción, a pesar de que es una zona con poca precipitación las concentraciones de Al son altas en las partículas de los manantiales geotermales. De este estudio cabe señalar que los mayores rangos de Fe particulado se detectaron en la zona de las ventilas hidrotermales. Esto indica que no todo el material particulado es de origen litogénico, sino que algo del Fe disuelto que es aportado por los fluidos hidrotermales precipita cerca de su fuente. Lo mismo sucede con el Mn particulado. Para los elementos denominados metales pesados Cu, Pb, Zn y Cd tienen concentraciones mayores a lo reportado para el océano abierto y otras zonas costeras del mundo (Tabla 41). Es importante señalar que estos cuatro elementos son afines a formar aglomerados con la materia organica en la columna de agua. Las partículas de Bahía Concepción han sido estudiadas en cuanto a la composición bioquímica del material orgánico particulado. Los resultados encontrados en cuanto a proteínas, carbohidratos y clorofila señala a la Bahía Concepción como importante productor de material orgánico particulado (VerdugoDíaz, 1997).

Área	V	Cu	Pb	Zn	Cd
Mar de China ^a	41	74	47	149	
Noreste del Atlántico (surgencia) ^a		14	19	85	
Atlántico norte (zona tropical) ^b		3.6	4.5	16	
Océano Atlántico (GEOSECS) ^b		25		23	
Mar Sargaso ^c		0.4	0.23	0.34	0.03
Noroeste del Atlántico ^d		3.4	2.8	11	
Norte y sur del Atlántico ^e		9.1			0.04
Sur del Atlántico (océano abierto) ^f	9	6.6	9	18	1.1
Océano Indico (océano abierto) ^f					
centro de la bahía T1 2010 - 2 m	0.03	0.11	0.17	2.0	0.002
centro de la bahía T1 2011 - 2 m	0.18	0.68	0.13	5.9	0.03
centro de la bahía T2 2010 - 2 m	0.03	0.19	0.05	0.5	0.001
centro de la bahía T2 2011 - 2 m	0.23	0.28	0.16	3.0	0.06
Ventilas hidrotermales (2010)	0.07	0.05	0.08	0.5	0.001
Ventilas hidrotermales (2011)	6.03	0.67	1.29	18.8	0.08
Manantiales geotermales (2010)	0.09	0.07	0.03	1.0	0.02
Manantiales geotermales (2011)	5.48	18.8	0.80	0.3	7.99

Tabla 41. Comparación de la MSP en diferentes océanos y zonas costeras del mundo (ng I^{-1})

^aChester (1982). ^bBuat-Menard y Chesselet (1979). ^cSherrell y Boyle (1992). ^dWallace *et al.*, 1977. ^eKrishnaswami y Sarin (1976). ^fStoner (1974) y Griffiths (1977).

Área	AI	Fe	Mn	Ni	Cr
Mar de China ^ª	45 559		778		
Noreste del Atlántico (surgencia) ^a	3 755		54	43	
Atlántico norte (zona tropical) ^b	78	222	3.5	1.8	3.1
Océano Atlántico (GEOSECS) ^b	118	341	7.6		9.6
Mar Sargaso ^c	32	18	1.9	0.34	
Noroeste del Atlántico ^d	160	121	11	1.1	3.1
Norte y sur del Atlántico ^e	164	223	7	5.2	
Sur del Atlántico (océano abierto) ^f	88		5.6		
_ Océano Indico (océano abierto) ^f	107		2.1	33	
centro de la bahía T1 2010 - 2 m	5.3		0.7	0.04	0.1
centro de la bahía T1 2011 - 2 m	25.1	37	1.7	0.2	0.1
centro de la bahía T2 2010 - 2 m	4.1		1.0	0.1	0.3
centro de la bahía T2 2011 - 2 m	23.5	35	2.6	0.2	0.8
Ventilas hidrotermales (2010)	5.3	11	2.9	2.9	0.2
Ventilas hidrotermales (2011)	37.7	1847	13	13	2.9
Manantiales geotermales (2010)	24.1	8	16.5	16.5	0.1
Manantiales geotermales (2011)	1915	928	1241	1241	2.3

Tabla 41. Comparación de la MSP en diferentes océanos y zonas costeras del mundo (ng l⁻¹) (Continuación)

^aChester (1982). ^bBuat-Menard y Chesselet (1979). ^cSherrell y Boyle (1992). ^dWallace *et al.*, 1977. ^eKrishnaswami y Sarin (1976).^fStoner (1974) y Griffiths (1978).

9.2. Flujos de elementos traza en la materia particulada en hundimiento y los sedimentos del sur de Bahía Concepción

La sedimentación de partículas hacia el fondo oceánico juega un papel crucial dentro de los ciclos biogeoquímicos de los elementos traza en el océano (Chester, 2003). La composición de la materia particulada en hundimiento y su transporte hacia el fondo depende de diversos factores como la energía del sistema, la densidad de las partículas y los procesos biológicos regulan el flujo (Chester, 2003). La magnitud del flujo del hundimiento de partículas y su variabilidad es fundamental para entender la distribución de muchos elementos químicos en el océano. Una forma de estimar la migración del material particulado hacia el fondo en la columna de agua es con el uso de trampas de sedimento (Buessler *et al.*, 2007; Silverberg *et al.*, 2007). Con las ventajas tecnológicas en la fabricación de trampas de sedimento, el estudio de la naturaleza y dinámica del material en hundimiento a avanzado (Berger, 1971; Honjo y Doherty, 1988). El

principal interés es conocer la composición ya sea litogénica, biogénica o autigénica y sus origenes.

Área	Flujo de MPH	Referencia
Cuenca Santa Bárbara	0.47 - 4.39 g m ⁻² d ⁻¹	Thunell <i>et al</i> ., 1998
Costas del Mar Negro	9.4 - 56.4 g m ⁻² d ⁻¹	Ergûl <i>et al</i> ., 2008
Mar de China (zona este)	55.2 g m ⁻² d ⁻¹	Chung y Hung, 2000
Cuenca Alfonso, BCS	0.2 – 4.3 g m ⁻² d-1	Choumiline, 2011
Cuenca Gotland, Mar Baltico	$0.03 - 0.06 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	Pohl <i>et al.,</i> 2004
Bahía Concepción, BCS	3.6 X10 ⁻⁴ - 0.286 g m ⁻² d ⁻¹	Este estudio

Tabla 42. Comparación de flujos de material particulado en hundimiento.

El flujo de material colectado por unidad de área y sobre el tiempo se ha encontrado que responde a variabilidad estacional (Thunell et al., 1995; McCave et al., 2001). Por ejemplo en la cuenca Santa Bárbara se encontró alto flujo en la temporada primavera-verano, aunque el mayor aporte registrado fue en diciembre de 1995 (Tunell et al., 2005). Los flujos de materia particulada en hundimiento en la Bahía Concepción son más bajos que los reportados en la Cuenca Santa Barbara, las costas del Mar Negro y el Mar de China (Tabla 42). Un rasgo partícular de la colecta de MPH fueron las diferencias entre dos periodos. A partir de enero de 1997 los flujos de MPH se intensificaron y se mantuvieron durante el año de 1998. Justo en este lapso de tiempo se presentó el fenómeno denominado "El Niño" reconocido como uno de los más intensos de los últimos tiempos. En este periodo los vientos se intensificaron en el Golfo de California, pero no cambiaron sensiblemente la dirección, proviniendo de la Peninsula de Baja California (Segovia-Zavala et al. 2009). El aporte eólico probablemente haya sido el factor que determinó la alta tasa de sedimentación de partículas. A este mismo periodo, en el Golfo de California se observó la adveccion de aguas tropicales del

Océano Pacifico hacia el Golfo de California (Padilla et al., 2006). Probablemente las aguas desde el Océano Pacífico modificaron la composición de partículas de la Bahía Concepción. Tunell et al. (1998) aseguran que durante el periodo de "El Niño" el material particulado colectado en la trampa de sedimento en la Cuenca de Santa Barbara mostró una reducción en la productividad primaria, ya que en periodos de no-niño hubo un incremento de 10% en el flujo de ópalo biogénico y un 20% en el flujo de carbono orgánico. Bajo esta aseveración, es contradictorio encontrar tan alto flujo de material particulado en el segundo periodo de colecta el cual corresponde al Niño de 1997-1998. De hecho los valores en este periodo sobrepasan los niveles de flujo de partículas atmosféricas reportadas por Segovia-Zavala et al. (2009). Aunque estas partículas fueron colectadas al norte de la Bahía Concepción (en Bahía Kino, Sonora), puede decirse que mientras el flujo es variable, no hay un marcado cambio en algún periodo. Ademas de este hecho, la tasa de acumulación de sedimentos en el núcleo sedimentario, aunque es grande tampoco presenta incrementos importantes en algún periodo. Esto hace suponer que, sí se presentaron cambios en los flujos de material particulado en hundimiento en la Bahía Concepción, pero estos no pueden ser detectados con detalle en el núcleo colectado en el mismo punto. (Tabla 43).

Tabla 43. Comparación de material particulado atmosférico del GC, partículas en hundimiento y sedimentos del sur de Bahía Concepción (mg m⁻² d⁻¹).

Flujo de partículas atmosféricas (Segovia-Zavala <i>et al.</i> , 2009)							
Periodos	mg m ⁻² d ⁻¹	Muestra					
octubre - 1997	39	1					
noviembre - 1997	79	2					
diciembre - 1997	78	3					
enero - 1998	24	4					
febrero - 1998	45	5					
marzo - 1998	25	6					
abril - 1998	40	7					
mayo - 1998	12	8					
junio - 1998	41	9					
julio - 1998	142	10					
agosto - 1998	42	11					

Flujo de partículas en hundimiento

Periodos	mg m⁻² d⁻¹	Muestra
22 mayo - 3 septiembre de 1996	0.4	BC-1
4 septiembre - 4 octubre de 1996	2.8	BC-2
5 octubre -29 octubre de 1996	1.5	BC-3
30 octubre - 2 diciembre de 1996	1.9	BC-4
3 diciembre de 1996 - 30 enero de 1997	0.3	BC-5
31 enero - 28 julio de 1997	161.7	BC-6
15 enero - 20 marzo de 1998	11.3	BC-7
21 marzo - 14 mayo de 1998	741.6	BC-8
15 mayo - 25 agosto de 1998	74.9	BC-9
26 agosto - 6 octubre de 1998	14.6	BC-10
7 octubre - 5 noviembre de 1998	187.1	BC-11
6 noviembre de 1998 - 22 marzo de 1999	286.2	BC-12

Fiulo de material sedimenta

Periodos	mg m⁻² d⁻¹	Muestra
Noviembre 1996 – septiembre 1999	2431*	NT1-NT4
Octubre 1999 – agosto 2002	2298	NT-4
Septiembre 2005 – julio 2005	2395	NT-3
Agosto 2005 – junio 2008	2308	NT-2
Julio 2008 – mayo 2011	2724	NT-1

9.2.1. Comparación de los flujos de Fe en el material particulado atmosférico, en la MPH y en los sedimentos

En los últimos años se ha dado importancia al elemento Fe en el ambiente marino, por considerarlo elemento biolimitante en algunas regiones del océano (Bruland *et al.*, 2001). Se dice que una de las principales fuentes de Fe en las zonas costeras, además de la entrada fluvial son las partículas atmosféricas (Turner *et al.*, 2001). Por considerarlo elemento biolimitante, se estimaron los flujos de Fe particulado en el Golfo de California (mg m⁻² d⁻¹) entre octubre de 1997 y agosto de 1998 (Segovia-Zavala *et al.*, 2009). Ya que dicho periodo coincide con altos flujos de material particulado en la trampa de sedimento colocada en Bahía Concepción, se realizo una comparación de ambos flujos y además se incluyeron los flujos de Fe

Al comparar los flujos podemos apreciar que el Fe particulado atmosférico presenta alta variabilidad, sin embargo el máximo valor encontrado coincide en cierta magnitud con los flujos de Fe dentro del núcleo sedimentario. Los flujos de Fe en el material particulado en hundimiento, sin embargo son mucho más bajos. Cabe destacar que la conservación de Fe particulado en la columna de agua depende de su solubilidad y por lo tanto de las condiciones fisicoquímicas del agua del mar. De acuerdo a estudios previos, se estima que en el GC existe un 3% de solubilidad de Fe particulado, al calular el posible Fe disuelto producto de la solubilidad en el GC, sus resultados tienen cierta concordancia con el Fe disuelto medido en esa misma zona (Segovia Zavala et al., 2009). Hay que tener en cuenta además que los flujos de MPH en la Bahía Concepción son bajos, en comparación con otras áreas del mundo (Tabla 44). Ademas aunque el flujo de masa total fue mayor a partir del segundo periodo, la composición de las partículas con respecto a Fe no tuvo variaciones considerables, incluso un rasgo característico de esta bahía son los bajos contenidos de Fe en los sedimentos al compararlos con la corteza terrestre (Taylor, 1964). Sin embargo, el flujo de material litogénico calculado a partir de Sc es mayor en el segundo periodo con un 39% de composición, en contraste con 12 % encontrado en el primer periodo.

Tabla 44. Comparación de Fe particulado atmosférico del GC, Fe particulado en hundimiento y en la columna sedimentaria de Bahía Concepción (μ g m⁻² d⁻¹).

Fechas	Fe µg m ⁻² d ⁻¹	Muestra						
9 de octubre de 1997	402	1						
4 de noviembre de 1997	586	2						
26 de noviembre de 1997	2368	3						
29 de diciembre de 1997	637	4						
9 de febrero de 1998	1642	5						
24 de marzo de 1998	553	6						
1 de mayo de 1998	531	7						
30 de junio de 1998	391	8						
29 de julio de 1998	5026	9						
25 de agosto de 1998	1061	10						
flujo de material particulado en hu	Indimiento							
Fechas	Fe µg m⁻² d⁻¹	Muestra						
22 mayo - 3 septiembre de 1996	7.83	BC-1						
4 septiembre - 4 octubre de 1996	8.352	BC-2						
5 octubre -29 octubre de 1996	5.922	BC-3						
30 octubre - 2 diciembre de 1996	5.958	BC-4						
3 diciembre de 1996 - 30 enero de 1997	16.218	BC-5						
31 enero - 28 julio de 1997	13.482	BC-6						
15 enero - 20 marzo de 1998	13.698	BC-7						
21 marzo - 14 mayo de 1998	13.914	BC-8						
15 mayo - 25 agosto de 1998	6.336	BC-9						
26 agosto - 6 octubre de 1998	4.518	BC-10						
7 octubre - 5 noviembre de 1998	7.218	BC-11						
6 noviembre de 1998 - 22 marzo de 1999	10.98	BC-12						
flujo de material sedimentar	flujo de material sedimentario							
Fechas	Fe µg m⁻² d⁻¹	Muestra						
Noviembre 1996 – septiembre 1999	66914	NT-5						
Octubre 1999 – agosto 2002	66448	NT-4						
Septiembre 2005 – julio 2005	71810	NT-3						
Agosto 2005 – junio 2008	70878	NT-2						
Julio 2008 – mayo 2011	58055	NT-1						

9.2.2. Flujos de elementos en el MPH y en el núcleo sedimentario

El flujo de partículas en hundimiento de Bahía Concepción presentó cambios considerables hacia el segundo periodo con tendencia al aumento, sin embargo anque los flujos de masa fueron mayores, los contenidos de elementos considerados micronutrientes tuvieron una disminución significativa con respecto a la masa de las partículas. Especificamente para elementos como As, Cr, Ni, Sb, Se, U y Zn (Tabla 45). Los contenidos por unidad de masa disminuyeron drásticamente a partir del 2do periodo, el cual coincide con el fenómeno del niño 199-1998. En zonas como la corriente de California, se ha visto una disminución en la productividad primaria durante los eventos del niño (Thunell et al., 1998). Sin embargo los flujos de estos que aumentan en el segundo periodo, podría suponerse que no corresponden a un aumento en la productividad primaria, sino a un aporte terrígeno. Esta aseveración se hace porque al calular el porcentaje de material litogenico a partir de la concentración de Sc, se encuentra un 39% para el segundo periodo, en contraste con un 19% del primer periodo. Asi también elementos como Ca y Sr además de mayores contenidos tienen mayores flujos en el segundo periodo. Esto puede ser un indicio de que hubo un aumento en el aporte de material calcáreo hacia la trampa. Sin embargo aunque los flujos de Ca son altos, no son tan elevados como cuando se presenta un florecimiento plánctónico, como lo reportado en la cuenca Alfonso, que durante este tipo de evento se registraron flujos de Ca de hasta 200 mg m⁻² d⁻¹ (Choumiline, 2011). En cuanto al flujo de escandio, aunque por unidad de masa la composición de las partículas en hundimiento de la Cuenca Alfonso y Bahía Concepción son similares con rangos de 2.3 – 10.3 mg kg⁻¹ y 1.7 -13 mg kg⁻¹ respectivamente, los flujos son mucho mayores en la Cuenca Alfonso, debido al gran aporte de MPH que existe en esta cuenca. Los flujos de Sc en la Cuenca Alfonso oscilan en $0.1 - 27.6 \,\mu g m^2$ d⁻¹, mientras en la Bahía Concepción el rango de flujo de Sc es 0.002 – 9.67 µg m⁻² d⁻¹, como puede notarse el flujo tiene amplia desviación estándar y los valores máximos son mas bajos que lo encontrado en otras zonas adyacentes al Golfo de California. Los flujos de elementos particulados en hundimiento se compararon similares flujos en el núcleo sedimentario (Figura 44). con sus

	Flujos de elementos en MPH								
Muestra	Periodo	As ng m⁻² d⁻¹	Zn µg m ⁻² d ⁻¹	Cr µg m⁻² d⁻¹	Ni µg m⁻² d⁻¹	U ng m ⁻² d ⁻¹	Ca µg m⁻² d⁻¹		
BC-1	22 mayo - 3 septiembre de 1996	8	7.8	0.2	0.3	9.6	7.3		
BC-2	4 septiembre - 4 octubre de 1996	33	8.4	3.9	1.5	32	4		
BC-3	5 octubre -29 octubre de 1996	23	5.9	2.1	0.9	45	10.5		
BC-4	30 octubre - 2 diciembre de 1996	37	6.0	3.3	1.2	29	3.1		
BC-5	3 diciembre de 1996 - 30 enero de 1997	9	16.2	1.2	0.3	8.6	9.7		
BC-6	31 enero - 28 julio de 1997	1732	13.5	13.5		612	23.3		
BC-7	15 enero - 20 marzo de 1998	144	13.7	0.9	1.6	39	19		
BC-8	21 marzo - 14 mayo de 1998	10568	13.9	67.6	260	1276	16.3		
BC-9	15 mayo - 25 agosto de 1998	552	6.3	4.2	7.9	97	48.2		
BC-10	26 agosto - 6 octubre de 1998	136	4.5	0.9	1.1	110	19		
BC-11	7 octubre - 5 noviembre de 1998	1305	7.2	7.4	28.1	443	36.9		
BC-12	6 noviembre de 1998 - 22 marzo de 1999	2770	11	22.8	31.5	509	36.7		
	Flujos de elementos núcleo NT								
Muestra	Periodo	As ng m ⁻² d ⁻¹	Zn µg m ⁻² d ⁻¹	Cr µg m⁻² d⁻¹	Ni µg m⁻² d⁻¹	U ng m ⁻² d ⁻¹	Ca µg m⁻² d⁻¹		
NT-5	septiembre 1999 - noviembre 1996	24947	125	193	107	8393	249471		
NT-4	agosto 2002 - octubre 1999	24015	122	184	105	6295	218229		
NT-3	julio 2005 - septiembre 2002	24714	134	184	111	6295	219395		
NT-2	junio 2008 - agosto 2005	25647	132	168	109	6062	201675		
NT-1	Mayo 2011 - julio 2008	22382	125	142	95	5596	171832		

Tabla 45. Flujos de elementos en el MPH y en el núcleo de sedimento del sur de Bahía Concepción.

Elementos	Mar Negro ^a	Mar de China⁵	Cuenca Alfonso, BCS (2002 - 2005) [°]	Cuenca Alfonso, BCS (2006 - 2008) ^d	Bahía Concepción ^e
Cd	10.9 - 13	0.06 - 0.11	0.7 - 1. 4		
Cu	417 - 3182	1.5 - 2.4	13 - 39		
Cr	519 - 2886		14- 37		0.15 - 67.6
Co	188 - 994	0.7 - 0.9	5.7 - 16	0.2 - 35	0.004 - 9.7
Ni	114 - 1383		17 - 31		0.25 - 260
Zn	1640 - 7496	3.2 - 6.1	50 - 79		1.1 - 96.4
Fea	46 - 256	537 - 810	9 - 15	0.3 - 71	0.0045 - 0.0162
Mn	7169 - 57651	2637 - 3978	202 - 443		
Pb	230 - 2439	0.01 - 0.06	5 - 18		
As	127 - 1324		4 - 8.9	0.2 - 25.1	0.01 - 10.6
Sb	7.1 - 43.4				
Sc			3.1 - 5.8	0.1 - 28	0.002 - 9.7
U			0.7 - 4.1	0.2 - 26	0.01 - 1.3

Tabla 46. Comparación de los flujos de elementos en diferentes zonas marinas del mundo (µg m⁻² d⁻¹).

^a Ergûl *et al*., 2008; ^b Chung y Hung, 2000; ^c Rodriguez-Castañeda, 2008, ^d Choumiline, 2011, ^e Este estudio

Debido a los altos flujos de masa en el núcleo de sedimento, los flujos de elementos en el núcleo son mucho mayores. Sin embargo la muestra BC8 tiene los mayores flujos para algunos elementos, incluso mayores a los obtenidos en el núcleo. Tal es el caso de As y Ni. Comparando estos dos elementos con los flujos para otras áreas se puede apreciar que los flujos máximos de As sobrepasan los máximos para la Cuenca Alfonso, en el periodo 2002-2005 (Rodríguez-Castañeda, 2008) pero menores a lo reportado para esta misma cuenca en 2006-2008 (Choumiline, 2011) (Tabla 46). Por ser este elemento de importancia en la bahía debida a los aportes hidrotermales, al parecer los flujos en el MPH no son tan elevados. A su vez, dentro del sedimento los flujos oscilan entre 22.4 y 25.6 µg m⁻² d⁻¹, tales magnitudes siguen siendo moderadas comparando con los flujos de As en Cuenca Alfonso, en el Mar Negro y en el Mar de China (Tabla 46). En el caso de Ni, el flujo máximo encontrado en la muestra BC8 es mayor al valor máximo reportado para la Cuenca Alfonso, incluso por unidad de masa las máximas concentraciones de Ni en las partículas son casi 5 veces mayores (Tabla 46). El mayor contenido encontrado en el MPH de Cuenca Alfonso corresponde a 180 mg kg⁻¹, mientras los contenidos máximos en las partículas de Bahía Concepción son de 885 mg kg⁻¹. Cabe mencionar que este alto contenido se encontró en el primer periodo cuando el flujo de partículas era bajo. Hacia el segundo periodo Ni disminuye sus concentraciones hasta 75 mg kg⁻¹, aunque los flujos se incrementen en este periodo por el gran aporte de partículas en hundimiento.

9.3. Zonas de descargas en la Bahía Concepción y su influencia en el ambiente marino adyacente

9.3.1. Los ambientes geotermales e hidrotermales en Bahía Concepción y sus analogías con ambientes similares

Los ambientes hidrotermales someros se clasifican de acuerdo a la profundidad a la que se encuentran, la cual no debe sobrepasar los 200 m. Generalmente estos ambientes están asociados a vulcanismo reciente (Tarasov *et al.,* 2005). Uno de los ambientes con tales características en la Península de Baja California se encuentra en Bahía Concepción. Las manifestaciones geotermales y las ventilas hidrotermales someras en esta zona aparecen como parte de un sistema de fallas

noroeste-sureste (Camprubí et al., 2008). Los primeros reportes de tales manifestaciones fueron hechos por McFall (1964). Años después la Comisión Federal de Electricidad reportó manifestaciones geotermales al sur de la bahía probablemente relacionadas a vulcanismo del cuaternario en Punta Pulpito y Cerro Mencenares (Cosarrubias y Gómez-López, 1994). Otras manifestaciones geotermales e hidrotermales que son objeto de este estudio se encuentran a lo largo de la línea de costa en la parte oeste abarcando aproximadamente 10 km de Mapachitos (al sur) a Santispac (al norte) (Camprubí et al., 2008). Las manifestaciones adyacentes a la Playa Santispac se encuentran en un pequeño manglar en la zona supralitoral, donde las mareas seguramente influyen en la dispersión de los fluidos geotermales hacia la laguna y la Ensenada Santispac. Camprubí et al. (2008) reporta que los fluidos tienen temperaturas de 40°C, sin embargo en este estudio se registraron temperaturas hasta de 56°C medido directamente en el manantial. En Mapachitos las ventilas hidrotermales se encuentran entre los 5 y 15 m y se reportaron temperaturas de 62°C y pH de 6.7. Además de las dos áreas descritas, en este trabajo se encontró un nuevo manantial intermareal ubicado al sur de Santispac, donde los fluidos tuvieron temperaturas de 56°C y pH de 7.6, además de nula concentración de oxígeno disuelto. Con respecto a la composición química de los fluidos los primeros estudios fueron realizados con la medición de elementos traza disueltos (Prol-Ledesma et al., 2004). Los fluidos se reportaron enriquecidos en As, Ba, Ca, Cs, Fe, Hg, Mn, Li, Si, Sr, entre otros con respecto al agua del mar de la bahía (Prol-Ledesma et al., 2004). Se reportaron además las concentraciones de algunos gases principalmente N₂ (53%), CO₂ (43%) y CH₄ (2.2%). Se dice que el alto contenido de N₂ con respecto a otros gases corresponde a la alteración térmica del material algal dentro de los sedimentos recientes (Forrest et al., 2005). Posteriormente se realizó un estudio sobre las características de los depósitos adyacentes a las ventilas hidrotermales en Mapachitos, encontrando que se trataba principalmente de oxihidróxidos de Fe como ferrihidrita, con alguna composición de As. También fue encontrado con cinnabar (HqS) en todos los materiales analizados. En general se describen tres tipos de precipitados:

agregados de ópalo cementado, costras de óxido de Mn, costras estromatrolíticas sílico-carbonatadas (Canet *et al.*, 2005).

En México, existen otros ambientes hidrotermales someros y por lo tanto es posible hacer comparaciones. Por ejemplo en Punta Mita, Navarit las manifestaciones hidrotermales someras están dadas por fallas aliniadas NO-SE que corresponden a la Sierra Madre Occidental y la Faja Volcánica Mexicana. A diferencia de las manifestaciones en Bahía Concepción, las de Punta Mita se encuentran a 10m y al parecer los fluidos tienen mayor temperatura (85°C) y contienen una mayor concentración de gases como N₂ (87-88%) y CH₄ (11.5-12.2 %) (Prol-Ledesma et al., 2002b). Una diferencia principal es la formación de calcita en esta zona, ya que se han llegado a encontrar montículos de hasta 2.5 m de diámetro y 0.75 m de altura (Canet et al., 2006). Algunas otras diferencias en cuanto a los precipitados encontrados esta zona son los abundantes precipitados carbonatados como carbonatohidroxilapatita Ca₅(PO₄,CO₃)₃(F,OH,CI), además de barita y pirita (Canet et al., 2005a). Solo compuestos de Hg como cinnabar si se encuentran en ambas zonas (Bahía Concepción y Punta Mita). Al parecer mientras en Punta Mita los precipitados son mas carbonatados, en Bahía Concepción sobresalen los compuestos de Fe, aunque no en abundancia como en otros sistemas del mundo. Se ha demostrado que la presencia de precipitados principalmente los de Fe influye la acumulación de elementos potencialmente tóxicos como As. Tal es el caso de los precipitados estudiados en la Bahía Tutum en Nueva Zelanda. Las ventilas hidrotermales en esta zona se encuentran a una similar profundidad que en Bahía Concepción (5 y 10 m). Sin embargo en esta zona los fluidos alcanzan temperaturas de hasta 100°C y pH muy bajos (1.9) (Pichler et al., 1999).

9.3.2. Los elementos disueltos y particulados como indicadores de influencia hidrotermal

9.3.2.1. Elementos disueltos As, Fe, Hg y Mn

Los elementos As y Hg en el ambiente son considerados potencialmente tóxicos en concentraciones elevadas en las aguas naturales (Clark, 2001). El agua de mar presenta concentraciones bajas para ambos elementos de 15-25 nmol kg; en promedio 23 nmol kg⁻¹ para As y 2-10 pmol kg⁻¹; en promedio 5 pmol kg⁻¹ para Hg (Chester, 2003). Con tales especiaciones como HAsO₄²⁻ y HgCl₄²⁻ para As y Hg respectivamente.

Generalmente la presencia de estos elementos en el océano se debe a tres fuentes: al aporte fluvial, aporte antropogénico y por actividad hidrotermal en zonas tectónicamente activas (Salomons y Förstner, 1984). Los estudios en el último de estos casos en las zonas someras generalmente se enfocan al aporte de As (Pichler, 1999b; Price y Pichler, 2005). Algunos de ellos se basan en conocer la especiación de As encontrando que en los fluidos predomina As (+3) como la especie más reducida (Price, 2008). En algunos ambientes como en nuestro caso se ha visto que las mayores concentraciones de As disuelto generalmente son por varios órdenes de magnitud más altos cerca de su fuente, mientras a la distancia disminuye drásticamente. Por ejemplo en Papua, Nueva Guinea, se encontraron 900 µg L⁻¹ cerca de la ventila mientras a 225 m la concentración disminuyó hasta 4.5 µg L⁻¹. Aún así esta baja concentración sigue siendo mayor que lo reportado para el mar abierto (Price, 2008). En Bahía Concepción las máximas concentraciones de As encontradas en este estudio no son tan altas como en Papua, Nueva Guinea, sin embargo se tiene el mismo comportamiento con 108 µg L^{-1} en la fuente y 2 µg L^{-1} 5 m arriba de la ventila, mientras a 2.5 km la concentración de As disuelto se mantiene con en 2.7 µg L¹. Aunque la concentración es baja en la superficie sigue siendo mayor al promedio reportado para mar abierto que es de 1.72 µg L⁻¹ (Chester, 2003). En base a este hecho en sitios hidrotermales someros Pichler (1999a) asume que dichas concentraciones en la superficie se deben al aumento en la flotabilidad de los fluidos hidrotermales

por cambios de temperatura y salinidad. Así mismo algunos autores declaran que la especiación de As también cambia en este trayecto, pasando de As (+3) a As (+5) debido a la oxidación biológica o foto-oxidación y que este proceso puede ocurrir en pocas horas (Cutter, 1992; Sanders et al., 1994; McCleskey et al., 2004). Solo en la estación T2 (a 2.5 km del sitio de la ventila) se encontraron concentraciones de As de 53 μ g L⁻¹ en la superficie. Este comportamiento probablemente sea debido al transporte convectivo de aguas hidrotermales menos densas en la columna de agua con mayor salinidad de la Bahía Concepción. En cuanto a la fracción particulada de As el mayor porcentaje se encontró en forma disuelta. El paso de la fracción disuelta a la fracción particulada de arsénico es gobernado por la presencia de partículas suspendidas de oxihidróxidos de Fe y el proceso de "scavenging" y su posterior coprecipitación (Feely et al., 1991). En el caso de Bahía Concepción este proceso es casi nulo debido a la baja concentración de Fe disuelto con porcentajes de 1% y aunque los contenidos de Fe particulados son altos en todas las muestras analizadas, seguramente este Fe particulado es de origen litogénico y no autigénico, por la cercanía con el continente. A pesar de que Fe y Mn tienen similar comportamiento, en la zona de las ventilas los cambios entre las fases disueltas y particuladas si fueron detectadas para Mn. Con altos porcentajes de Mn disuelto en fondo y bajos en la superficie y viceversa. Por analogía algo del As que logra precipitar en esta zona se debe más a la formación de partículas autigénicas de Mn. En el caso de Hg se tiene mayor información sobre las posibles formas ya que se determinó Hg orgánico e inorgánico. En este caso el 100% de Hg esta en forma disuelta.

Aproximadamente el 60% es Hg inorgánico cerca de la fuente. Mientras en la superficie es el caso opuesto. El mercurio inorgánico en el agua de mar generalmente esta en forma de cloruros. Las especies organometálicas del Hg se dice que son estables en el agua por tener particularmente enlaces covalentes, lo que permite que las reacciones de hidrólisis sean despreciables. Este tipo de compuestos en de Hg encontradas en aguas naturales generalmente corresponden a metil-mercurio (MeHg), dimetil-mercurio (Me₂Hg).



Figura 99. Diagrama de dominio de hidroxo- y cloro-complejos de Hg (+2) como una función del pH y concentración de cloruro (Davis y DeWiest, 1996).

Ambas especies tienen afinidad a formar hidroxo- y cloro-complejos (CH₃HgCl y CH₃HgOH) en aguas oxigenadas (Morel *et al.*, 1998). Aunque la presencia de metil mercurio generalmente está asociada a condiciones anóxicas, la especies orgánicas de este elemento en aguas superficiales y oxigenadas se relacionan con procesos microbiales o aporte de MeHg desde aguas profundas aunque los mecanismos son aún desconocidos (Fitzgerald y Mason, 1997). Es resaltable que la concentración de Hg orgánico tiene valores similares tanto en la zona de las ventilas (donde hay mayor contenido de Hg inorgánico) como en las áreas de no influencia (T1 y T2). Lo cual indica que un mayor aporte de Hg inorgánico.

9.3.2.2. Influencia de las fuentes geotermales e hidrotermales sobre los sedimentos adyacentes

Los contenidos de As y Hg en los sedimentos de los manantiales geotermales, al comparara con la corteza terrestre excenden los niveles. Ya se reportó anteriormente que los fluidos geotermales e hidrotermales sobrepasan los valores reporados para el agua de mar y lo antes reportado por Prol-Ledesma *et al.* (2004). Los sedimentos de la zona geotermales son en composicion diferentes

a los de la zona hidrotermal. El aporte de fluidos en la zona de Santispac, no es tan directo hacia la Ensenada, y se cree que la laguna rodeada de manglar juega un papel como barrera del material particulado. El contenido tanto de las partículas como de los sedimentos ya se mostro en las tablas de resultados. Al hacer la comparación cabe mencionar que los elementos que son mayores en las partículas son As, Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Se y Zn con respecto a los sedimentos de la fuente. Algunos como Mn con marcada diferencia. Resaltando el comportamiento de Mn, en este sistema se encontraron altas concentraciones en la costra analizada con 10% de Mn y la alta concentración de otros elementos como As, Ba, Hg y U (Leal-Acosta et al., 2010). A su vez el Mn particulado aumenta desde las partículas de los fluidos con 30130 mg kg⁻¹ a 66690 mg kg⁻¹ en las partículas de la laguna. Ya que otros elementos también son altos en las partículas de los fluidos y la laguna, al parecer Mn participa en la precipitación de otros elementos traza en el proceso de "scavenging" (Chester, 2003). El comportamiento de la mayoría de los elementos muestra un decremento desde las fuentes hacia la zona adyacente. El aporte de partículas y sedimentos con influencia geotermal dependen en gran medida de las condiciones de la marea, las cuales son más intensas en la etapa de reflujo (Obeso-Nieblas et al., 1996). Esto permite una tendencia a la exportación de material sedimentario desde las zonas someras hacia el interior de la bahía (Gonzalez-Yajimovich et al., 2010).

Otro factor que puede puede enmascarar altas concentraciones de elementos de aporte geotermal es el alto contenido de $CaCO_3$ en los sedimentos de esta zona, ya que son principalmente biogénicos con rangos de 67.5 a 90.7%. Meldahl *et al.* (1997) describe esta a la zona de la Ensenada de Santispac como generadora de material biogénico (principalmente arenas dominadas por material calcáreo) y capaz de exportar este material hacia el interior de la bahía. Aunque las fuentes geotermales en Santispac generan fluidos ricos en As, los sedimentos de la zona adyacente tienen los menores contenidos de As por unidad de masa (0.5 - 4 mg kg-1). Incluso menores que lo encontrado en zonas donde no hay aportes externos evidentes como la zona adyacente a la Peninsula Concepción con rangos del contenido de As entre 0.3 – 11 mg kg⁻¹. En contaste, el FE de As

en las cuatro zonas estudiadas permite identificar a la zona de Santispac como la de mayor enriquecimiento de As. Esto confirma dos hechos. Primero que efectivamente los altos contenidos de material biogenico pueden tener efectos de dilución sobre los contenidos de algunos elementos traza y segundo que el cálculo de FE permite eliminar estos efectos (Salomons y Förstner, 1984).

De forma contraria, los procesos de enriquecimiento de elementos traza en los sedimentos de las zonas hidrotermales están asociados a la formación de precipitados principalmente de Fe (Pichler et al., 1999b). Las mezcla de fluidos ácidos y calientes con el agua del mar permiten la formación de diferentes compuestos de Fe (oxihidróxidos) y en esta bahía la concentración de As es bastante alto (6.2%) a comparación de otros elementos afines a los compuestos de Fe como Co y V (Price & Pichler, 2005). Por otro lado, en Bahía Concepción si se encontraron altas concentraciones de As con respecto a la corteza (máximos de 250 mg kg⁻¹), pero no de tal magnitud. Otro ambiente con hidrotermalismo somero (1-5 m) se encuentra en Las Antillas. Las temperaturas de los fluidos hidrotermales se reportaron con máximos de 71°C y pH mínimo de 5.9 (McCarthy et al., 2005). Aunque las ventilas son bastante someras el área que cubre es muy amplia (880 m²) y se prolonga 40 m mar adentro. Ya que los fluidos no son tan ácidos como en nuestro caso, las concentraciones de As en los precipitados son altas pero no llegan a concentraciones de %. Los máximos de As encontrados fueron de 1880 mg kg⁻¹ y también hay alta concentración de Fe (38.8%) (McCarthy et al., 2005). Otro caso similar fue reportado en Bahía Tutum, los sedimentos cercanos a la fuente tienen 33.2% de As y 29.7% de Fe (Price y Pichler, 2005). Definitivamente la precipitación de Fe en estos sistemas permite la acumulación de As. Es importante mencionar esto porque en nuestro sistema las concentraciones de Fe no son elevadas y probablemente esto propicie que este elemento permanezca principalmente en fase disuelta o que precipite unido principalmente a compuestos de Mn. Dentro de los componentes de Fe identificados en la zona hidrotermal de Mapachitos, se encontraron los agregados de ferrihidrita, que revelaron concentraciones importantes de As dentro de su estructura probabemente incorporado por adosrcion (Canet et al., 2005) o

coprecipitados con oxihidroxidos de Fe o Mn amorfos. Como se mencionó el contenido de Fe en los sedimentos es bajo, y aunque se encontró que el principal captador de ET en forma de precipitados fue Mn en la zona de Santispac, en el caso de Mapachitos, los contenidos de Mn también son bajos. Aunque las condiciones de temperature y pH de los fluidos (60°C y 6.8 respectivamente) favorecen la precipitación de agregados de Mn (Prol Ledesma et al., 2004; Canet et al., 2005), nuestros resultados mostraron contenidos máximos de Mn 39 veces menores al valor de referencia para la corteza terrestre (Taylor, 1964). Aunque la geología de la Peninsula Concepción tiene depositos de Mn (McFall, 1968; Camprubi et al., 2008) las vías fluviales no contribuyen a la acumulación de Mn en los sedimentos superficiales de esta zona. Una razón puede ser que el transporte de sedimento desde la cuenca de drenaje de la Peninsula Concepción no favorece la acumulación en Mapachitos, ya que el margen oeste de la bahía transporta los sedimentos hacia el sur (González-Yajimovich et al., 2010). Otra opción del bajo contenido de Mn en los sedimentos adyacentes a las ventilas, es la permanencia de este elemento en fase disuelta. En los resultados sobre las proporciones de elementos disueltos y particulados, mostraron en la zona de las ventilas un 70% como Mn disuelto y 30% como Mn particulado, mientras en este mismo punto en la parte superficial de la columna de agua existe un 94% de Mn en forma particulada y solo 5.4% de Mn disuelto. Esto indica que efectivamente el Mn sale en forma disuelta y pasa a su forma particulada al mezclarse los fluidos con el agua del mar. Sin embargo al parecer las partículas no están precipitando, y se quedan en forma suspendida y se transportan hacia otra zona. El patrón de corrientes de flujo y reflujo dadas por Obeso-Nieblas et al. (1996) indicarian un transporte hacia el sur de la bahía (González-Yajimovich et al., 2010). Sin embargo ya que estas partículas son principalmente autigenicas, son mas sensibles a las condiciones redox de la columna de agua, al presentarse ciertas condiciones de reducción, como las reportadas por Lechuga-Devezé et al. (2001). La baja concentracion de Mn en los sedimentos de la zona hidrotermal, se puede contrastar con el enriquecimiento de elementos redox sensibles afines a formar partículas en condiciones de reducción como es el caso de V y Cd. Los maximos

contenidos de V fueron encontrados precisamente en la zona de las ventilas hidrotermales. Las mediciones in situ de pH y O₂ mostraron bajos niveles al medir por el buzo directamente en los fluidos. Ya que el comportamiento de V, es inverso al de Mn, es caracterizado por la presencia de fases particuladas de V, que en condiciones de reducción generalmente forman agregados (Emerson y Huested, 1991). Nameroff et al. (2002) demuestra enriquecimiento de V en sedimentos superficiales de las costas de Mazatlan en condiciones de bajo oxígeno y (< 10 µmol l⁻¹) y con bajas concentraciones de Mn. Otro indicador de condiciones de reduccón son U y Mo. Aunque en la zona de las ventilas, U no tiene valores mayores a los de referencia para la corteza contienental, el Mo es ~8 veces mayor al valor de referencia (Taylor, 1964). Ambos elementos tienen similares distribuciónes especiales con carbon organic y S. Las condiciones de reducción probablemente forman sulfuros insolubles de estos elementos (Morford y Emerson, 1999). Cadmio es enriquecido arriba de 20 veces con respect a su valor de referencia. La distribucion especial coincide con la del carbono orgánico. Ya que este elemento es considerado como micronutriente para el fitoplanctón (Bruland et al., 1978) esto puede ser indicador que no solo la presencia de fuentes geotermales e hidrotermales generan condiciones subóxicas en la bahía sino también los procesos biológicos como la alta productividad.

9.4. Bioindicadores de los contenidos de elementos traza en la costa oeste de la Bahía Concepción

Los elementos traza son escenciales para muchas actividades biológicas. La entrada de estos en los procesos biológicos puede darse por difusión pasiva, por transporte activo o desde el alimento (Clark, 2001). Por sus funciones biológicas los elementos traza son divididos en tres grupos. Los metales ligeros (Na, K y Ca), los cuales son normalmente transportados como cationes móviles en solución acuosa. Los metales transicionales (Fe, Cu, Co, y Mn) los cuales son escenciales en bajas concentraciones, pero pueden ser toxicos en altas concentraciones. Los metaloides (As, Hg, Pb, Se y Sn) los cuales generalmente no son requeridos en actividades metabolicas y son toxicos en las células a baja concentración. Las

225

adsorción o abdorcion de los elementos traza por los organismos depende de las características de cada individuo, ya que mientras algunos regulan la concentración dentro de su cuerpo, otros simplemente lo acumulan (Clark, 2001). Por esta característica es que algunos organismos se usan como bioindicadores. Se entiende por biondicador a una especie usada como monitor de los niveles de contaminantes en un sistema determinado. Su utilidad se da, ya que son una excelente herramienda cuando los estudios de biodisponibilidad en otras matrices no se puede hacer, debido a su complejidad (Philips, 1979). Entre las principales características de un biomonitor es que debe ser sésil, tolerante a altos niveles de contaminantes, abundante en el área a estudiar, y debe existir una correlacion simple entre el contaminante a estudiar, y su contenido en los tejidos del organismo (Philips, 1979).

9.4.1. Indicación de la influencia de los fluidos geotermales e hidrotermales con el uso de las macroalgas *Sargassum sinicola*

Las macroalgas como bioindicadores se han usado en los últimos años por sus ventajas cumpliendo con las características básicas de un biomonitor (Vasquez y Guerra, 1996). Su uso se enfatiza en conocer la biodisponibilidad de los elementos traza ya que las macroalgas solo acumulan elementos biodisponibles disueltos y no elementos particulados (Philips, 1979; Louma *et al.*, 1982). Generalmente la capacidad de las macroalgas por asimilar los elementos traza se da a través de sus fibrillas o espacios intercelulares, ricos en polisacáridos sulfatados. Los grupos hidroxil, sulfato y carboxil de los polisacáridos son fuertes intercambiadores iónicos son sitios importantes de complejación de metales pesados y de transición (Crist *et al.*, 1990). Otra característica es que la especie utilizada debe ser representativa en cuanto a su distribución espacial, con el fin de hacer comparaciones. Lo antes mencionado fue la principal razón de utilizar la especie de macroalga café *Sargassum sinicola* como bioindicador en la Bahía Concepción. De hecho en el Golfo de California esta especie domina sobre otras (Pacheco-Ruíz, 1998). Al comparar los contenidos de algunos elementos

como Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Mn y Fe entre las áreas de influencia geotermal, hidrotermal y de aguas subterráneas con otras zonas cercanas se encontró que todos los elementos tienen sus mayores contenidos en los especímenes colectados al sur de la bahía (El Remate). Es curioso, ya que lo mismo sucedió en las partículas suspendidas, exceptuando los elementos potencialmente toxicos como Hg y As, la mayoría de los elementos tienen sus valores máximos en esta zona. Al hacer la comparación con los contenidos de macroalgas en áreas cercanas, algunos elementos como Cu, Ni y Zn tienen sus mayores contenidos en la zona de Santa Rosalía (Tabla 47). Ya se ha demostrado que en esta región minera, en ciertas zonas, estos elementos están en forma móvil (Shumilin *et al.*, 2010). Los elementos Pb y Zn tienen los mayores contenidos en las macroalgas del Remate al sur de la bahía. Cabe señalar que la composición promedio reportada para el Golfo de California tiene los menores valores, probablemente por ser tan diferentes las zonas estudiadas, el promedio no es representativo (Huerta-Díaz *et al.*, 2007).

ÁREA	Cu	Ni	Со	Pb	Zn	Mn	Fe	Referencia
Golfo de California	3 ± 0.7	5.1 ± 1.5	6 ± 2.3	30 ± 19	9.3 ± 9.4	8.1 ± 4	186 ± 75	Huerta-Díaz <i>et al.</i> , 2007
Bahía de La Paz	6.6			2	9.8	53	412	Casas-Valdéz et al., 2006
Santa Rosalia	5 - 30	30	1.6 - 5.7	0.2 - 0.7	4 - 70	21 - 323	100 - 4000	Rodríguez-Meza, 2005
Bahía Concepción		4 - 22	0.6 - 4		10		100 - 4000	Rodríguez-Meza, 2005
Loreto, BCS			4		45.7		7617	Sánchez-Rodríguez et al., 2001
Santa Rosalía (Norte)	25±16	9.5 ±4.5	3.2±1.7	2.8±1.8	71±102	59 ± 30	4154±5535	Rodríguez-Figueroa, 2010
Santa Rosalía (centro)	39±25	6.8±5.8	3.7±2.6	3.2±1.9	41±12	51±26	103±46	Rodríguez-Figueroa, 2010
Santa Rosalía (sur)	39±12	12.8±7.3	8.1±3.5	2.6±0.8	54±16	175±81	3920±4605	Rodríguez-Figueroa, 2010
Santispac, Bahía Concepción	2 - 3.8	1.1 - 3.7	0.8 - 2	160 - 430	5 - 10	25 - 941	112 - 670	Este estudio
Mapachitos, Bahía Concepción	1.3 - 2.5	1.4 - 3.1	1.5 - 3.9	120 - 310	3.5 - 14	28 - 196	144 - 1240	Este estudio
El Remate, Bahía Concepción	1.9 - 4.5	3 - 8	1.6 - 6.5	190 - 650	5 - 15	35 - 373	460 - 2390	Este estudio

Tabla 47. Composición elemental de las macroalgas en diferentes ambientes marinos del Golfo de California (mg kg⁻¹).
9.4.1.1. Influencia de las fuentes geotermales e hidrotermales sobre la composición de los elementos potencialmente tóxicos en las macroalgas de Bahía Concepción

Uno de los elementos que mostró valores elevados en las diferentes matrices analizadas en este estudio fue As. Sin embargo hay pocas referencias donde se reporten los contenidos de este elemento en la bahía Concepción. Además de este, otros elementos como Cs, Ge, Hg y Sb reflejaron heterogeneidad entre las áreas estudiadas. Nuestros datos de la concentración de As en Sargassum sinicola colectadas en la zona lejana de las fuentes en El Remate tienen un rango de 32-80 mg kg⁻¹ que es acorde con los valores de As en macroalgas de *Sargassum* sp. de otras regiones del mundo (Tabla 48).

Especie	As total mg/kg	Región	Referencia
· · · · ·		Material de referencia certificado	
Sargassum fulvellum	115±9	(CRM) NIES no. 9	Chancho et al. 2010
Sargassum fusiforme	65.3 - 84.1	China	Han <i>et al</i> ., 2008 Sugawa- Kataytama
Sargassum fusiforme	37.0-146.0	Japón	<i>et al</i> , 2005
Sargassum fusiforme	18.0-124.0	UK	Rose <i>et al.</i> , 2007
Sargassum lacerifolium	2.0-40.0	UK	Edmonds, 2000
Sargassum horneri	114.3±27.0	Japón	Katayama <i>et al.,</i> 2008 Dumon y Lapaquellerie,
Sargassum sp.	209	Francia	1992
Sargassum vulgare	16.1-58.8	Brasil	Mirlean <i>et al.</i> , 2011
Sargassum ramifolium	11.0-66.3	Brasil Mexico,	ldem
Sargasum sinicola	32.0-80.0	Bahía Concepción Mexico, Bahía Concepción	Este estudio

Tabla 48. Contenidos de As total en la macroalga *Sargassum* sp. de diferentes partes del mundo.

La asimilación de arsénico por macro-algas en un ambiente no contaminado es moderada. Sanders (1979) evaluó el contenido de As en las diferentes especies de macroalgas recolectadas en algunos sitios de América del Norte, las zonas

62.0-640.0

Sargasum sinicola

Zona de impacto

hidrotermal

Idem

subtropicales y tropicales en los Estados Unidos. Se analizaron 56 muestras de tres tipos de especies: *Chlrophyceae* (16), *Phaeophyceae* (25), *Phodophyceae* (15). El promedio máximo fue de 10.3 mg kg⁻¹ en el *Phaeophyceae* y el *filapendulum Sargassum* tienen 31.6 mg kg⁻¹ (el valor de máximo en este estudio). La especiación dominante era el arsénico inorgánico de *Sargassum sp*. Sin embargo, el resto de macroalgas de *Phaeophyceae* sp. tienen arsénico orgánico como la especiación dominante. Los investigadores concluyen que la concentración de arsénico en las diferentes especies de macroalgas depende de las diferencias metabólicas entre las clases y no a diferencias en la cantidad de arsénico total disponible en el agua circundante (Sanders, 1979). Sin embargo, nuestro estudio mostró exactamente el comportamiento inverso ya que los contenidos de As en las macroalgas de las áreas de las fuentes tienden a aumentar.

La concentración de As en las macroalgas de la zona de Santispac refleja un patrón correspondiente a la circulación del agua, ya que los mayores valores se encontraron en la boca de la laguna y tiende a disminuir hacia la zona más lejana. Por los resultados encontrados la mezcla de fluidos con el agua del mar es un factor determinante en la asimilación de elementos por las macroalgas. Los mayores contenidos de As en las macroalgas colectadas en Santispac se encontraron frente a la estación CV1. Justo en esta estación, se encontraron los mayores contenidos de As disuelto para este estudio. Ya que este manantial esta en la playa, la mezcla entre los fluidos y el agua del mar es menos intensa. Bajo estas condiciones es probable que el arsénico permanezca más tiempo en forma disuelta. Este es un hecho lógico, sin embargo las macroalgas de Mapachitos se encontraron con los mayores contenidos de As. Al comparar los valores de As en otras algas cafes del Golfo de Mexico y del mar Bermuda, los especímenes colectados por Johnson y Braman (1975) en esta zona tienen un rango de 4.2 a 12.7 mg kg⁻¹, valores que se encuentran muy por debajo al comparar con las algas cafes de Bahía Concepción. En ese estudio la especiación dominante fue As (+5) en las muestras de algas (80-95% fue arsenato). Los autores concluyen que As (+5) es termodinámicamente más estable en comparación con As (+3) y su

230

transporte dentro de las células ocurre a una velocidad más lenta que As (+3). Se ha demostrado que algunos organismos son capaces de metabolizar los niveles de As en su cuerpo (Johnson y Braman, 1975). Otro mecanismo por el cual el arsénico es biodisponible es a través del fitoplancton. En un estudio sobre la reducción del arsénico en los ecosistemas marinos, se mostró que el fitoplancton juega un importante papel en el ciclo biogeoquímico del arsénico, ya cerca del 50% de As (+5) puede ser reducido. Este proceso aumenta la proporción de arsénico orgánico (Sanders y Windom, 1979). Algunos autores aseguran que la asimilación de arsénico en las algas se da por la competencia de compuestos químicos de arseniato con fosfato, principalmente en algas pardas (Phillips, 1991). El máximo contenido de arsénico obtenido en las macroalgas se encuentra en las muestras que se recogieron cerca de los manantiales geotermales y las descargas hidrotermales. La acumulación de As en las macroalgas Sargassum sinicola puede deberse a que muchos organismos acuaticos tienen la capacidad de metabolizar las formas inorgánicas tóxicas a las formas menos toxicas, tales como dimetilarseniato o arsenobetaina (Rose et al., 2007). Sin embargo ciertas macroalgas este proceso de conversión metabolica y acumulan el arsénico en un varias formas químicas. Algunas razones que se mencionan son falta de capacidad genética, debido al desgaste energético al metabolizar las especies químicas tóxicas y la acumulación de arsénico inorgánico dentro de sus células los protege contra la depredación (Castlehouse et al., 2003; Devalla y Feldmann, 2003).

El mercurio es un elemento muy estudiado por su toxicidad en el medio ambiente. La principal fuente de Hg a las zonas costeras es la industria (Clark, 2001). Incluso algunas especies de las macroalgas como *Sargassum genus* se han usado en zonas con efluentes industriales como bioremediador encontrando que este organismo es capaz de remover hasta un 99% del mercurio ionico (Sobral *et al.*, 2003). El estudio sobre la composición química de varias especies de macroalgas en el Mar Mediterraneo demuestran amplio rango de contenido de Hg (26.1 a 336 mg kg⁻¹) (Akcali y Kucuksezgin, 2011). Si se compara con nuestros contenidos encontrados en las macroalgas de la Bahia Concepción los valores promedio en Sargassum sinicola son relativamente bajos (34.8 y 32.5 µg kg⁻¹ en Mapachitos y El Remate respectivamente). En las zonas prístinas, la presencia de mercurio se libera a la atmósfera como gases de las áreas volcánicas o respiraderos geotermales (Clark, 2001). Este estudio mostro altos contenido de mercurio en los sedimentos de la fuentes geotermales de bahía, aunque la concentración de Hg disminuye en la zona adyacente (Leal-Acosta et al., 2010). Es probable que Hg al ser liberado permanezca disuelto. De hecho de todas las muestras de Hg analizadas, más del 90% de Hg se encontraron en forma disuelta. En agua de mar, el mercurio se disuelve en forma de $Hg(OH)_2$ o $HgCl_2$ (Chester, 2003). Sin embargo las fases orgánicas son las más tóxicas. La principal diferencia en los valores de Hg en las algas marinas de la zona geotermal con las otras dos áreas estudiadas, puede ser la poca profundidad en la ensenada Santispac. Ahí probablemente, la mezcla de los fluidos geotermales con agua de mar se de mas lentamente y el Hg permanezca biodisponible por mas tiempo. Sin embargo, en la zona hidrotermal el contenido promedio de Hg en las macroalgas es bajo (34.8 µg kg-1). Una razón puede ser que la mezcla de los fluidos hidrotermales no permita que Hg llegue hasta la superficie, ya que las descargas están a 5 m de profundidad, y los líquidos están mezclando rápidamente, además de la baja movilidad de este elemento comparado con As.

El valor máximo de Hg encontrado en las macroalgas fue de 71 µg kg⁻¹ en la estación X-4 (frente a las ventilas hidrotermales). Johnson y Braham encontraron contenidos considerablemente más altos (0.1 mg kg⁻¹) en muestras de *Sargassum* sp. colectadas en las costas de los Estados Unidos de América. Si comparamos nuestros valores en este estudio es evidente que la bioacumulación de mercurio en las algas recolectadas en Bahía Concepción es mínima. El Hg se bioacumula en los tejidos vivos cuando la tasa de absorción es superior a la tasa de eliminación (Clark, 2001). Por lo tanto, la influencia de las descargas geotermales sobre los contenidos de Hg en las macroalgas es despreciable, a diferencia de los sedimentos adyacentes.

Las concentraciones de antimonio en las aguas naturales son bajas (normalmente menos de 1 μ g l⁻¹), excepto en las aguas geotermales enriquecidos y antimonio áreas mineralizadas (Filella *et al.*, 2002).Un intento por relacionar las concentraciones algunos elementos en las algas con respecto al contenido de los mismos en el agua, mostró que el antimonio tiene una de las más bajas concentraciones de algas absoluta, así como factor de enriquecimiento relativamente bajo (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001). No está claro si existe la bioacumulación de antimonio (Filella *et al.*, 2007). No se sabe mucho acerca de la distribución de antimonio en el interior de algas. Bonotto *et al.* (1983), en un estudio sobre la captación de ¹²⁵Sb por cuatro especies de algas marinas, mostró que la mayoría del antimonio presente en el citosol, con muy poco de ser retenidos por las paredes celulares o asociados con los organelos. Las concentraciones de antimonio en las algas marinas son generalmente en orden de 0.1-0.2 mg kg⁻¹ en base al peso seco.

9.4.2. El zooplancton como bioindicador del comportamiento de los elementos traza en la costa oeste de la Bahía Concepción

El estudio de los elementos traza y su relación con los organismos planctónicos se ha desarrollado en los últimos años, ya que se considera a estos organismos como pieza clave para entender los ciclos biogeoquímicos de los elementos. Ya que los organismos planctónicos por ser de las especies mas abundantes en el océano y por ser fundamentales dentro de las cadenas tróficas, el uso como bioindicadores se enfoca a conocer la transferencia de elementos, con el fin de dar explicación a los procesos de bioacumulación (Wang y Fisher, 1999). Otro aspecto fundamental es la migración de elementos traza hacia el fondo marino a través de partículas biogénicas como el zooplancton (Silverberg *et al.*, 2007). Estudios demuestran la importancia de la excreción de organismos planctónicos de partículas fecales, mudas y huevos ricos en elementos traza, incluso con concentraciones mayores a las del propio organismo que lo produce (Fowler, 1977). Sin embargo por existir una amplia variedad de especies es casi imposible dar una explicación sobre los resultados que se obtienen, ademas es difícil

obtener datos de comparación como son los elementos disueltos en el agua del mar, en fitoplancton y en el mismo zooplancton (Martin y Knauer, 1973). En los últimos años se ha hecho un esfuerzo por correlacionar los procesos oceánicos como resuspensión, surgencias y procesos físicos, sin embargo aún no se sabe a ciencia cierta el comportamiento de los elementos traza y su función dentro del ciclo de vida del zooplancton (Rejomon *et al.*, 2010; Rentería-Cano *et al.*, 2011). Como referencia se tomaron los contenidos de elementos traza en el zooplancton de algunas zonas marinas del mundo (Tabla 49). Al comparar la composición elemental del zooplancton con sus similares en otras áreas, todos los contenidos son menores.

Área	Fe	Со	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Referencia
Bahía de Bengala	44800±12008	46.2±4.6	62.8±6.7	84.9±6.7	7547±1051	46.2±5.6	19.2 ± 2.6	Rejomon <i>et al.,</i> 2010
Golfo de California	3700±2800	1.4±0.9	14±11	21±17	177±89	9±5	13±24	Renteria-Cano, 2011
promedio (distintas áreas)		1	8	10	80	12	6	Brumsack, 1989
Bahía de Monterrey	54-1070	<1	<0.5-13	4.4-23	53-279	0.8-10	<1-12	Martin y Knauer, 1973
Norte del Pacífico	90-1720	<1	5-13	6.2-58	22-14	60-750	14-22	Martin y Knauer, 1973
Norte del Atlántico	567-1467	8-20	15-77	10-90	120-400	2-9	0-123	Martin, 1970
Bahía Concepción (promedio)	116±279	1.2±1.5	2.3±1.3	18±22	55±35	5.1±3.1	11.3±15.8	Este estudio
Santispac (Zona geotermal)	806	0.7	1.9	62	58	10.8	41.7	Este estudio
Mapachitos (Zona hidrotermal)	32.7	0.6	2.4	10.2	31.2	3.7	1.7	Este estudio
El Remate (Aguas subterráneas)	17.4	0.2	0.5	2.6	16	1.6	0.7	Este estudio

 Tabla 49. Composición elemental del zooplancton en ambientes marinos (mg kg⁻¹).

9.5. Efectos de las condiciones de oxidación-reducción en una columna sedimentaria (Caso de estudio: Núcleo de sedimento adyacente a los manantiales geotermales en Santispac)

Las condiciones de oxidación-reduccion en la columna sedimentaria influyen en la distribución vertical de los elementos traza. Dentro de los más importantes se reconocen al potencial redox (Eh), el pH y el oxígeno disuelto (Luter III y Boyle, 2007). Sin embargo cuando estos parámetros no se tienen identificados, la geoquímica del propio sedimento puede dar idea y elucidar algunos procesos de oxido-reducción como son la diagénesis. El caso típico de un estudio sobre diagénesis incluye no solo conocer los perfiles de los contenidos de los agentes oxidantes (O₂, NO₃⁻, SO₄²⁻, MnO₂, FeOOH y CH₄) como indicadores de diagénesis temprana (Froelich et al., 1979), sino también los perfiles de los contenidos de los elementos redox sensibles. Los casos de este tipo de estudios se han realizado en áreas con alta tasa de acumulación de carbono orgánico como las zonas de surgencia (McManus et al., 2006; Böning et al., 2004). Sin embargo se pueden dar casos en la zona costera donde a menor escala exista alta acumulación de carbono organico y sea posible identificar cambios en la distribución de elementos redox sensibles dentro de los sedimentos. Casos mas complejos se dan cuando además de identificar procesos de diagénesis temprana debido a la remineralización de carbono organico, existe un aporte directo de elementos disueltos. En este sentido, ambas características pueden ser estudiadas en el núcleo colectado muy cerca de la fuente geotermal en Santispac. Ya que el núcleo presenta altos contenidos de Mn en los primeros 12 cm del nucleo y hacia la parte mas profunda los contenidos de Mn disminuyen 7 veces comparando con el contenido máximo registrado en la parte superficial (3500 mg kg⁻¹). Los contenidos de Fe dismunuyen hacia la profundidad de la columna sedimentaria 7 veces (3.5 a 0.5). A lo largo del perfil ambos elementos presentan algunos picos de mayores contenidos, en casos de reducción por oxidación de materia organica ambos elementos disueltos pueden difundir hacia arriba, volviendo a oxidarse y formar partículas autigenicas, principalmente óxidos (Froelich et al., 1979). Entre los 5 y 10 cm dentro del núcleo se presenta un pico

que coincide para elementos redox sensibles como Cd, Co, Mo, S y V. El carbono orgánico coincide con sus contenidos más altos a esta misma profundidad. Un exceso en el carbono organico podría explicar altas condiciones de reducción que permiten la formación de partículas autigenas de elementos como Mo y V (Morford *et al.,* 2005). El análisis de factores aplicado a la composición elemental de este núcleo asoció a los elementos redox sensibles con carbono orgánico y el azufre.

La fracción no litogénica de los elementos redox sensibles permite elucidad sobre las condiciones de oxido-reduccion que prevalecen al momento de la depositación de partículas en un núcleo de sedimento (Morford *et al.*, 2005; Zeng *et al.*, 2000). Nameroff *et al.*, 2002 propone el calculó de la fracción no ligénica en base a la siguiente ecuación:

Me_{NL}= Me total - [AI total (Me / AI) corteza]

Donde Me_{NT} es el contenido del elemento no litogénico, Me _{total} el contenido del elemento total en la muestra de sedimento, Al _{total} es el contenido de aluminio total en la muestra de sedimento y (Me/Al) _{corteza} es la razón del elemento y el aluminio en la corteza. Usando la ecuación anterior se calcularon los contenidos de elementos no litogénicos para el núcleo NM. Los elementos redox sensibles U, Cd, Mo y Re muestran altos porcentajes de contenidos no litogénica.

El contenido de uranio en el núcleo NM tiene 73% de uranio no litogénico en promedio. Uranio en condiciones óxicas esta en forma disuelta como el complejo $UO_2[CO_3]_3^{4-}$ con el estado de oxidación (+6). El enriquecimiento de uranio no ligénico dentro de la columna sedimentaria se da por la reducción a U (+4) formando UO_2 (óxidos de uranio) (Anderson *et al.*, 1989a). Durante la diagénesis la reducción de U se da después de la reducción de Mn y antes de la reducción de Fe y sulfato, aunque esto no se ha comprobado (Nameroff *et al.*, 2002).



Figura 100. Comportamiento elementos redox sensibles en la columna sedimentaria adyacente al manantial geotermal: a) uranio y b) cadmio. Los contenidos de Cd total son en su mayoría no litogénicos. La composición de Cd litogénico (calculado por diferencia) son muy cercanos a la composición de la corteza a través de todo el núcleo. En condiciones de reducción el Cd forma partículas insolubles como sulfuros o como una mezcla de Fe-Cd-S (van Geen *et al.*, 1995).

La razón Cd/U ha sido usada para conocer las condiciones de oxido reducción en la columna sedimentaria. La razón es comparada con la corteza (0.03) y los valores por arriba de esta razón suponen un ambiente anóxico (Nameroff *et al.*, 2002). Los autores han encontrado que Cd y U son acumulados en condiciones anoxicas similares dentro de los sedimentos. La alta acumulación de Cd es asociada a los contenidos de carbono orgánico principalmente partículas de organismos planctónicos (van Geen *et al.*, 1995). De acuerdo a estos resultados la columna sedimentaria del núcleo NM es anóxica.



Figura 101. Perfiles verticales de la razón de Cd/U y Cd/Ucorteza en el núcleo de sedimento NM.

10. CONCLUSIONES

- Los fluidos de los manantiales geotermales y las ventilas hidrotermales son fuente de aporte de elementos disueltos potencialmente toxicos como As y Hg por tener concentraciones mayores a las de la columna de agua circundante.
- La materia suspendida particulada de la Bahía Concepción tiene contenidos de elementos traza típicos de otras zonas marinas del mundo, con excepción de la MSP colectada en los manatiales geotermales que tienen altos contenidos de Fe y Mn.
- La composición química de la materia particulada en hundimiento colectada al sur de la Bahía Concepción son ricas en elementos redox sensibles afines a las partículas (As, Cr, U y Zn).
- Los flujos de MPH se diferenciaron por su abundancia, con menor aporte entre mayo de 1996 a enero de 1997 y por varios ordenes de magnitud a partir de febrero de 1997 a marzo de 1999. Los patrones de lantánidos normalizados con NASC reflejan la posible influencia de la resuspension de los sedimentos.
- Las fuentes geotermales e hidrotermales tienen influencia local sobre los sedimentos adyacentes aportando elementos potencialmente tóxicos como As y Hg e incorporando elementos traza redox sensibles como Ba, Mn, U y Zn en forma de precipitados (costras).
- La tasa de acumulación promedio en la parte sur de la Bahía Concepción es de 0.085 g cm⁻² año⁻¹ y la columna sedimentaria en esta zona tiene altos factores de enriquecimiento de As, Ca, Cd, Mo, Ti y Sr.
- La columna sedimentaria adyacente al manantial geotermal tiene altos contenidos de carbono orgánico y presentan un pico de mayor acumulación de elementos redox sensibles como As, Cd, Fe, S, Mn, Mo, V, entre 5 y 12 cm.
- Las fuentes geotermales e hidrotermales tienen influencia sobre la composición de arsénico en las macroalgas *Sargassum sinicola*, las cuales resultaron ser buenas bioindicadoras de elementos potencialmente toxicos en la Bahía Concepción.
- El zooplancton reflejo mayores contenidos en su composición elemental en las zonas de descargas geotermales, hidrotermales y de aguas

subterráneas, sin embargo tienen valores moderados a bajos al comparar con sus similares en otros ambientes marinos del mundo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Bahena F., 2007. Cambios temporales en los componentes y flujos de la materia en hundimiento en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante el periodo 2002-2005. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.102 p.
- Akcali, I. & F. Kucuksezgin. 2011. A biomonitoring study: Heavy metals in macroalgae from eastern Aegean coastal areas. *Marine Pollution Bulletin*. 62(3): 637-645.
- Alagarsamy, A., G. A. Wolff & R. Chester. 2005. Partitioning and Speciation of Trace Metal Diagenesis in Differing Depositional Environments in the Sediments of the Oman Margin. *Aquatic Geochemistry*. 11: 195–213.
- Alberede, F. 2003. *Geochemistry: An Introduction*. 1era. Edition, Ed. Cambridge University Press, 239 pp.
- Alagarsamy, A. 2009. Geochemical variability of copper and iron in Oman Margin sediments. *Microchem. Journal*. 91: 111-117
- Ali, A. F. & A. Gab-Alla. 2007. In there Any Efect of Hot Springs on the marine Benthic Ecology at Hamam Pharaon, Gulf of Suez, Read Sea, Egypt. *Journal* of Fisheries and Aquatic Science. 2(4): 264-274.
- Allard, B. 1994. *Groundwater* In: Salbu, B. & E. Steinnes (Eds). 1995. Trace Elements in Natural Waters, CRC Press, Inc., 302 p.
- Alvarez L. G. & S. E. Jones. 2002. Factors Influencing Suspended Sediment Flux in the Upper Gulf of California. Estuarine, *Coastal and Shelf Science*.54:47 59.
- Anderson R. F., M. Q. Fleischer, & A. P. LeHuray. 1989a. Concentration, oxidation state, and particulate flux of uranium in the Black Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 53: 2215–2224.
- Anónimo, 2006. GEOTRACES. An International Study of the Marine Biogeochemical Cycles of Trace Elements and Their Isotopes. Science Plan, International Council for science. *Scientific Committee on Oceanic Research*, 79 p.

- Anikiev, V. V., V. Yu. Rusakov & G. M. Kolesov. 2009. Estimation of the Scale of Spatiotemporal Variability in the Lithological and Geochemical Characteristics of Suspended Particulate Matter and Bottom Sediments at the Mouth of the Volga River and the Adjacent Zone of the Northern Caspian. *Geochemistry International.* 47(5): 485–503.
- Audry, S. G. Blanc, J.S. Schäfer. G. Chaillou & S. Robert. 2006. Early diagenesis of trace metals (Cd, Cu, Co, Ni, U, Mo, and V) in the Freshwater reaches of a macrotidal estuary. Geochimica et Cosmochimica Acta. 70: 2264–2282.
- Baker, E., C. R. German & H. Elderfield. 1995. Hydrothermal plumes over spreading-center axes: Global distributions and geological inferences. 47–71.
 In: Humphris, S.E., R.A. Zierenberg, L.S. Mullineaux & R.E. Thomson (Eds). Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological, and Geological Interactions.. AGU.Monograph Series, No. 91, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Beck, M., O. Dellwing, B. Schnetger & H. J. Brumsack. 2008. Cycling of trace metals (Mn, Fe, Mo, U, V, Cr) in deep pore waters of intertidal flat sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 72: 2822–2840.
- Berger, W. H. 1971. Sedimentation of planktonic foraminifera. *Mar. Geol.* 11: 325-388.
- Berner, R. 1980. *Early diagenesis: A theoretical approach*. Princeton University Press, New York, 421 pp.
- Böning, P., H.-J. Brumsack, M. E. Böttcher, B. Schnetger, C. Kriete, J. Kallmeyer &
 S. L. Borchers. 2004. Geochemistry of Peruvian near-surface sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 68(21): 4429–4451.
- Böning P., H. J. Brumsack B. Schnetger & M. Grunwald. 2009. Trace element signatures of Chilean upwelling sediments at ~36°S. *Marine Geology*. 259: 112–121.
- Bonotto S., Bossus A., Nuyts G., Kirchmann R., Mathot P., Colard J. & F. Cinell, 1983. Experimental uptake study of 60Co, 137Cs,125Sb, and 65Zn in four marine algae. *Wastes in the Ocean*. 3: 287–300.

- Borchers S.L., B.Schnetger, P.Böning & H.-J.Brumsack. 2005. Geochemical signatures of the Namibian diatom belt. Perennial upwelling and intermittent anoxia. Geochemistry, *Geophysics Geosystems* G3. 6(6): Q0606. doi:10.1029/2004GC000886.
- Brodie I., A. & E. S. Kemp. 1994. Variation in biogenic and detrital fluxes and formation of laminae in Late Quaternary sediments from the Peruvian coastal upwelling zone. *Mar. Geol.* 116(3–4): 385–398.
- Brumsack, H. J. 1989. Geochemistry of recent TOC-rich sediments from the Gulf of California and the Black Sea. *Geol. Rundsch.* 78: 851-882.
- Brumsack, H. & J. M. Gieskes. 1983. Interstitial water trace-metal Chemistry of laminated sediments from the Gulf of California, Mexico. *Marine Chemistry*. 14: 89-106.
- Brumsack H.-J. 2006. The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 232. 344–361
- Brüchert, V., B. B. Jørgensen, K. Neumann, D. Riechmann, M. Schlosser, & H. Schulz. 2003. Regulation of bacterial sulfate reduction and hydrogen sulfide fluxes in the Central Namibian coastal upwelling zone. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 67(23): 4505–4518.
- Bruland, K. W., G. A. Knauer & J. H. Martin. 1978. Cadmium in northeast Pacific waters. *Limnol Oceanogr.* 23(4): 618-625.
- Bruland, K. W. 2006. A review of the chemistries of redox sensitive elements within suboxic zones of oxygen minimum regions. Suplemento Gayana. 70: 6-13.
- Bruland, K. W. 1983. *Trace Elements in sea water*. 157-220. In: Riley J. P. & R. Chester (Eds). Chemical Oceanography. Londin: Academic Press.
- Bruland, K. W., E. L. Rue & G. J. Smith. 2001. The influence of iron and macronutrients in coastal upwelling regimes off central California: applications for extensive blooms of large diatoms. *Limnol. Oceanogr.* 46: 1661-1674.
- Boyle, E. A., F. R. Sclater & J.M. Edmond. 1977. The distribution of dissolvedcopper in the Pacific. *Earth and planetary Science Letters*. 37(1): 38-54.

- Buat-Menard, P. & R. Chesselet.1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth Planet. Sci. Lett.* 42: 399-411.
- Buesseler, K. O., A. N. Antia, M. Chen, S. W. Fowler, W. D. Gardner, O. Gustafsson, K. Harada, A. F. Michaels, M. R. van der Loeff, M. Sarin, D. K. Steinberg & Thomas Trull. 2007. An assessment of the use of sediment traps for estimating upper ocean particle fluxes. *Journal of Marine Research*. 65: 345–416.
- Bustamante-García, J. 1999. Monografía geológico-minera del estado de Baja California Sur: Pachuca, Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales-Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- Burdige, D.J. 2006. *Geochemistry of Marine Sediments*. Princeton University Press, 609 p.
- Butterfield, D. A., K. K. Roe, M. D. Lilley, J. A. Huber, J. A. Baross, R. W. Embley & G.J. Massoth. 2004. Mixing, reaction and microbial activity in the sub-seafloor revealed by temporal and spatial variation in diffuse flow vents at Axial Volcano.Biogeochemical cycling of arsenic in the shallow marine hydrothermal system of Tutum Bay, Ambitle Island, Papua New Guinea 269– 289 p.
- Burnett, B., J. Chanton, J. Christoff, E. Kontar, S. Krupa, M. Lambert, W. Moore,
 D. O'Rourke, R. Paulsen, C. Smith, L. Smith. T. Taniguchi. 2002. Assessing
 methodologies for measuring groundwater discharge to the ocean. *EOS Trans. Am. Geophys. Union* 83:117–123.
- Burnett, B. & H. Dulaiova. 2003. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *J. Environ. Radioact.* 69: 21–35.
- Cable, J. E., G. C. Bugna, W. C. Burnett & J. P. Chanton. 1996. Application of 222Rn and CH4 for assessment of groundwater discharge to the coastal Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 41: 1347–1353.
- Callender, E. 2004. Heavy Metals In: The Environment-Historical Trends en Treatise on Geochemistry. 1era. Edición, Ed. Elsevier, 630 p.

- Calvert, S. & N. B. Price. 1983. Geochemistry of Namibian shelf sediments, In E. Suess & J. Thiede (Eds). Coastal Upwelling: Its Sediment Record. Springer. New York. 337–369.
- Cardigos, F., A. Colaço, P. R. Dando, S. P. Ávila, P. M. Sarradin, F. Tempera, P. Conceição, A. Pascoal & R. Serrão Santos. 2005. Shallow water hydrothermal vent field fluids and communities of the D. João de Castro Seamount (Azores). *Chemical Geology*. 224 (1-3): 153-168.
- Canet, C. & R. M. Prol-Ledesma. 2006. Procesos de mineralización en manatiales hidrotermales submarinos someros. Ejemplos en Mexico. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*. 1: 83-102.
- Canet, C., R. M. Prol-Ledesma, J. A. Proenza, M. A. Rubio-Ramos, M. J. Forrest,
 M. A. Torres-Vera & A. A. Rodríguez-Díaz. 2005a. Mn-Ba-Hg mineralization at shallow submarine hydrothermal vents in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Chemical Geology*. 224: 96-112.
- Camprubí, A., C. Canet, A. A. Rodríguez-Diaz, R. M. Prol-Ledesma, D. Blanco-Florido & R. E. Villanueva. 2008. Geology, ore deposits and hydrothermal venting in Bahia Concepcion, Baja California Sur, Mexico: *Island Arc.* 17: 6-25.
- Casarrubias, U.Z. & Gómez-López. 1994. Geología y Evolución geotérmica de la zona de Bahía Concepción, Baja California Sur, México: Resúmenes de la 3^a
 Reunión Internacional sobre geología de la Península de Baja California, 22-23.
- Casas-Valdez, M., H. Hernández-Contreras, A. Marín-Álvarez, R. N. Aguila -Ramírez, C. J. Hernández-Guerrero, I. Sánchez-Rodríguez & S. Carrillo-Domínguez. 2006. El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino. 54 (1): 83-92.
- Castlehouse, H., C. Smith, A. Raab, A. A. Meharg & J. Feldmann. 2003. Biotransformation of arsenic in soil amended with seaweed. *Environ. Sci. Technol.* 37: 951–957.

- Chancho M. J. R, J. F. L. Sánchez & R. Rubio. 2010. Occurrence of arsenic species in the seagrass Posidonia oceanica and in the marine algae Lessonia nigrescens and Durvillaea Antarctica. *J. Appl. Phycol.* 22:465 472
- Chester, R. 1982. The concentration, mineralogy, and chemistry of total suspended matter in sea water. In: Kullenberg G. (Ed). Pollutant Transfer and Transport in the Sea. Boca Ratón, CRC Press. 67-99 p.
- Chester, R. 2003. Marine Geochemistry. Blackwell Publishing, London, 506 p.
- Choppin, G. R., B. Jaffe, L. Summerlin & L. Jackson, 1977. Quimica. Publicaciones cultural S.A. XV reimpresión, 595 p.
- Choumiline, K. 2011. Geoquimica de la material particulada en hundimiento y de los sedimentos recientes de Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. Tesis de maestria. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S.169 p.
- Clark, R.B. 2001. Marine Pollution. Oxford University Press. 229 p
- Collier, R.W. 1984. Particulate and dissolved vanadium in the North Pacific Ocean. *Nature*. 309: 441-444.
- Constitución IGBP. 2005. Constitution of the Scientific Committee for the International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change (IGBP) http://www.igbp.net/documents/IGBP_Constitution.pdf
- Crist, R.H., Martin, J.R., Guptill, P.W. & J. M. Eslinger. 1990. Interaction of metals and protons with algae: II. Ion exchange in adsorption and metal displacement by protons. *Environ. Sci. Technol.* 24: 337–342.
- Cutter, G.A. 1992. Kinetic controls on metalloid speciation in seawater. *Marine Chemistry*. 40: 65-80.
- Daniels, W. 2005. Bioestadística. Ed Limusa
- Dean W., Gardner J. V. & D. Z. Piper. 1997. Inorganic geochemical indicators of glacial-interglacial changes in productivity and anoxia on the California continental margin. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 61: 4507-4518.
- De Biasi, A. M. & S. Aliani. 2003. Shallow-water hydrothermal vents in the Mediterranean Sea, stepping stones for Lessepsian migrations?. *Hydrobiologia*. 503 (1-3): 37-44

- De Carlo, E.H., X-Y. Wen & M. Irving. 1998. The influence of redox reactions on the uptake of dissolved Ce by suspended Fe and Mn oxide particles. *Aquat. Geochem.* 3: 357–389.
- Delgadillo-Hinojosa F., J. A. Segovia-Zavala, M. A. Huerta-Díaz & H. Atilano- Silva. 2006. Influence of geochemical and physical processes on the vertical distribution of manganese in Gulf of California waters. *Deep-Sea Res.* (Part I) 53: 1301–1319.
- Delgadillo-Hinojosa, F., A. Zirino & C. Nasci. 2008. Copper Complexation Capacity in the Waters of the Venice Lagoon. *Marine Environmental Research*: 66(4):404- 411.
- Devalla, S. & J. Feldmann. 2003. Determination of lipid-soluble arsenic species in seaweed-eating sheep from Orkney. *Appl. Organmet. Chem.* 17: 906–912.
- Eggins B. R., Palmer F. L. & J. A. Byrne.1997. Photo-catalytic treatment of humic substances in drinking water. *Water Res.* 31(5): 1223-1226.
- Ergül, H.A., S. Topçuoğlu, E. Ölmez & C. Kırbaşoğlu. 2008. Heavy metals in sinking particles and bottom sediments from the eastern Turkish coast of the Black Sea. Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, 78: 396- 402.
- Emerson, S.R., Huested, S.S., 1991. Ocean anoxia and the concentrations of molybdenum and vanadium in seawater. *Marine Chemistry* 34, 177–196.
- Filella M., N. Belzile & Y. W., Chen, 2002. Antimony in the environment: a review focused on natural waters. I. Occurrence. *Earth-Sci. Rev.* 51: 125–176.
- Filella M., N. Belzile & M. C. Lett. 2007. Antimony in the environment: a review focused on natural waters. III. Microbiota relevant interactions. *Earth-Science Reviews*: 80, 195–217.
- Forrest, M. J., J. Ledesma-Vázquez, W. Ussler III, J. T. Kulongoski, D. R. Hilton &
 H. G. Greene. 2005. Gas geochemistry of a shallow submarine hydrothermal vent associated with El Requesón fault zone in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Chemical Geology*: 224: 82–95.
- Fowler, S. W. 1977. Trace elements in zooplankton particulate products. *Nature*: 269: 51-53

- Froelich P.N., G. P. Klinkhammer, M. L. Bender, N. A. Luedtke, G. R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin, D. Hammond, B. Hartman & Y. Maynart. 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic.: Suboxic diagenesis. *Geochim.Cosmochim.Acta*. 43: 1075-1090.
- Furness, R. W. & P. S. Rainbow. 1990. *Heavy metals in the marine environment.* CRC Press. Boca Raton, Florida. 256 p.
- Green Ruíz, C. 2000. Geoquímica de metales pesados (concentración, distribución y biodisponiblilidad potencial) y mineralogía de la fracción arcillosa en los sedimentos de cuatro puertos del Golfo de California. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán. 304 p.
- Gómez-Caminero A., P. Howe, M. Hughes , E. Kenyon , D. R. Lewis, M. N. JMoore, A. Aitio & G. Becking. 2001. Arsenic and arsenic compounds.Environmental health criteria, 2 ed. World Health Organization, Geneva.
- Gonzalez-Yajimovich, O., J.L. Perez-Soto, G.E. Avila-Serrano & K. Meldahl. 2010. Sediment transport trends in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico, base don textural parameters and heavy mineral concentration. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62:281-304.
- Han, C., X. Cao, J. J. Yu, X. L. Wang & Y. Shen. 2009. Arsenic Speciation in Sargassum fusiforme by Microwave-Assisted Extraction and LC-ICP-MS. *Chromatographia*. 69 (5/6): 587-591.
- Honjo, S. & K. W. Doherty. 1988. Large aperture time-series sediment traps; design objectives, construction and application. *Deep Sea Research Part A*. 35: 133-149.
- Huerta-Diaz, M. A., F. León-Chavira, M. L. Lares, A. Chee-Barragán, A. Siqueiros-Valencia. 2007. Iron, manganese and trace metal concentrations in seaweeds from the central west coast of the Gulf of California. *Applied Geochem*. 22(7): 1380-1392.
- Chung, Y. C. & G. W. Hung. 2000. Particulate fluxes and transports on the slope between the southern East China Sea and the South Okinawa Trough. *Continental Shelf Research*. 20(4-5):571-597.

- Hutchins, D. A., G. R. DiTullio & K. W. Bruland, 1993. Iron and regenerated production: evidence for biological iron recycling. *Limnol. Oceanogr.* 38: 1242-1255.
- Johnson, D.L. & R.S. Braman 1975. The speciation of arsenic and the content of germanium and mercury in members of the pelagic Sargassum community. *Deep Sea Research*. 22: 503 508.
- Katayama, M., Y. Sugawa-Katayama, R. Sawada, Y. Yamamoto. 2008. Distribution of accumulated arsenic in the plant body of Akamoku, Sargassum horneri. *Trace Nutrients Research*. 25: 129-133.
- Konovalov S. K. & J. W. Murray. 2001. Variations in the chemistry of the Black Sea on a time scale of decades (1960-1995). *Journal of Marine Systems*. 31: 217-243.
- Konovalov S., G. Lutheriii., M. Yucel. 2007. Porewater redox species and processes in the Black Sea Sediments. *Chemical Geology*. 245(3-4): 254-274.
- Krishnaswami S. & M. M. Sarin. 1976. Atlantic Surface particulate:composition, settling rates and dissolution in the deep-sea. *Earth Planet. Sci. Lett.* 32: 430-440.
- Landing, W. M. & K. W. Bruland. 1987. The contrasting biogeochemistry of iron and manganese in the Pacific Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 51:29-43.
- Leal-Acosta M. L., Shumilin E., Mirlean N., Sapozhnikov D. & V. Gordeev. 2010. Arsenic and mercury contamination of sediments of geothermal springs, mangrove lagoon and the Santispac Bight, Bahía Concepción, Baja California Peninsula. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 85: 609-613.
- Lechuga-Devéze, C. H., A. Reyes-Salinas & M. L. Morquecho-Escamilla. 2001. Anoxia in a coastal bay: case study of a seasonal event. *Rev. Biol. Trop.* 49(2): 525-534.
- Lewis, B.L. & G. W. Luther III. 2000. Processes controlling the distribution and cycling of manganese in the oxygen minimum zone of the Arabian Sea. *Deep Sea Res.* 47: 1541–1561.

- Libes S. M. 2003. An introduction to marine biogeochemistry. John Wiley & Sons. New York, 734 p.
- Lukashin, V. N. 2008.Chemical composition of particulate matter in the Northeast Norwegian Sea at Station AMK36-3518. P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, doi:10.1594/PANGAEA.751485,
- Luther III, G. W. & E. Boyle. 2007. Introduction: Chemical Oceanography. *Chemical Reviews* 17(2): 305-307.
- Louma, N.S., G.W. Bryan & W.J. Langston. 1982. Scaveging of Heavy Metals from Particulates by Brown Seaweed. *Marine Pollution Bulletin*. 13 (11): 394-396
- Martin, J. H. 1970. The possible transport of trace metals via moulted copepod exoskeletons. *Limnol. Oceanography*. 15: 756-761.
- Martin, J. H. & G. A. Knauer. 1973. The elemental composition of plankton. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 37: 1639-1653.
- McCarhty, K. T., T. Pichler & R. E. Price. 2005. Geochemistry of Champagne Hot Springs shallow hydrothermal vent field and associated sediments, Dominica, Lesser Antilles. *Chemical Geological*. 224: 55-68.
- McCave, I. N., I. R. Hall, A. N. Antia, L Chou, F. Dehairs, R. S Lampitt, L. Thomsen, T. C. E van Weering, R. Wollast. 2001. Distribution, composition and flux of particulate material over the European margin at 47°–50°N. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 48: 3107–3139.
- McCleskey, R.B., Nordstrom, D.K. & A. S. Maest. 2004. Preservation of water samples for arsenic(III/V) determinations: an evaluation of the literature and new analytical results. *Applied Geochemistry*. 19: 995-1009.
- McFall, C.C. 1968. Reconnaissance geology of Concepcion Bay Area, Baja California, Mexico: Stanford University Publications. Geological Science. 10, 1-25.
- McKay, J. L., T. F. Pedersen & A. Mucci, 2006. Sedimentary redox conditions in continental margin sediments (N.E. Pacific) — Influence on the accumulation of redox-sensitive trace metals. *Chemical Geology*. 238: 180–196.

- McManus, J., W. M. Berelson, S. Severmann, R. L. Poulson, D. E. Hammond, G.
 P. Klimkhammer & C. Holm. 2006. Molybdenum and uranium geochemistry in continental margin sediments. *Paleoproxy potential*. 70(18): 4643-4662.
- Meldahl, K.H., O. Gonzalez-Yajimovich, G. Avila-Serrano, C. Empedocles, C. Gustafson, M. Motolinia-Hidalgo & T. Reardon. 1997. Holocene sediments and molluscan faunas of Bahía Concepción: a modern analog to Neogene rift basins of the Gulf of California. 39-56. In: Johnson, M.E. & J. Ledesma-Vázquez (Eds). Pliocene Carbonates and Related Facies Flanking the Gulf of California, Baja California Mexico: Boulder, Colorado, GSA Special Papers. 318 p
- Millero, F. J. 1996. *Chemical Oceanography*. 2da. edición. Ed. CRC Press, Inc. 469 p.
- Millero, F. J. 2004. Physicochemical Controls on Seawater In: Holland H. D. & K.K. Turekian. 2004. The Ocean and Marine Geochemistry, Traetise on Geochemistry, Ed. Elsevier Pergamon. 646 p.
- Moffett, J. W. & T. J. Goepfert & S. W. A. Naqvi. 2007. Reduced iron associated with secondary nitrite maxima in the Arabian Sea. *Deep Sea Res.* 54(1):1341-1349.
- Morford J. L. & S. Emerson. 1999. The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 63: 1735–1750.
- Morford, J.L., W. R. Martin, L. H., Kaldejais, R. Franois, M. Bothner & I. M. Karle. 2006. Insights on geochemical cycling of U, Re and Mo from seasonal sampling in Boston Harbor, Massachesetts, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 71(4): 895-917.
- Mucci, A., L. F. Richard, M. Lucotte & C. Guignard. 2000. The Differential Geochemical Behavior of Arsenic and Phosphorus in the Water Column and Sediments of the Saguenay Fjord Estuary, Canada. *Aquatic Geochemistry*. 6: 293–324.
- Morford, J. L., S. R. Emerson, E. J. Breckel & S. H., Kim. 2005. Diagenesis of oxyanions (V, U, Re, and Mo) in pore waters and sediments from a continental margin. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 69 (21): 5021-5032

- Nakayama, E., H. Tokoro, T. Kuwamoto & T. Fujinaga. 1981. Dissolved state of chromium in seawater. *Nature*. 290: 768 770.
- Nameroff, T.J., L.S. Balistrieri & J. W. Murray. 2002. Suboxic trace metal geochemistry in the eastern tropical north pacific. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 60:1139-1158.
- Nameroff, T. J., S. E. Calvert & J. W. Murray. 2004. Glacial-interglacial variability in the eastern tropical North Pacific oxygen minimum zone recorded by redoxsensitive trace metals. *Paleoceanography*. vol. 19, pa1010, doi:10.1029/2003PA000912.
- Neira C, F. Delgadillo-Hinojos, A. Zirino, G. Mendoza, L. A. Levin, M. Porrachia. 2009. Spatial distribution of copper in relation to recreational boating in a California shallow- water basin. *Chem Ecol.* 25:417–33.
- 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.
- Pacheco-Ruiz. I, J. A. Zertuche-González, A. Chee-Barragan & R. Blanco-Betancourt 1998. Distribution and quantification of Sargassum beds along theWest Coast of the Gulf of California, Mexico. *Bot. Mar.* 41:203–208.
- Patrón-Pardo, M., B. Acosta-Vargas, E. Serviere-Zaragoza & L. Mendez-Rodriguez. 2010. Copper and Cadmium Biosoption by Dried Seaweed Sargassum sinicola in Saline wastewater. *Water Air Soil Pollution*. 210: 197-202.
- Pérez-Soto, J. L. 1998. Origen y patrón de dispersión de los sedimentos superficiales en Bahía Concepción, Baja California, Sur, México. Tesis de maestría.Universidad Autónoma de Baja California.76 p.
- Phillips, D. J. H. 1979. The rock oyster Saccostrea conglomerate as an indicator of trace metals in Hong Kong. Marine Biology 53: 353-360.
- Phillips, D.J.H. 1990. Arsenic in aquatic organisms: a review, emphasizing chemical speciation. *Aquatic Toxicol*. 16:161-186.

- Pichler, T., J. Veizer. & G.E. M. Hall. 1999b. The chemical composition of shallow water hydrothermal fluids in Tutum Bay, Ambitle Island, Papúa Nueva Guinea and their effect on ambient seawater. *Marine Chemistry*. 64: 229-252.
- Piper, D. Z. 1991. Geochemistry of a tertiary sedimentary phosphate deposit: Baja California Sur, México. *Chem. Geol.* 92: 283-316.
- Piper, D. Z. & Dean, W. E, 2002. Trace-Element Deposition in the Cariaco Basin, Venezuela Shelf, under Sulfate-Reducing Conditions. A History of the Local Hydrography and Global Climate, 20 Ka to the Present. US Geological Survey Prof. 670: 1-41.
- Price, R.E. & T. Pichler. 2005. Distribution, speciation and bioavailability of arsenic in a shallow-water submarine hydrothermal system, Tutum Bay, Ambitle Island, PNG. *Chemical Geology*. 224: 122-135.
- Price, R. 2008. Biogeochemical cycling of arsenic in the shallow marine hydrothermal system of Tutum Bay, Ambitle Island, Papua New Guinea. PhD. Thesis. University of South Florida.
- Prol-Ledesma, R.M., C. Canet, C., J. C. Melgarejo, G. Tolson, M. A. Rubio-Ramos,
 J. C. Cruz-Ocampo, A. Ortega-Osorio, M. A. Torres-Vera & A. Reyes, 2002b.
 Cinnabar deposition in submarine coastal hydrothermal vents, Pacific Margin of Central Mexico. *Economic Geology*. 97: 1331-1340.
- Prol-Ledesma, R. M., C. Canet, M. A. Torres-Vera, M. J. Forrest, M. A. Armienta. 2004. Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Volcanology* and Geothermal Research. 137: 311-328.
- Pohl, C. & U. Hennings. 2005. The coupling of long-term trace metal trends to internal trace metal fluxes at the oxic–anoxic interface in the Gotland Basin (57°19,20'N; 20°03,00'E) Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*. 56: 207– 225
- Pohl, C., A. Löffler & U. Henning. 2004. A sediment trap flux study for trace metals under seasonal aspects in the stratified Baltic Sea (Gotland Basin; 57°19.20`N; 20°03.00`E). *Marine Chemistry*. 84: 143– 160

- Posada-Ayala, I. A. 2011. Geoquímica ambiental del distrito minero San Antonio, sedimentos de los arroyos de la cuenca de San Juan de los Planes y plataforma continental de Bahía La Ventana, BCS, México. Tesis de maestria. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S. 210 p.
- Rejomon, G., Balachandran, K.K., Nair & M. Joseph, T. 2008. Trace metal concentrations in marine zooplankton from the western Bay of Bengal. *Applied Ecology and Environmental Research*. 6(1): 107-116.
- Renteria-Cano, M.E., L. Sanchez Velazco, E. Shumilin, M. F. Lavín, J. Gomez Gutiérrez. 2011. Major and trace elements in zooplankton from Northern Gulf of California during summer. Biol. *Trace Elements Research*. 142(3): 848-864.
- 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. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.La Paz, B.C.S. México. 179 p.
- Rodríguez-Castañeda A. P., 2008. Variación de flujos de los elementos particulados en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, en el periodo 2002-2005.
 Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, 199 p.
- Rodríguez-Figueroa, G. M., Shumilin, E., & I. Sanchez-Rodriguez. 2008. Heavy metal pollution monitoring using the brown seaweed Padina durvillaei in the coastal zone of the Santa Rosalía mining region, Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Applied Phycology*. 21: 19–26.
- Rodríguez-Figueroa, G., E. Shumilin, F. Páez-Osuna, E. Nava & 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.
- Rodriguez-Figueroa, G. M. 2010. *Niveles de contaminación por metales pesados en la zona costera de santa rosalía: sedimentos y macroalgas*. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 178 p.

- Rodriguez-Meza, G. D. 2004. Caracterización geoquimica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la Peninsula de Baja California. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S.
- Romero Bañuelos A.C., 2003. Hidrología y metales pesados en la materia particulada suspendida del agua superficial de la porción sur de la Bahía de La Paz., B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S.100 p.
- Romero Guadarrama, J.A. 2011. *Geoquímica de As, Hg, Pb y Zn y mineralogía en sedimentos superficiales de la cuenca de drenaje del distrito minero el triunfo, B.C.S., México.* Tesis de maestría.CICIMAR. 89 p.
- Rona, P. A., C. W. Devey, J. Dyment, and B. J. Murton (Eds.) (2010), Diversity of Hydrothermal Systems on Slow Spreading Ocean Ridges, Geophys. Monogr. Ser., vol. 188, 440 pp., AGU, Washington, D. C., doi:10.1029/GM188.
- Rose M., J. Lewis, N. Langford, M. Baxter, S. Origgi, M. Barber, H. MacBain & K. Thomas. 2007. Arsenic in seaweed—Forms, concentration and dietary exposure. *Food and Chemical Toxicology*. 45: 1263–1267.
- Sanders, J. G. 1979. The concentration and speciation of arsenic in marine macroalgae. *Estuarine and coastal marine science*. 9: 95-99
- Sanders, J. G. & h. l. windom. 1980. The uptake and reduction of arsenic species by marine algae. Estuarine and Coastal Marine Science 10:555-567.
- Salomons W. & U. Förstner. 1984. Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. Germany. 349 p.
- Sánchez-Rodríguez, I., M. A. Huerta-Diaz, E. Choumiline, O. Holguín-Quiñones,&
 J. A. Zertuche-González. 2001. Elemental concentrations in different species of seaweed from Loreto bay (Baja California del Sur), Mexico. Implications for the geochemical control of metals in algal tissues. *Environmental Pollution*. 114: 145–160.
- Sanders, J.G., Riedel, G.F. & R. W. Osman.1994. Arsenic cycling and its impact in estuarine and coastal marine ecosystems. Arsenic in the Environment, Part 1: Cycling and Characterization. Wiley. New York, 289-308 p.

- Santos I. R., C. Lechuga-Devéze, R. N. Peterson. & W. C.Burnett. 2011. Tracing submarine hydrothermal inputs into a coastal bay in Baja California, Mexico. *Chemical Geology*. 282: 1-10.
- Segovia-Zavala JA, Delgadillo-Hinojosa F, Álvarez-Borrego S. 1998. Cadmium in the coastal upwelling area adjacent to the California- Mexico border. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 46: 475–481.
- Segovia-Zavala, J. A., F. Delgadillo-Hinojosa, M. L. Lares-Reyes, M. A. Huerta-Diaz, A. Muñoz-Barbosa & E. V. Torres-Delgado. 2009. Atmospheric input and concentration of disolved iron in the surface layer of Gulf of California. *Ciencias Marinas*. 35(1): 75-90.
- Sherrell, R. M. & E. A. Boyle. (1972). The trace metal composition of suspended particles in the oceanic water column near Bermuda. *Earth Planet. Sci. Lett.* 111: 155-174.
- Slowey, J. F. & D. W. Hood. 1971. Copper, manganese and zinc concentration in gulf of mexico waters. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 35: 121-38.
- Szalay, A. & M. Szilagyi. 1967. The asociation of Vanadium with humic acid. *Geochem Cosmochim. Acta.* 31: 1-6.
- Schlesinger, H. W. 1997. *Biogeochemistry. An analysis of global change*. Academic Press. California. 588 p.
- Schneider, B., D. Ceburnis, R. Marks, J. Munthe, G. Petersen & M. Sofiev. 2000. Atmospheric Pb and Cd input into the Baltic Sea: a new estimate based on measurements. *Mar. Chem.* 71: 297– 307.
- Shumilin E.N., St. Kalmykov, D. Sapozhnikov, E. Nava-Sánchez, D. Gorsline, L. Godínez- Orta, Yu Sapozhnikov, O. Holguin Quiñones & A. Rodríguez Castañeda. 2000. Major and trace element accumulation in coastalsediments along southeastern Baja California studied by instrumentalneutron activation analysis and 210Pb dating. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 246: 533-541.
- Shumilin E.N., J.D. Carriquiry, V.F. Camacho-Ibar, D. Sapozhnikov, S. Kalmykov, A. Sanchez, S. Aguñiga-García & Y.A. Sapozhnikov. 2002. Spatial and vertical distributions of elements in sediments of the Colorado River deltaand Upper Gulf of California. *Mar.Chem.* 79:113-131.

- Shumilin, E., G. D. Rodríguez-Meza, D. Sapozhnikov, S. Lutsarev, J. Murrillo de Nava. 2005a. Arsenic concentrations in the surface sediments of the Magdalena Almejas Lagoon complex, Baja California Peninsula, Mexico: Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 74: 493-500.
- Shumilin, E. A. Meyer-Willerer, A. J. Marmolejo-Rodriguez, O. Morton-Bermea, M.
 A. Galicia-Perez, E. Hernandez, G. Gonzalez-Hernandez. 2005b. Iron, Cadmium, Chromium, Copper, Cobalt, Lead, and Zinc Distribution in the Suspended Particulate Matter of the Tropical Marabasco River and its Estuary, Colima, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 74:518–525.
- Shumilin E., V. Gordeev, G. Rodríguez Figueroa, L. Demina & K. Choumiline. 2010. Assessment of Geochemical Mobility of Metals in Surface Sediments of the Santa Rosalia Mining Region, Western Gulf of California. Archives of Environment Contamination and Toxicology. 60: 8-25.
- Silverberg N., E. Shumilin, F. Aguirre-Bahena, A. P. Rodriguez-Castañeda & D. Sapoznikov. 2007. The impact of hurricanes on sedimenting particulate matter in the semi-arid Bahía de La Paz, Gulf of California. *Continental Shelf Research*. 27: 2513–2522
- Stramma, L., G. C. Johnson, J. Sprintall & V. Mohrholz. 2008. Expanding Oxygen-Minimun Zones in the Tropical Oceans. *Science*: 320: 655-658
- Sobral, L. G. S., R. D. Lima, S. G. F. & A. V. V. Fernandez.2003. Mercury removal from liquid effluents of the chlor-alkali indistry by using the biomass Sargassum sp. *Journal de Physique*. 107(4): 1259-1262.
- Stoner, J. H. 1974. *Trace metals geochemistry of particulates and waters from the marine environment.* PhD Thesis, University of Liverpool.
- Sugawa-Katayama, Y., M. Katayama, Y. Arikawa, Y. Yamamoto, R. Sawada & Y. Nakano. 2005. Diminution of the Arsenic level in Hijiki Sargassum fusiforme (Harvey) Setchell, through pre-cooking treatment. *Trace Nutrients Research*. 22:107-109.
- Sundby, B., P. Martínez & C. Gobeil. 2004. Comparative geochemistry of cadmium, rhenium, uranium, and molybdenum in continental margin sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta. 68 (11): 2585-2493.

- Takesue R. K. & A. van Geen. 2002. Nearshore circulation during upwelling inferred from the distribution of dissolved cadmium off the Oregon coast. *Limnol. Oceanogr.* 47(1): 176–185.
- Tarasov, V. G., A. V. Gebruk, A. N. Mironov & L. I. Moskalev. 2005. Deep-sea and shallowwater hydrothermal vent communities: two different phenomena? *Chemical Geology*. 224: 5-39.
- Taylor S. R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 28: 1273-1285.
- The Cuong D. S. Karuppiah & J. Philip-Obbard. 2008. Distribution of heavy metals in the dissolved and suspended phase of the sea-surface microlayer, seawater column and in sediments of Singapore's coastal environment. *Environ Monit Assess*. 138: 255–272.
- Thunell R.C. 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep Sea Research Part I.* 45: 2059-2083.
- Thunell, R. C., E. Tappa & D. M. Anderson. 1995. Sediment fluxes and varve formation in Santa Barbara Basin, offshore California. *Geology*. 23: 1083-1086.
- Tribovillard, N., A. Riboulleau, T. W. Lyons & F. Baudin. 2004. Enhanced trapping of molybdenum by sulfurized organic matter of marine origin in Mesozoic limestones and shales. *Chem. Geol.* 213: 385–401.
- Turner R. D, K. A. Hunter & H. J. W. de Baar. 2001. The iron paradox 1-7. In: Turner D. R. & K. A. Hunter (Eds.). The Biogeochemistry of Iron in Seawater. John Wiley, New York.
- van Geen A., D. C. McCorkle & G. P. Klinkhammer. 1995. Sensitivity of the phosphate-cadmium-carbon isotope relation in the ocean to cadmium removal by suboxic sediments. *Paleoceanography.*
- Landing, W. M. & K. W.Bruland. 1987. The contrasting biogeochemistry of iron and manganese in the Pacific Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 51:29-43.
- Vasquez, J. A. & N. Guerra. 1996. The use of seaweeds as bioindicators of natural and anthropogenic contaminants in northern Chile. *Hydrobiol.* 326:327–33.

- Verdugo-Díaz, G. Cambios estacionales del fitoplancton y de la composición bioquímica del material particulado en Bahía Concepción. Tesis de maestria. Centro Interdsciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S. 97 p.
- Villanueva S. & A. Botello. 1998. Metal pollution in coastal areas of Mexico. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 157: 53-94
- Voelker B. M., F. M. Morel & B. Sulzberger. 1997. Iron redox cicling in surface waters: effects of humic substances and light. *Environ. Sci. Technol.* 31: 1004-1007.
- Walace, G.T., G. I. Hoffman & R. A. Duce. 1997. The influence of organic matter and atmospheric decomposition on the particulate trace metal concentration in north-west Atlantic surface seaweater. *Mar. Chem.*5: 143-70.
- Wang, D. R., C. Aller & S. A. Sañudo-Wilhelmy. 2009. A New Method for the Quantification of Different Redox-species of Molybdenum (V and VI) in Seawater, *Marine Chemistry* doi: 10.1016/j.marchem.2009.02.007.
- Wang W. X & N. S. Fisher. 1999. Assimilation efficiencies of chemical contaminants in aquatic invertebrates: a synthesis. *Environ. Toxicol. Chem.* 18: 2034-2045.
- Westerlund, S. & P. Ohman. 1991. Cadmium, copper, cobalt, nickel, lead and zinc in the water column of the Weddell sea, Antartic. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 55: 2127-46.
- Yamaguchi, K. E. 2001. Evolution of the geochemical cycles of redox-sensitive elements. *Frontier Research on Earth Evolution*. (1): 249-252.
- Yemenicioglu, S., Erdoğan, S. & Tugrul, S. 2006. Distribution of dissolved forms of iron and manganese in the Black sea. *Deep Sea Research II.* 53: 1842-1855.
- Zheng Y., R. F. Anderson, A van Geen & J. Kuwabara. 2000. Authigenic molybdenum formation in marine sediments: a link to pore water sulfide in the Santa Barbara Basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 64: 4165-4178.

12. ANEXOS

Anexo 1. Coordenadas de los sitios de muestreo Estaciones de muestreo de agua y materia suspendida particulada

Estación	Latitud	Longitud	
T1	26.591°N	111.763°W	
T2	26.695°N	111.835°W	
W1	26.687°N	111.860°W	
S27	26.762°N	111.893°W	
LC	26.762°N	111.893°W	
CV	26.758°N	111.894°W	

Estación de muestreo de la materia particulada en hundimiento

Estación	Latitud	Longitud
T1	26.591°N	111.763°W

Estaciones de muestreo de sedimentos superficiales

a) Ensenada de Santispac (manantiales geotermales y zona adyacente)

Estación	Latitud		Longitud	Estación	Latitud		Longitud
S-1	26.761	° N	111.883 °W	S-20	26.762	° N	111.892 °W
S-2	26.761	° N	111.885 °W	S-21	26.761	° N	111.892 °W
S-3	26.761	° N	111.886 °W	S-22	26.762	° N	111.893 °W
S-4	26.761	° N	111.888 °W	S-23	26.762	° N	111.893 °W
S-5	26.761	° N	111.889 °W	S-24	26.763	° N	111.893 °W
S-6	26.763	° N	111.889 °W	S-25	26.763	° N	111.894 °W
S-7	26.762	° N	111.888 °W	S-26	26.763	° N	111.894 °W
S-8	26.763	° N	111.886 °W	S-27	26.762	° N	111.893 °W
S-9	26.762	° N	111.885 °W				
S-10	26.763	° N	111.883 °W				
S-11	26.764	° N	111.883 °W				
S-12	26.764	° N	111.885 °W				
S-13	26.764	° N	111.886 °W				
S-14	26.764	° N	111.888 °W				
S-15	26.764	° N	111.889 °W				
S-16	26.765	° N	111.887 °W				
S-17	26.765	° N	111.886 °W				
S-18	26.765	° N	111.885 °W				
S-19	26.763	° N	111.891 °W				

Estación	Latitud		Longitud		Estación	Latitud		Longitud	
X-1	26.686	° N	111.858	° W	X-38	26.695	° N	111.861	° W
X-2	26.686	° N	111.856	° W	X-39	26.694	° N	111.858	° W
X-3	26.686	° N	111.853	° W	X-40	26.695	° N	111.856	° W
X-4	26.686	° N	111.850	° W	X-41	26.695	° N	111.853	° W
X-5	26.686	° N	111.847	° W	X-42	26.695	° N	111.850	° W
X-6	26.686	° N	111.845	° W	X-43	26.697	° N	111.850	° W
X-7	26.683	° N	111.845	° W	X-44	26.697	° N	111.853	° W
X-8	26.683	° N	111.848	° W	X-40	26.694	° N	111.856	° W
X-9	26.683	° N	111.850	° W	X-41	26.695	° N	111.853	° W
X-10	26.683	° N	111.853	° W	X-42	26.695	° N	111.850	° W
X-11	26.683	° N	111.856	° W	X-43	26.697	° N	111.850	° W
X-12	26.681	° N	111.856	° W	X-44	26.697	° N	111.853	° W
X-13	26.680	° N	111.853	° W	X-45	26.697	° N	111.856	° W
X-14	26.681	° N	111.850	° W	X-46	26.697	° N	111.859	° W
X-15	26.681	° N	111.847	° W	X-47	26.697	° N	111.864	° W
X-16	26.681	° N	111.844	° W	X-48	26.697	° N	111.861	° W
X-17	26.678	° N	111.844	° W	X-49	26.697	° N	111.867	° W
X-18	26.678	° N	111.847	° W	X-51	26.687	° N	111.860	° W
X-19	26.678	° N	111.850	° W					
X-20	26.678	° N	111.853	° W					
X-21	26.675	° N	111.851	° W					
X-22	26.675	° N	111.850	° W					
X-23	26.675	° N	111.847	° W					
X-24	26.675	° N	111.844	° W					
X-25	26.689	° N	111.861	° W					
X-26	26.689	° N	111.858	° W					
X-27	26.689	° N	111.856	° W					
X-28	26.689	° N	111.853	° W					
X-29	26.689	° N	111.850	° W					
X-30	26.689	° N	111.847	° W					
X-31	26.689	° N	111.844	° W					
X-32	26.692	° N	111.847	° W					
X-33	26.692	° N	111.850	° W					
X-34	26.692	° N	111.853	° W					
X-35	26.692	° N	111.856	° W					
X-36	26.692	° N	111.859	° W					
X-37	26.692	° N	111.861	° W					

 b) Ensenada de los Mapachitos (sitio de las ventilas hidrotermales someras y zona adyacente)

Estación	Latitud		Longitud	
P-1	26.572	° N	111.781	° W
P-2	26.572	° N	111.778	° W
P-3	26.572	° N	111.775	° W
P-4	26.572	° N	111.772	° W
P-5	26.569	° N	111.772	° W
P-6	26.569	° N	111.775	° W
P-7	26.569	° N	111.778	° W
P-8	26.569	° N	111.781	° W
P-9	26.566	° N	111.778	° W
P-10	26.567	° N	111.775	° W
P-11	26.567	° N	111.772	° W
P-12	26.567	° N	111.769	° W
P-13	26.566	° N	111.767	° W
P-14	26.567	° N	111.764	° W
P-15	26.564	° N	111.764	° W
P-16	26.564	° N	111.767	° W
P-17	26.564	° N	111.770	° W
P-18	26.564	° N	111.772	° W
P-19	26.561	° N	111.767	° W
P-20	26.561	° N	111.764	° W
P-21	26.558	° N	111.764	° W

c) El Remate (zona adyacente a los pozos de aguas subterráneas

d) Sedimentos adyacentes a la Península Concepción

Estación	Latitud		Longitud	Estación	Latitud		Longitud
X-62	26.7153611	° N	111.815028 °W	X-75	26.6518333	° N	111.748806 °W
X-63	26.7122778	° N	111.807722 °W	X-76	26.6572778	° N	111.75725 °W
X-64	26.7070278	° N	111.805278 °W	X-77	26.6624722	° N	111.767972 °W
X-65	26.7016111	° N	111.802722 °W	X-78	26.66825	° N	111.770694 °W
X-66	26.6959722	° N	111.800444 °W	X-79	26.6741389	° N	111.773444 °W
X-67	26.6905833	° N	111.797139 °W	X-80	26.6795556	° N	111.7795 ° W
X-68	26.6851111	° N	111.789083 °W	X-81	26.6848889	° N	111.794667 °W
X-69	26.6794444	° N	111.774333 °W	X-82	26.6903889	° N	111.803389 °W
X-70	26.6739444	° N	111.768167 °W	X-83	26.6961111	° N	111.805639 °W
X-71	26.6680833	° N	111.765639 °W	X-84	26.7014444	° N	111.8085 °W
X-72	26.6626944	° N	111.762111 °W	X-85	26.7071111	° N	111.810861 °W
X-73	26.6571111	° N	111.752167 °W	X-86	26.7123889	° N	111.813417 °W
X-74	26.6515556	° N	111.742806 °W				

Estaciones de muestreo de núcleos de sedimento

Estación	Latitud		Longitud	I
Núcleo NT	26.591	° N	111.763	° W
Núcleo NM	26.762	° N	111.893	° W

Estaciones de muestreo de macroalgas

a) Ensenada de Santispac

Estación	Latitud	Longitud
NA-1	26.7599	° N 111.8901 ° W
NA-2	26.7613	° N 111.8898 ° W
NA-3	26.7623	° N 111.8908 ° W
NA-4	26.7633	° N 111.8908 ° W
NA-5	26.7641	° N 111.8878 ° W
NA-6	26.7638	° N 111.8831 ° W
NA-7	26.7571	° N 111.8796 ° W
CV-1	26.7585	° N 111.8946 ° W

b) Ensenada de Mapachitos

Estación	Latitud		Longitud	
XA-1	26.6966	° N	111.8671	° W
XA-2	26.6927	° N	111.8624	° W
XA-3	26.6914	° N	111.8614	° W
XA-4	26.6886	° N	111.8613	° W
XA-5	26.6872	° N	111.8605	° W
XA-6	26.6823	° N	111.8567	° W
XA-7	26.6800	° N	111.8558	° W
XA-8	26.6772	° N	111.8534	° W
XA-9	26.6747	° N	111.8524	° W
c) El Remate

Estación	Latitud	Longitud
A-0	26.5774 ° N	111.7844 °W
A-1	26.5722 ° N	111.7833 °W
A-2	26.5685 °N	111.7824 °W
A-3	26.5665 °N	111.7776 °W
A-4	26.5644 °N	111.7751 °W
A-5	26.5604 °N	111.7685 °W
POZO-1	26.5836 °N	111.7871 °W
POZO-2	27.5805 °N	111.7851 °W
POZO-3	26.5736 °N	111.7841 °W

Estaciones de muestreo de Zooplancton

	Inicial		Final	
Estación	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
Z0-A	111.862° W	26.694° N	111.862° W	26.694° N
Z0-B	111.862° W	26.694° N	111.862° W	26.694° N
Z1	111.862° W	26.694° N	111.851° W	26.674° N
Z2	111.851° W	26.669° N	111.836° W	26.649° N
Z3	111.838° W	26.649° N	111.813° W	26.631° N
Z4	111.813° W	26.631° N	111.793° W	26.603° N
Z5	111.780° W	26.571° N	111.757° W	26.549° N
Z6	111.892° W	26.755° N	111.887° W	26.763° N

2 de junio del	2010	23 de mayo del 2011					
Muestra	mg L⁻¹	Muestra	mg L ⁻¹				
T1 (2 m)	0.60	T1 (2 m)	2.79				
T1 (15 m)	0.41	T1 (15 m)	8.09				
T1 (26 m)	0.54	T1 (26 m)	0.52				
T2 (2 m)	4.05	T2 (2 m)	1.18				
T2 (15 m)	1.02	T2 (15 m)	1.23				
T2 (26 m)	3.13	T2 (26 m)	1.11				
W1 (2 m)	2.27	W1 (2 m)	1.84				
W1 (5 m)	0.94	W1 (5 m)	nd				
W1 (5 m)'	1.78	W1 (5 m)'	1.26				
LC	1.46	LC	1.17				
S-27	0.55	S-27	2.99				
CV-1	6.61	CV-1	10.08				
Pozo-1	0.62	Pozo-1	nd				
Pozo-2	0.59	Pozo-2	nd				
Pozo-3	0.05	Pozo-3	nd				

Anexo 2. Contenido de elementos en la materia suspendida particulada (mg kg⁻¹)

Contenido de masa total (mg L⁻¹)

nd= no determinado

W1 (5 m)'=muestra colectada por buceo autónomo

a) muestreo 2 de junio del 2010

Estación	Mn	Fe	Со	Ni	Cu	Zn	Ge	As	Se
profundidad									
T1 (2 m)	1114		11.0	60	183.3	3365	0.2	37.4	6.5
T1 (15 m)	301		6.4	58	57.8	961	0.2	4.0	6.7
T1 (26 m)	1720		8.9	32	52.6	2460	0.3	6.3	5.3
T2 (2 m)	238		1.8	22	47.1	117	0.0	6.4	4.7
T2 (15 m)	943		7.4	67	93.1	718	0.1	6.4	12.8
T2 (24 m)	928	17281	7.3	35	47.8	181	0.4	12.9	5.1
W1 (2 m)	1651	6200	2.6	28	28.7	291	0.3	67.9	4.6
W1 (5 m)	904	18346	8.5	36	31.8	376	0.6	36.5	8.3
W1' (5 m)	1744	9377	5.3	68	99.3	1396	0.6	150.4	10.0
LC	66690	17644	15.5	88	79.8	825	1.1	51.8	6.7
S-27	30130	14430	73.5	30	122.8	1838	6.7	161.9	11.3
CV-1	27386	23905	41.2	21	412.8	242	5.5	309.8	2.0
Pozo-1	17891	154980	37.9	37	406.5	1826	4.8	942.9	19.6
Pozo-2	11020	985	62.3	84	205.2	1391	0.5	19.2	12.1
Pozo-3	54094	564348	435.7	19579	1074.9	34051	13.1	983.1	116.1

Estación	Rb	Sr	Y	Мо	Cd	Sn	Sb	Cs	Ва
profundidad									
T1 (2 m)	4.7	887	0.3	38.6	2.5	86.7	18.0	1.2	105
T1 (15 m)	4.7	3249		1.3	3.6	23.1	3.4	1.0	85
T1 (26 m)	5.2	803	0.8	3.6	2.4	52.9	4.1	1.1	60
T2 (2 m)	4.7	314	0.1	18.6	0.3	8.5	1.6	0.1	13
T2 (15 m)	7.8	1726	0.4	9.9	2.3	27.2	2.0	0.5	127
T2 (24 m)	17.4	653	6.7	4.4	1.3	13.7	1.3	1.8	179
W1 (2 m)	3.8	654	0.7	3.9	0.4	23.8	2.7	0.5	25
W1 (5 m)	14.8	2037	7.2	16.7	1.3	15.6	2.4	1.8	193
W1' (5 m)	7.0	1840	1.5	22.0	1.4	74.1	6.9	0.9	59
LC	24.3	1210	7.9	6.8	0.8	30.4	3.7	11.4	169
S-27	53.1	727	10.2	17.4	27.7	53.7	18.4	29.2	338
CV-1	40.8	3504	17.0	3.3	0.4	6.0	1.6	25.5	1787
Pozo-1	16.0	2485	11.2	4.1	2.0	73.2	13.3	6.4	2912
Pozo-2	9.4	447	3.0	3.4	0.8	83.2	7.8	4.3	128
Pozo-3	85.3	4876	18.1	34.0	5.1	1366.7	103.7	31.8	568

Contenido de elementos en la materia suspendida particulada (mg kg⁻¹)

Estación	La	Се	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
profundidad									
T1 (2 m)	11.7	21.8	1.9	5.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4
T1 (15 m)					0.0	0.2		0.0	0.3
T1 (26 m)	0.7	0.2	0.3	1.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.4
T2 (2 m)	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
T2 (15 m)	0.1	0.7	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
T2 (24 m)	7.2	14.3	1.8	7.8	1.6	0.4	1.4	0.2	1.2
W1 (2 m)	0.6	0.6	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2
W1 (5 m)	8.1	15.9	2.0	8.4	1.7	0.5	1.4	0.2	1.2
W1' (5 m)	3.7	4.4	0.5	1.7	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4
LC	7.8	14.4	1.8	7.6	1.6	0.4	1.4	0.2	1.3
S-27	9.2	18.0	2.2	8.7	1.9	0.6	1.5	0.3	1.7
CV-1	25.4	53.6	4.3	16.4	3.1	0.6	2.9	0.4	2.4
Pozo-1	11.4	22.1	1.9	7.6	1.7	0.4	1.5	0.3	1.9
Pozo-2	3.9	9.1	1.0	4.1	0.9	0.3	0.6	0.1	0.8
Pozo-3	6.0	14.7	4.6	19.7	5.6	3.2	1.4	1.0	7.6

Contenido de elementos en la materia suspendida particulada (mg kg⁻¹)

Estación	Но	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Bi	Th	U
profundidad									
T1 (2 m)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	278	4.1	0.7	0.5
T1 (15 m)	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	26	2.4	0.9	1.4
T1 (26 m)	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	44	5.5	0.6	0.8
T2 (2 m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12	0.6	0.1	0.2
T2 (15 m)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	20	1.3	0.3	0.7
T2 (24 m)	0.2	0.6	0.1	0.6	0.1	18	1.2	1.1	1.7
W1 (2 m)	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	48	1.0	0.2	0.8
W1 (5 m)	0.2	0.6	0.1	0.6	0.1	24	1.3	1.1	2.1
W1' (5 m)	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	83	4.2	0.5	0.8
LC	0.3	0.7	0.1	0.8	0.1	33	4.5	1.7	3.0
S-27	0.3	1.0	0.2	1.2	0.2	49	10.8	2.4	8.7
CV-1	0.5	1.6	0.3	2.1	0.4	16	0.4	1.4	6.4
Pozo-1	0.4	1.1	0.2	1.4	0.2	265	8.3	1.2	2.9
Pozo-2	0.1	0.3	0.1	0.5	0.1	184	8.9	1.0	1.1
Pozo-3	0.9	2.4	0.8	4.2	0.6	2293	187	10.2	15.3

Contenido de elementos en la materia suspendida particulada (mg kg⁻¹)

b) muestreo 23 de mayo del 2011

Conte				suspenuiua	i particulau	a (iliy ky)			
Estación	AI	Li	Ве	Mg	Sc	Ti	V	Cr	Mn
profundida	d								
T1 (2 m)	855	4.68	0.03	33904		338	6.32	20.27	61
T1 (15 m)	475	80.45	0.02	54827		155	3.23	11.78	43
T1 (26 m)	13072		0.23	17504		4408	23.78	41.90	420
T2 (2 m)	1565		0.06	9786		962	19.60	70.78	217
T2 (15 m)	1124	76.78	0.04	12985		887	16.10	57.17	274
T2 (24 m)	32113	10.86	0.50	15046	4.31	1895	44.63	70.46	1313
W1 (2 m)	2648	14.69	0.06	7758		1982	37.54	99.36	359
W1 (5 m)	3290		3.35	30198		3771	479.52	231.22	1037
LC	28874	7.73	0.74	23714	1.03	3002	55.49	126.54	8524
S-27	64474	46.50	2.16	38062	10.78	3402	490.01	75.38	41466
CV-1	16905	15.51	1.33	22417	3.09	834	18.68	23.11	6448

Contenido de elementos en la materia suspendida particulada (mg kg⁻¹)

Estación	Fe	Со	Ni	Cu	Zn	Ge	Rb	Sr	Y
profundida	d								
T1 (2 m)	1338	1.10	7.24	24.29	211.40		2.97	403.04	
T1 (15 m)	649	0.98	4.84	9.71	47.68		4.73	271.85	
T1 (26 m)	8505	3.81	27.34	22.80	144.41		7.58	436.63	
T2 (2 m)	3771	4.37	20.86	23.88	259.32		0.59	851.97	
T2 (15 m)	3035	4.17	17.23	44.96	207.34		1.00	735.69	
T2 (24 m)	17119	8.32	42.66	44.76	1140.39	0.56	14.61	435.47	6.61
W1 (2 m)	7547	4.94	25.90	18.37	698.72			812.35	
W1 (5 m)	147388	4.15	58.85	53.12	1497.59	7.05	1.70	1284.34	4.04
LC	20451	8.99	46.46	521.13	779.31	1.65	28.30	803.15	6.53
S-27	31282	114.88	44.68	627.43	183.16	9.15	89.14	758.06	24.04
CV-1	9385	12.20	13.97	183.94	458.54	1.37	21.04	6023.46	12.46
Estación	Tm	Yb	Lu	Hf	Pb	Bi	Th	U	
profundida	d								
T1 (2 m)	0.01	0.05			4.49	1.47	0.04	0.15	
T1 (15 m)	0.00	0.03			1.83	0.22	0.03	0.17	
T1 (26 m)	0.06	0.38	0.04	0.47	11.13	0.61	0.62	0.68	
T2 (2 m)	0.03	0.16			13.23	0.70	0.11	0.35	
T2 (15 m)	0.03	0.14			15.46	1.93	0.08	4.90	
T2 (24 m)	0.11	0.72	0.10	2.35	22.20	1.36	1.24	1.46	
W1 (2 m)	0.06	0.33			12.59	0.00	0.20	0.49	
W1 (5 m)	0.23	1.36	0.10		101.43	0.88	0.49	9.84	
LC	0.18	1.10	0.12	0.78	63.56	3.26	1.95	3.14	
S-27	0.40	2.90	0.51	3.42	26.82	1.62	3.64	17.66	
CV-1	0.17	1.25	0.21	0.93	10.24	0.60	1.11	5.84	

Estación profundida	Nb d	Мо	Cd	Sn	Sb	Cs	Ва	La	Се	
T1 (2 m)		0.89	1.03	9.44	0.93	0.27	33.83	0.50	0.82	
T1 (15 m)		1.14	0.48	0.66	0.84	0.14	21.20	0.29	0.45	
T1 (26 m)	0.74	2.26	2.50	4.25	0.67	1.07	92.43	4.22	8.36	
T2 (2 m)		2.73	4.66	3.99	1.38	0.79	54.13	1.52	2.19	
T2 (15 m)		2.73	4.04	3.01	0.99	0.64	23.70	1.28	2.03	
T2 (24 m)	1.62	7.12	3.89	2.98	0.65	2.25	197.61	7.64	15.73	
W1 (2 m)		4.30	5.80	3.92	1.31	1.59	40.72	2.91	4.39	
W1 (5 m)		8.93	6.07	16.73	7.24	3.78	90.78	14.54	21.60	
LC	1.06	61.64	21.60	28.27	45.21	24.41	126.17	10.49	18.84	
S-27	4.48	37.63	267.05	5.87	4.24	66.80	661.76	19.74	49.22	
CV-1	1.12	1.67	0.26	1.18	0.35	13.93	405.69	30.25	46.22	
Estación	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	
profundida	d									
T1 (2 m)	0.03	0.21	0.05	0.03	0.02	0.00	0.02		0.02	
T1 (15 m)	0.02	0.14	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01		0.01	
T1 (26 m)	0.92	4.00	0.85	0.26	0.76	0.12	0.58	0.09	0.35	
T2 (2 m)	0.05	0.53	0.10	0.11	0.02	0.02	0.04		0.06	
T2 (15 m)	0.05	0.48	0.10	0.09	0.03	0.01	0.06		0.06	
T2 (24 m)	1.78	7.71	1.64	0.45	1.47	0.24	1.25	0.24	0.72	
W1 (2 m)	0.08	1.01	0.17	0.20	0.05		0.06		0.12	
W1 (5 m)	1.81	8.82	1.78	0.93	1.77	0.28	1.52	0.06	1.06	
LC	1.94	8.67	1.88	0.54	1.76	0.29	1.51	0.22	0.98	
S-27	4.62	18.94	4.05	1.07	4.21	0.68	3.59	0.86	2.49	
CV-1	4.16	15.84	2.60	0.56	2.61	0.36	1.73	0.41	1.12	

Anexo 3. Contenido de elementos en los sedimentos superficiales

a) Ensenada de Santispac

		<u>00, ND, 03,</u>			a y 1 (a (70)	0	
Muestra	SC	Na	Rb	Cs	Ca	Sr	Ва
S-1	1.26	1.31	5.48	0.094	22.1	3520	80
S-2	3.45	1.76	4.07		22.7	2710	87
S-3	5.68	2.25		0.52	20.1	2545	40
S-4	4.18	1.97		0.37	20.2	2855	82
S-5	1.38	1.66		0.36	23.4	3525	29
S-6	3.15	1.93	6.07	0.32	19.7	3305	295
S-7	3.64	1.63	12.8	0.13	21.4	2900	42
S-8	2.46	1.63			22.5	2790	72
S-9	5.2	1.85	5.86		18	2360	35
S-10	1.83	1.63		1.44	23.7	4475	22
S-11	0.57	1.15	6.9	0.19	22.3	3000	29
S-12	2.5	1.72		0.1	20.5	3240	175
S-13	1.45	1.4		0.24	22.8	4020	25
S-14	0.47	1.04	4.23	0.35	21.8	4325	8
S-15	0.94	0.98		0.48	21.9	4710	34
S-16	3.96	1.7	3.24		21.5	4450	180
S-17	1.73	1.24	4.7	0.077	22.3	6150	29
S-18	0.77	0.84			26.4	5800	70
S-19	1.54	1.27			20.8	4405	110
S-20	0.82	1.1	3.12	0.22	21.5	3215	7
S-21	1.34	1.2		0.27	20.7	3660	32
S-22	1.55	1.24		0.36	20.6	4020	71
S-23	2.75	1.93	2.74	7.25	18.3	2405	230
S-24	2.63	2.42	3.35	2.96	17.6	2390	105
S-25	10.9	3.01	6.79	25.6	4.93	1125	75
S-26	8.57	3.18	26.8	44.1	2.64	215	37
S-27	7.7	4.33	32	28.4	1.75	200	315
S-28	1.99	0.99	30.4	10.8	2.9	655	840

Contenidos de Sc, Rb, Cs, Sr y Ba en mg kg⁻¹; Ca y Na (%)

Cor	ntenido de C	Cr, Co, Se, /	As, Sb y Th	en mg kg ⁻ '	; Fe en %		
Muestra	Cr	Fe	Со	Se	As	Sb	Th
S-1	12.7	0.28	1.77	1.1			0.069
S-2	22.6	0.62	4.19	3.25	0.72	0.28	0.12
S-3	29.2	0.91	5.15	4.34	2.27		0.41
S-4	27.8	0.82	4.54	4.17	0.88		0.59
S-5	12	0.33	1.62	2.4	0.93	0.56	0.29
S-6	18.5	0.65	2.88	0.32	0.97	0.08	0.096
S-7	35	0.64	4.3	2.3	2.73	0.23	0.096
S-8	15	0.44	2.76	0.84	2.35	0.13	0.067
S-9	58.5	0.98	4.82	4.31	4.91	0.16	0.2
S-10	14.4	0.32	1.06	0.31	3.38	0.6	0.44
S-11	4.77	0.1	1.56	0.64	0.78	0.91	0.069
S-12	13.1	0.41	2.45	0.26	3.13	0.42	0.14
S-13	4.62	0.27	1.75	2.13	5.3	1.21	0.16
S-14	2.87	0.019	1.57	2.51	0.32		0.098
S-15	6.96	0.16	0.94	1.49	1.48	0.22	0.4
S-16	18.8	0.76	3.7	0.21	0.94	0.29	0.47
S-17	9.51	0.27	2.91	0.2	2.37	0.32	0.14
S-18	3.03	0.074	0.67	0.17	0.74	0.16	0.14
S-19	6.39	0.35	2.53	0.87	1.04	0.73	0.13
S-20	4.3	0.2	1.46	0.27	1	0.56	0.45
S-21	8.68	0.18	1.56	2.47	5.77	0.85	0.15
S-22	9.73	0.21	2.35	0.14	2.71	0.75	0.1
S-23	18.7	0.56	3.09	2.69	9.61	0.063	0.63
S-24	6.57	0.55	4.22	2.66	4.49	0.49	0.12
S-25	36.4	3.06	14.2	7.87	42.1	0.11	2.21
S-26	30	2.39	17.4	4.28	85.7	0.18	2.73
S-27	16.1	1.95	35.8	9.93	83.1	1.34	2.37
S-28	11.5	0.74	18.9	0.94	606.5	0.73	0.056

Contenido de Cr, Co, Se, As, Sb y Th en mg kg⁻¹; Fe en %

Muestra	U	Br	Hf	Zr	Hg	Mn
S-1	2.68	66	0.071	15	59.96	31
S-2	2.51	52	0.15	50	41.71	62
S-3	2.23	72	0.9	30	32.44	103
S-4	1.2	60	0.34	17	24.62	96
S-5	3.08	73	0.14	10	18.99	62
S-6	1.84	82	2.09	40	21.65	80
S-7	5.22	60	0.14	48	14.75	70
S-8	2.8	56	0.15	55	9.79	53
S-9	3.16	55	0.53	38	7.00	110
S-10	3.12	80	0.19	50	14.20	43
S-11	4.59	60	0.086	50	6.40	58
S-12	1.46	63	0.078	20	22.24	70
S-13	0.5	69	0.6	45	13.79	49
S-14	1.28	62	0.18	24	27.92	53
S-15	3.4	48	0.2	20	12.18	59
S-16	2.48	32	0.47	10	8.18	114
S-17	3.75	48	0.45	45	9.58	49
S-18	4.7	33	0.15	23	12.62	44
S-19	3	43	0.071	30	7.38	125
S-20	1.57	51	0.53	38	14.79	102
S-21	3.71	55		25	23.26	106
S-22	1.26	56	0.49	35	24.36	198
S-23	0.82	125	0.15	18	233.0	255
S-24	2.53	151	0.54		120	206
S-25	7.48	57	3.44	350	7682	460
S-26	2.26	144	3.01	5	549	9120
S-27	16.3	235	0.24		25155	2500
S-28	4.65	64	0.12	15	60.30	10,35%

Contenido de U, Br, Hf, Zr, Mn en mg kg⁻¹; Hg en µg kg⁻¹

								Tamaño
Muestra	Cu	As	Zn	Ni	Pb	Corg	CaCO ₃	de grano
S-1	2.1	0.74	5.2	3.7	1.4	0.36	92.3	1.7
S-2	3	1.57	8.5	10	0.5	0.18	74.6	1.9
S-3	4.6	3.48	12.9	11.7	0.5	0.78	67.2	2.4
S-4	4.9	4.07	12.8	9.7	0.5	0.40	70.1	3.0
S-5	3.1	1.19	7.7	7.9	0.5	0.42	83.0	2.1
S-6	5.5	2.36	12.1	8.2	0.5	0.40	74.3	3.1
S-7	2.8	2.44	7.9	6.2	1.1	0.28	73.7	3.0
S-8	3.8	1.00	6.7	6.3	0.8	0.51	75.9	2.4
S-9	4.4	2.60	11.9	10.4	1.6	0.06	71.0	2.4
S-10	3.5	0.47	4.6	5.5	0.8	1.12	82.7	1.9
S-11	1.3	0.85	4.5	6	0.7	0.02	93.3	1.4
S-12	2.4	0.55	7	6.7	0.7	0.67	76.0	1.9
S-13	2	0.75	4	7.6	0.4	0.46	86.2	2.0
S-14	1.5	0.66	2.4	4.2	2.4	0.79	87.3	1.8
S-15	2	0.68	3.2	4.5	0.9	0.38	94.3	1.9
S-16	4	0.98	12.2	10.6	0.6	0.01	70.0	2.2
S-17	1.5	0.51	4.4	6	1	3.98	80.1	2.2
S-18	1.1	0.76	1.8	4	0.7	0.84	92.7	1.7
S-19	2.6	0.67	7.7	5.3	1	0.10	86.9	1.7
S-20	1.9	0.70	4.7	3.9	1	0.79	90.8	1.3
S-21	2.8	1.03	4.8	4.6	1.1	0.02	88.9	3.0
S-22	2.7	0.71	6.7	3.8	1.8	1.44	76.7	2.5
S-23	7.2	2.67	17	7.6	2.1	0.43	76.5	2.6
S-24	5.6	2.60	12.6	6.7	0.8	2.26	67.5	3.1
S-25	19.9	13.39	59.7	20.3	3.8	2.205	4.91	1.9
S-26	20.5	96.4	67.7	18.8	10.1	2.035	5.30	2.0
S-27	23	111	53.7	16.7	4.6	0.25	85.17	1.8
S-28	5.2	637	21.8	7.5	1.5			

Contenidos de Cu, As, Zn, Ni, Pb en mg kg⁻¹; C_{org}, CaCO₃ en %; tamaño de grano en phi

Contenidos de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu en mg kg⁻¹

	00		$\mathcal{L}a, \mathcal{O}c, \mathcal{M}$	u, Om, Eu,	10, 10 y Eu			
Muestra	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
S-1	2.66	4.98	2.17	0.53	0.1	0.071	0.26	0.04
S-2	2.3	4.99	2.88	0.82	0.075	0.12	0.17	0.03
S-3	4.65	9.9	4.72	1.21	0.36	0.14	0.13	0.02
S-4	3.68	8.08	4.08	1.15	0.29	0.17	0.28	0.04
S-5	2.73	5.58	2.75	0.72	0.087	0.12	0.26	0.04
S-6	3.86	8.0	3.71	0.98	0.13	0.15	0.26	0.04
S-7	2.95	5.26	2.25	0.57	0.085	0.077	0.1	0.02
S-8	3.83	7.9	3.58	0.92	0.1	0.13	0.19	0.03
S-9	3.21	6.38	2.98	0.77	0.32	0.11	0.19	0.03
S-10	1.86	4.38	3.0	0.92	0.074	0.15	0.3	0.05
S-11	0.48	1.11	0.7	0.22	0.073	0.046	0.14	0.02
S-12	3.34	6.08	2.25	0.51	0.071	0.11	0.32	0.05
S-13	2.1	3.48	1.17	0.26	0.058	0.059	0.2	0.04
S-14	0.65	1.52	0.97	0.31	0.008	0.059	0.14	0.02
S-15	0.79	1.68	0.89	0.25	0.008	0.06	0.22	0.04
S-16	2.64	6.5	4.8	1.57	0.5	0.21	0.32	0.05
S-17	3.49	5.9	1.71	0.36	0.038	0.055	0.11	0.02
S-18	1.16	1.74	0.52	0.11	0.054	0.025	0.11	0.02
S-19	2.46	4.23	1.7	0.42	0.065	0.07	0.15	0.02
S-20	1.91	3.77	1.78	0.46	0.031	0.09	0.27	0.05
S-21	1.26	1.99	0.62	0.13	0.11	0.044	0.4	0.08
S-22	0.96	1.97	1.0	0.29	0.19	0.053	0.13	0.02
S-23	1.94	4.52	3.05	0.96	0.041	0.18	0.41	0.06
S-24	1.06	2.62	2.0	0.67	0.11	0.15	0.48	0.08
S-25	14.5	28.0	11.9	3.01	0.46	0.52	0.98	0.15
S-26	9.51	18.9	8.91	2.27	0.2	0.4	0.89	0.14
S-27	9.96	21.3	12.0	3.52	0.25	0.56	0.88	0.13
S-28	1.97	4.36	2.74	0.82	0.047	0.12	0.19	0.03

	Perdida	por						
Estación	ignición		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MnO	TiO ₂
S-1	42.7		1.07	3.34	0.54	0.09	0.007	0.12
S-2	36.89		2.48	7.3	1.07	0.17	0.013	0.16
S-3	33.74		3.41	10.38	1.48	0.18	0.017	0.14
S-4	34.7		3.19	10.27	1.53	0.24	0.017	0.24
S-5	41.97		1.15	3.87	0.51	0.11	0.009	0.08
S-6	37.16		3.02	9.65	1.31	0.29	0.015	0.20
S-7	36.75		2.53	8.44	1.19	0.21	0.013	0.15
S-8	39.26		1.7	5.41	0.8	0.16	0.010	0.09
S-9	33.87		3.36	10.09	1.46	0.19	0.017	0.17
S-10	42.55		1.16	3.5	0.55	0.13	0.007	0.06
S-11	44.28		0.69	2.02	0.26	0.07	0.004	0.03
S-12	39.06		1.86	5.31	0.83	0.13	0.012	0.14
S-13	42.77		0.8	3.04	0.39	0.10	0.009	0.04
S-14	44.28		0.52	1.66	0.22	0.07	0.009	0.03
S-15	43.99		0.86	2.47	0.36	0.07	0.012	0.06
S-16	34.85		3.32	10.41	1.47	0.20	0.020	0.17
S-17	40.44		1.5	4.61	0.54	0.14	0.010	0.08
S-18	44.05		0.54	1.68	0.21	0.04	0.005	0.03
S-19	39.94		1.8	5.56	0.6	0.14	0.024	0.08
S-20	42.84		0.89	3.08	0.38	0.10	0.023	0.05
S-21	42.22		1.19	4.09	0.54	0.11	0.024	0.07
S-22	41.62		1.27	4.84	0.58	0.13	0.047	0.08
S-23	39.73		2.64	12.33	1.21	0.29	0.044	0.16
S-24	39.5		2.41	9.97	1	0.36	0.039	0.20
S-25	9.87		10.61	56.14	4.33	1.38	0.083	0.48
S-26	16.88		7.57	53.3	3.05	0.83	1.210	0.35
S-27	32.65		6.62	39.21	2.76	1.02	0.410	0.35
S-28	15.93		1.59	52.85	0.77	0.29	15.10	0.11

Componentes mayores en los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac (%)

Muestra	CaO	MgO	Na₂O	P_2O_5	S	CI
S-1	46.52	2.45	1.48	0.17	0.3	1.0
S-2	47.76	1.23	1.55	0.14	0.2	0.6
S-3	44.52	1.61	2.36	0.18	0.3	1.2
S-4	43.87	1.65	1.96	0.23	0.3	0.9
S-5	46.60	1.79	1.88	0.16	0.3	1.1
S-6	42.65	1.66	2.14	0.22	0.3	1.2
S-7	46.21	1.53	1.59	0.2	0.3	0.8
S-8	47.48	1.41	1.76	0.14	0.2	1.0
S-9	45.72	1.60	1.87	0.15	0.3	0.7
S-10	45.39	2.66	1.99	0.16	0.3	1.2
S-11	47.05	2.73	1.39	0.11	0.2	0.9
S-12	46.76	1.95	1.98	0.16	0.2	1.0
S-13	46.23	2.42	1.89	0.14	0.3	1.3
S-14	48.52	2.10	1.14	0.12	0.2	0.7
S-15	48.14	1.92	1.15	0.05	0.2	0.7
S-16	43.55	2.06	2.16	0.13	0.2	1.0
S-17	47.26	1.67	1.58	0.09	0.2	0.9
S-18	49.89	1.64	0.81	0.09	0.2	0.4
S-19	46.91	2.15	1.53	0.13	0.2	0.7
S-20	47.32	2.64	1.29	0.13	0.2	0.8
S-21	46.45	2.38	1.4	0.15	0.2	0.8

Componentes mayores en los sedimentos superficiales de la Ensenada de Santispac (%)

Muestra	AI	Li	Са	Cd	V	Mn	Fe
X-1	6.88	11.9	20.7	0.2	53	247	2.19
X-2	3.72	11.1	23.2	1.7	42	232	1.85
X-3	2.61	11.8	26.3	1.9	36	183	1.68
X-4	1.75	9.3	31	1.4	19	130	1.13
X-5	0.91	6	36.9	0.2	6	66	0.49
X-6	1.36	6.8	36.3	0.1	19	89	0.63
X-7	3.51	9.5	29.4	0.2	29	183	1.19
X-8	1.29	7.5	32.8	0.2	13	83	0.67
X-9	0.22	4.1	34.5	0.2	8	31	0.27
X-10	1.81	9.2	30.5	0.8	22	124	1.12
X-11	3.81	11.5	25.4	0.7	38	227	1.63
X-12	1.49	6.2	29.7	0.4	17	140	0.88
X-13	3.45	11.5	24.2	1.5	38	205	1.63
X-14	2.56	11.1	29.9	0.7	32	160	1.44
X-15	1.85	8.9	31.8	0.3	23	123	0.94
X-16	2.04	11.5	32.3	0.9	28	140	1.12
X-17	3.48	14.8	25.2	2.4	39	202	1.79
X-18	1.73	9.8	31.7	1.1	24	119	1.07
X-19	2.19	9.3	31.5	1	30	149	1.21
X-20	0.23	4.2	36	0.5	7	79	0.22
X-21	7.93	19	7.83	0.2	92	532	4.11
X-22	4.9	18	19.2	2	60	305	2.55
X-23	4.43	17.9	24.2	1.4	58	325	2.37
X-24	2.06	11.2	31.3	1.3	31	149	1.3
X-25	9.41	20.4	5.66	0.1	100	508	4.93
X-26	2.2	9.2	31.5	0.4	30	148	1.07
X-27	2.21	11	30.1	1.2	25	136	1.26
X-28	1.9	8.8	29.5	0.8	25	113	1.11
X-29	1.89	10.3	31.7	1.6	26	123	1.12
X-30	1.34	8.4	31.3	0.6	20	86	0.69
X-31	0.76	5.8	32.1	0.2	10	54	0.41
X-32	0.31	5.2	34.2	0.3	9	39	0.35
X-33	2.88	13.2	24.6	2.2	34	177	1.64
X-34	1.26	7.1	29.9	1.2	20	90	0.82
X-35	0.45	5.6	36.9	0.3	12	50	0.46
X-36	1.17	6.9	31	0.8	18	88	0.75
X-37	0.64	3.7	28.2	0.3	12	78	0.35
X-38	2.05	7.8	28	0.9	21	117	0.99
X-39	0.3	3.2	34.9	0.2	9	36	0.25

 b) Sedimentos superficiales de la Ensenada de Mapachitos Contenidos de Li, Cd, Mn en mg kg⁻¹; Al, C_{org}, Ca en (%)

Muestra	AI	Li	Ca	Cd	V	Mn	Fe
X-40	4.25	18.2	16.1	3.1	52	239	2.31
X-41	2.27	10.8	27.2	2	31	144	1.3
X-42	0.13	3.4	38.4	0.2	4	28	0.19
X-43	0.7	7.1	34	0.6	14	77	0.58
X-44	4.88	20.5	11.7	3.7	58	268	2.61
X-45	0.12	3.9	38.5	0.3	4	24	0.18
X-46	0.1	3.3	37.5	0.3	7	25	0.18
X-47	1.99	7.5	31.5	1.9	27	117	1.07
X-48	5.34	15.6	18.8	4.1	58	277	2.39
X-49	1.35	5.2	33.8	0.5	16	127	0.72
X-51	11	15.2	5.94	0.01	122	480	5.87

Contenidos de Ni, Cs, Co, Zn, Rb, Mo, Ba en mg kg⁻¹

Muestra	Ni	Cs	Со	Zn	Rb	Мо	Ва
X-1	23.8	1.56	6.9	27.6	13.1	1.1	354
X-2	26.3	1.05	5.8	27.1	11.6	5	210
X-3	25	1.03	4.8	67.2	11.2	6.1	168
X-4	18.1	0.69	3.1	16.6	6.7	4.8	103
X-5	10.8	0.24	1.5	11.4	2.4	0.8	63
X-6	12.3	0.21	2	19.5	2.7	0.6	78
X-7	15.4	0.36	4.2	15.4	6	0.5	174
X-8	13.7	0.33	2.1	10.5	3.8	1	84
X-9	9.6	0.15	0.8	5.9	1.1	0.6	19
X-10	17.9	0.53	3.7	16.9	6.8	2.2	120
X-11	21.1	0.9	5	23.3	8.6	1.9	208
X-12	14.4	0.32	2.9	11.6	4.7	0.7	119
X-13	23.5	0.84	5.2	25.1	10.1	3.9	193
X-14	21.2	0.6	4.9	30.2	9.3	2.7	167
X-15	14.8	0.35	2.9	14	4.5	1	113
X-16	17.7	0.58	3.3	17.9	6.5	2.7	118
X-17	25.9	1.12	5.4	28.2	12.6	5.6	192
X-18	18	0.64	3.3	18.3	7.2	2.3	110
X-19	18.8	0.57	3.7	17.6	6.7	2.9	130
X-20	8.9	0.13	0.9	4	0.9	0.4	22
X-21	48.5	1.32	16.7	64.4	27.5	0.7	609
X-22	33.6	1.27	8.5	36.8	16.6	5.5	304
X-23	29.3	0.86	8.1	39.6	11.6	3.8	267
X-24	19	0.67	3.9	19.4	7.4	3.5	133
X-25	27.6	17.2	12.9	47.9	37.7	0.4	759
X-26	17.3	0.56	3.5	15.9	6	1.4	133

Muestra	Ni	Cs	Со	Zn	Rb	Мо	Ва
X-27	20.1	0.72	3.9	19.4	8.7	3.7	132
X-28	18.2	0.59	3.6	16.3	7.7	2.5	127
X-29	19	0.71	3.1	17.8	7.5	5	103
X-30	13.7	0.36	2.1	12.2	3.6	1.7	74
X-31	12.3	0.23	1.3	8	2	0.3	58
X-32	12.3	0.23	1	7.8	1.5	0.8	25
X-33	25.3	1.11	4.7	26.9	12.1	5.6	187
X-34	16.1	0.49	2.3	13.1	5.3	3	80
X-35	13.5	0.23	1.3	7.2	2.1	0.8	32
X-36	15.5	0.45	2.2	12.4	4.6	2.4	75
X-37	10	0.19	1.1	5.2	2.2	0.2	60
X-38	17.8	0.56	3.1	15.6	5.8	2.7	124
X-39	11.6	0.16	0.8	3.6	1.3	0.7	24
X-40	33.2	1.78	6.8	39.1	18.4	8.2	257
X-41	21.9	0.98	3.8	22.1	9.6	5.5	137
X-42	11.2	0.13	0.6	6.8	0.6	0.3	20
X-43	14.6	0.32	1.7	19.1	2.8	1.6	39
X-44	37.5	2.1	7.6	48.4	22.4	11.8	256
X-45	10.5	0.13	0.6	3.5	0.8	0.9	11
X-46	10.8	0.12	0.5	3.4	0.6	0.6	12
X-47	18.9	0.65	3.1	17.4	6.2	3	110
X-48	33.2	1.48	7.3	40.1	17	7.5	284
X-49	14.6	0.46	2.1	9.9	4.1	0.5	99
X-51	63	6.56	18.4	64.7	43.1	0.3	1350

Contenidos de Hg en µg kg⁻¹; Cu, U, Ti y As en mg kg⁻¹; CaCO₃ y C_{org} en %

Muestra	Cu	U	Ti	Hg	As	CaCO₃	Corg	Tamaño de grano (phi)
X-1	13.8	1.5	0.19	430.8	5.44	0.65	11.3	2.04
X-2	16.4	2.6	0.16	147.7	7.07	1.68	14.7	2.91
X-3	17.6	2.4	0.14	89.7	5.24	1.96	10.9	2.56
X-4	12.3	2	0.08	54.8	4.72	1.46	9.8	2.16
X-5	4.8	0.9	0.03	56.5	1.63	0.79	3.4	1.59
X-6	4.3	0.7	0.04	21.7	1.47	0.56	3.1	1.89
X-7	6.6	0.9	0.10	20.7	2.75	0.22	5.7	1.83
X-8	4.6	1	0.05	23.7	1.99	0.34	4.1	2.17
X-9	1.9	0.6	0.01	16.5	1.23	0.46	2.6	1.81
X-10	9.1	1.4	0.09	48.0	3.04	1.58	6.3	3.03
X-11	10.3	2.6	0.13	116.8	5.63	1.05	11.7	2.21
X-12	5.3	1.1	0.08	33.2	4.18	0.99	8.7	2.36

								Tamaño
Maraatua	0		T :	11	•	0-00	•	de grano
wuestra	Cu	U	11	нg			Corg	(pni)
X-13	13.1	2.3	0.14	46.7	5.02	1.83	10.5	2.77
X-14	16.2	1.8	0.11	22.2	9.22	1.2	19.2	2.32
X-15	5.1	1.1	0.07	14.7	2.89	0.5	6.0	1.74
X-16	8.7	2.1	0.09	16.8	4.05	1.1	8.4	2.04
X-17	16.2	3.4	0.16	29.7	7.25	2.23	15.1	2.70
X-18	9.6	1.8	0.08	26.5	3.35	1.56	7.0	2.39
X-19	8.9	2	0.10	28.7	3.83	1.37	8.0	2.81
X-20	1.6	1	0.01	12.3	2.44	0.54	5.1	1.25
X-21	34.2	1.2	0.38	71.8	2.16	1.89	4.5	4.11
X-22	21	2.7	0.24	63.0	5.99	2.03	12.5	3.43
X-23	14.9	3.2	0.22	37.0	6.39	1.4	13.3	2.97
X-24	11.1	2.4	0.10	34.8	3.82	1.3	8.0	2.51
X-25	18.1	1	0.45	895.8	155.04	0.07	323.0	2.50
X-26	6.4	1.5	0.09	60.5	2.64	0.45	5.5	2.5
X-27	11.8	1.9	0.10	8.0	3.58	1.5	7.5	2.24
X-28	9.4	1.4	0.09	38.7	2.81	1.27	5.9	2.03
X-29	10.5	2.1	0.09	40.5	3.91	1.41	8.1	2.69
X-30	5	1.8	0.05	33.0	1.89	0.38	3.9	1.71
X-31	2.9	0.9	0.03	23.2	0.89	0.05	1.9	1.51
X-32	2.5	1	0.02	27.6	2.29	0.3	4.8	1.54
X-33	14.9	2.5	0.15	62.7	5.50	2.03	11.5	2.92
X-34	7.4	1.4	0.06	39.7	3.14	1.27	6.5	2.42
X-35	4.2	0.7	0.02	26.5	1.57	0.22	3.3	1.81
X-36	6.5	1.5	0.05	42.8	2.72	0.9	5.7	1.99
X-37	1.9	1.2	0.03	23.2	1.50	0.22	3.1	1.59
X-38	7.1	1.9	0.08	54.3	3.03	0.8	6.3	2.13
X-39	2	0.4	0.01	25.2	0.85	0.26	1.8	2.00
X-40	24.3	3.3	0.22	62.8	8.34	3.02	17.4	3.77
X-41	12.9	3.3	0.11	40.2	4.82	2.18	10.0	1.96
X-42	1.5	0.7	0.01	25.0	0.91	0.09	1.9	1.21
X-43	6.2	1.5	0.03	30.7	1.68	0.56	3.5	1.68
X-44	29	3.6	0.24	85.3	8.27	3.3	17.2	1.68
X-45	1.9	0.5	0.01	27.2	0.95	0.05	2.0	3.35
X-46	1.4	0.6	0.00	27.5	0.91	0.2	1.9	3.35
X-47	10.1	1.8	0.08	53.3	3.72	1.42	7.8	1.98
X-48	23.8	3.7	0.21	127.2	6.61	2.38	13.8	3.20
X-49	4.9	1.4	0.05	51.2	2.04	0.32	4.3	1.93
X-51	54.3	1.8	0.33	143062	207.4	0.06	432	2.50

c) Sedimentos superficiales del Remate

Muestra	Li	Mg	AI	К	Ca	Cd	V		
P-1	11.9	2.18	5.98	1.1	11.7	2.1	63		
P-2	10.1	1.68	3.85	0.81	20.5	1.5	49		
P-3	10.1	1.43	4.44	0.82	19.7	0.9	56		
P-4	7.1	1.05	2.44	0.48	24.5	0.7	34		
P-5	12.7	2.16	6.36	0.99	15.9	0.2	86		
P-6	11.2	1.6	4.12	0.69	21.6	0.4	58		
P-7	9.4	1.4	2.59	0.46	25.8	0.3	41		
P-8	12.4	2.19	8.9	1.58	4.81	0.1	101		
P-9	9.1	1.99	4.04	0.73	22.5	0.2	64		
P-10	11	2.31	5.48	0.94	18.4	0.2	86		
P-11	11	1.52	3.59	0.63	21.5	0.4	42		
P-12	10.6	1.84	4.66	0.81	18.9	0.2	61		
P-13	8.9	1.48	3.05	0.5	25.3	0.2	31		
P-14	10	1.35	2.92	0.47	24.8	0.2	29		
P-15	13.2	1.96	5.42	0.9	18.2	0.2	53		
P-16	12.4	2.07	5.38	0.92	18	0.2	64		
P-17	12.5	2.27	7.31	1.29	10.6	0.1	77		
P-18	12.1	2.27	9.53	1.67	4.87	0.1	66		
P-19	14.2	2.67	8.33	1.48	8.43	0.1	105		
P-20	4.5	2.11	0.75	0.15	34.2	0.3	7		
P-21	13.6	2.63	8.86	1.47	5.26	0.1	98		

Contenidos de Li, Mg, Cd y V en mg kg⁻¹; Mg, Al, K, Ca, en (%)

Contoniao		•••••		ng ng , i o				
Muestra	Cr	Mn	Fe	Hf	Ni	Er	Ве	
P-1	122	341	2.9	2.2	55.3	1	0.7	
P-2	88.6	251	2.09	1.2	44.8	0.7	0.5	
P-3	83.2	259	2.28	1.4	48	0.8	0.6	
P-4	61	175	1.4	1.4	32.2	0.5	0.4	
P-5	162	389	3.38	1.4	79.6	1.4	0.9	
P-6	101	261	2.33	1.1	55.4	1	0.6	
P-7	67	208	1.7	0.8	40.8	0.7	0.5	
P-8	93.8	674	4.28	3	84.3	1.7	1.3	
P-9	76.6	270	2.27	1.1	52.5	0.9	0.6	
P-10	117	359	3.27	1.7	79.2	1.2	0.7	
P-11	80.7	237	1.98	1	46.8	0.9	0.5	
P-12	146	313	2.75	2.1	61.9	1.1	0.8	
P-13	84.2	229	2.11	0.7	41	0.9	0.6	
P-14	81.8	213	1.68	0.9	39.7	0.8	0.6	
P-15	105	316	2.98	1.3	67	1.3	1	
P-16	96.5	339	3.05	1.5	69.1	1.4	1	
P-17	83.4	432	3.82	2.3	81.1	1.5	1	
P-18	81.6	645	4.28	1	80.8	1.7	1.2	
P-19	131	475	4.3	2.5	94.7	1.5	1.1	
P-20	28.7	107	0.78	0.1	19.9	0.4	0.2	
P-21	190	452	4.58	2.8	107	1.4	1.2	

Contenidos de Cr, Mn, Hf, Ni, Er y Be en mg kg⁻¹; Fe en %

Muestra	Ho	<u>, 00, 20, 00, 1</u> Cs	Co	Eu	Se	Zn	As	
P-1	0.4	1.08	9.9	0.81	1.1	43	6.2	
P-2	0.3	0.69	7.8	0.61	1	44	8.1	
P-3	0.3	0.86	8.5	0.67	0.9	32.2	6.1	
P-4	0.2	0.45	5.4	0.42	0.5	18.8	5.4	
P-5	0.5	0.48	15.6	1.09	0.3	45.6	4.9	
P-6	0.4	0.54	10.2	0.75	0.6	33	3	
P-7	0.3	0.35	6.9	0.54	0.5	23.9	1.3	
P-8	0.6	0.62	19.6	1.47	0.1	62.1	3.2	
P-9	0.4	0.29	9.5	0.71	0.6	25.9	7.3	
P-10	0.4	0.41	14.3	0.91	0.5	37.8	2.6	
P-11	0.3	0.48	8.6	0.66	0.4	33.1	5.9	
P-12	0.4	0.37	11.7	0.83	0.6	36.6	0.1	
P-13	0.3	0.27	8.3	0.65	0.1	27.2	11.4	
P-14	0.3	0.35	6.8	0.63	0.3	29.1	2.5	
P-15	0.5	0.52	13.1	0.99	0.4	47.7	3.5	
P-16	0.5	0.43	13.8	1.09	0.3	41.6	0.3	
P-17	0.5	0.48	16.3	1.24	0.3	55.7	0.3	
P-18	0.6	0.6	19.1	1.44	0.2	74.6	0.1	
P-19	0.6	0.52	18.9	1.24	0.6	61	2.1	
P-20	0.1	0.14	2.4	0.22	0.4	10.9	3.1	
P-21	0.5	0.72	20.7	1.22	0.2	63	0.1	

Contenidos de Ho, Cs, Eu, Se, Zn y As en mg kg⁻¹

Muestra	Rb	Y	Nb	Te	Ва	La	Ce
P-1	21.1	11.4	5.4	0.5	455	12	24.8
P-2	14.2	8.5	3.8	0.4	316	10.6	23.5
P-3	16.5	8.9	4.3	0.4	349	11	23.3
P-4	9	5.6	2.9	0.4	200	7.8	17.9
P-5	18.1	15.2	1.5	0.5	568	16.8	38.1
P-6	13.3	10.5	2.7	0.5	360	12.8	30.2
P-7	8.4	8.2	2.4	0.6	227	9.1	22.2
P-8	28.6	18.7	3.1	0.4	924	23.2	45.2
P-9	12	10.8	2.7	0.8	378	11.4	24.8
P-10	15.4	12.6	2.9	0.6	498	14.7	31.1
P-11	12.4	10	3.8	0.6	301	11.6	27.8
P-12	13.2	11.8	5.1	0.6	419	13.3	30.3
P-13	8.9	9.9	3.4	0.7	275	10.8	25.4
P-14	9.1	9.1	2.5	0.7	268	10.8	26
P-15	16.9	13.8	0.9	0.5	497	15.7	35.7
P-16	15.5	16.3	2.4	0.6	470	17	37.6
P-17	21.3	15.4	1.6	0.6	708	19.3	38.3
P-18	29.1	18.1	0.4	0.4	914	23.8	45.7
P-19	24.7	17.1	3.3	0.5	751	20.1	40.6
P-20	2.8	5.1	0.9	1.1	70	4	9.5
P-21	24.6	15.6	6.1	0.5	706	18.1	37.6

Contenidos de Rb, Y, Nb, Te, Ba, La, Ce en mg kg⁻¹

Muestra	Pr	Nd	Sm	Gd	Tb	Dy	Cu
P-1	3.2	13.2	2.7	2.5	0.3	1.8	32
P-2	2.8	11.3	2.2	1.9	0.3	1.4	21.1
P-3	2.9	11.8	2.3	2	0.3	1.5	23.1
P-4	2.1	8.4	1.5	1.3	0.2	1	14.1
P-5	4.6	18.6	3.7	3.3	0.5	2.6	28.4
P-6	3.4	14	2.7	2.4	0.3	1.8	20.7
P-7	2.5	9.8	1.9	1.8	0.2	1.3	13.5
P-8	6.4	25.9	5.2	4.4	0.6	3.2	41.2
P-9	3	12.4	2.4	2.2	0.3	1.8	16.4
P-10	3.8	15.6	3.2	2.9	0.4	2.2	25
P-11	3.1	12.7	2.4	2	0.3	1.6	19
P-12	3.6	14.4	2.9	2.6	0.4	2.1	20.3
P-13	2.9	11.9	2.3	2.1	0.3	1.6	13.1
P-14	3	12.1	2.3	2	0.3	1.5	13.7
P-15	4.3	17.4	3.5	3	0.4	2.4	25
P-16	4.6	18.6	3.8	3.5	0.5	2.8	22.8
P-17	5.3	21.3	4.3	3.8	0.5	2.8	29.4
P-18	6.5	25.8	5.1	4.3	0.6	3.2	54.6
P-19	5.5	22	4.4	3.7	0.5	2.9	35.7
P-20	1	4.2	0.8	0.8	0.1	0.7	6.1
P-21	5	20.3	4.1	3.7	0.5	2.8	43.5

Contenidos de Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Cu en mg kg⁻¹

Muestra	Tm	Yb	Lu	Re	Pb	Sc	Ti
P-1	0.1	0.9	0.1	0.008	5.5	10	0.359
P-2	0.1	0.6	0.1	0.009	14.8	7	0.236
P-3	0.1	0.7	0.1	0.007	4.4	8	0.264
P-4	0.1	0.4	0.1	0.006	2.6	4	0.152
P-5	0.2	1.2	0.2	0.003	5.5	13	0.37
P-6	0.1	0.8	0.1	0.006	3.9	9	0.279
P-7	0.1	0.6	0.1	0.002	2.7	6	0.185
P-8	0.2	1.5	0.2	0.001	7.9	16	0.461
P-9	0.1	0.8	0.1	0.001	3.4	8	0.248
P-10	0.2	1	0.1	0.003	4.6	11	0.354
P-11	0.1	0.8	0.1	0.003	3.4	7	0.221
P-12	0.2	0.9	0.1	0.003	4.1	9	0.293
P-13	0.1	0.8	0.1	0.002	3.1	6	0.19
P-14	0.1	0.7	0.1	0.001	3.2	6	0.173
P-15	0.2	1.1	0.2	0.004	5.2	10	0.245
P-16	0.2	1.3	0.2	0.002	4.6	10	0.318
P-17	0.2	1.3	0.2	0.003	6.3	13	0.399
P-18	0.2	1.4	0.2	0.001	8.5	15	0.203
P-19	0.2	1.3	0.2	0.001	6.4	16	0.482
P-20	0.1	0.4	0.1	0.001	1.1	2	0.0536
P-21	0.2	1.3	0.2	0.001	7	16	0.508

Contenidos de Tm, Yb, Lu, Re, Pb, Sc en mg kg⁻¹; Ti en %

<u>P'''</u>							Tamaño
Estación	Th	U	Р	S	C _{org}	CaCO ₃	de grano
P-1	10.5	2.1	0.121	1.08	1.34	22.71	3.79
P-2	3.7	2.2	0.092	0.85	0.93	41.04	3.85
P-3	3.5	1.5	0.109	0.44	1.37	41.67	4.16
P-4	6.1	1.5	0.066	0.48	0.77	57.92	2.14
P-5	4.2	1.5	0.102	0.15	0.53	26.04	2.30
P-6	1.8	1.8	0.1	0.26	0.63	45.42	2.49
P-7	1.7	1.2	0.092	0.23	0.38	60.42	1.92
P-8	7.5	1	0.137	0.04	0.05	0.67	1.65
P-9	2.3	1.5	0.099	0.21	0.07	47.71	2.28
P-10	4	1.5	0.099	0.16	0.45	33.33	1.97
P-11	1.7	1.4	0.094	0.41	0.59	47.92	2.39
P-12	6.7	5.9	0.093	0.17	0.25	39.38	2.12
P-13	1	1.1	0.092	0.16	0.17	57.71	3.40
P-14	2.3	1.2	0.081	0.19	0.3	58.54	2.10
P-15	3	1.4	0.09	0.15	0.43	34.17	2.00
P-16	3.4	1.3	0.107	0.19	0.32	33.13	2.29
P-17	5.1	1.5	0.102	0.12	0.29	17.15	2.28
P-18	3.9	1	0.122	0.05	0.05	0.75	5.84
P-19	6	1.3	0.12	0.16	0.63	8.65	3.34
P-20	0.1	1.5	0.075	0.27	0.24	79.58	2.68
P-21	5.4	1.3	0.116	0.26	2.65	5.38	3.20

Contenidos de Th y U en mg kg-1; P, S, C_{org} , CaCO₃ en % y tamaño de grano en phi

d) Sedimentos superficiales adyacentes a la Península Concepción

			00					
Muestra	Li	Mg	AI	K	Ca	Cd	V	
X-62	19.3	1.6	5.34	1.08	17.2	0.5	49	
X-63	14.6	1.77	3.66	0.65	23.3	0.2	54	
X-64	10.3	1.86	2.48	0.47	27	0.3	24	
X-65	3.9	1.81	0.62	0.13	35.9	0.4	1	
X-66	7.9	2.02	1.74	0.3	32.6	0.4	11	
X-67	24.1	2	7.37	1.12	15.4	0.3	81	
X-68	27.5	2.22	8.33	1.26	11.5	0.3	81	
X-69	24.1	2.12	7.5	1.2	11.6	0.1	115	
X-70	16	1.52	4.23	0.57	25.3	0.2	72	
X-71	24.2	2.55	9.14	1.17	11.9	0.2	137	
X-72	23.5	2.53	9.72	1.14	9.53	0.1	102	
X-73	13.7	1.66	5.55	0.84	16.3	0.2	66	
X-74	14.5	1.24	6.51	1.55	11.3	0.3	64	
X-75	13.6	1.31	4.65	0.93	21.6	0.2	57	
X-76	14.5	1.69	5.03	0.71	21	0.3	48	
X-77	22.3	2.24	7.11	1.16	9.99	2	78	
X-78	25.4	2.41	8.23	1.36	11.8	1.9	88	
X-79	18	1.76	5.83	0.94	20.3	0.8	50	
X-80	15.1	1.76	3.81	0.59	25.8	0.2	57	
X-81	26.4	2.32	7.41	1.29	11.8	1.9	80	
X-82	22.9	2.01	6.35	1.13	13.8	1.9	50	
X-83	8.5	1.1	1.88	0.36	27.6	0.2	9	
X-84	17.6	1.55	4.69	0.86	17.9	1.1	45	
X-85	14.6	1.25	2.98	0.58	22	0.5	29	

Contenidos de Li, Cd y V en mg kg⁻¹; Mg, Al, Ca en %

001			N , EI, DC, I		, 10 011 /	0	
Muestra	Cr	Mn	Fe	Ni	Er	Be	Но
X-62	23.3	396	2.39	16.1	1	0.8	0.4
X-63	33.2	295	2.03	16.4	0.8	0.5	0.3
X-64	16.2	222	1.32	13.6	0.5	0.3	0.2
X-65	11.4	75	0.42	11.7	0.2	0.1	0.1
X-66	12.9	156	0.89	12.3	0.3	0.2	0.1
X-67	31.4	492	3.18	18.1	1	0.8	0.4
X-68	32.8	551	3.69	19.5	1.1	0.9	0.4
X-69	33.5	500	3.66	15.9	1.2	0.9	0.5
X-70	20.3	302	2.34	16.9	0.9	0.5	0.3
X-71	27	645	4.38	20.9	1.2	0.9	0.5
X-72	25.7	612	4.27	18.9	1.2	0.8	0.4
X-73	28.4	366	2.61	15.9	0.9	0.6	0.3
X-74	21.7	326	2.3	12.1	1.1	0.9	0.4
X-75	24.3	294	2.47	16.2	1	0.7	0.3
X-76	23.7	334	2.35	18	1	0.7	0.3
X-77	58.1	431	3.42	35.8	1.1	0.8	0.4
X-78	119	509	3.95	35.7	1.2	0.9	0.4
X-79	38.7	346	2.62	22.2	0.9	0.7	0.3
X-80	25.9	278	2.11	15.9	0.8	0.5	0.3
X-81	45.5	471	3.42	31.7	1.2	1	0.4
X-82	44.7	414	3.07	30.6	1	0.8	0.4
X-83	23.3	176	1.27	12.3	0.5	0.3	0.2
X-84	34	330	2.24	20.2	0.9	0.7	0.3
X-85	21.9	236	1.74	15.7	0.7	0.5	0.2

Contenidos de Cr, Mn, Ni, Er, Be, Ho en mg kg⁻¹; Fe en %

Muestra	Cs	Со	Eu	Se	Zn	As	Rb	_
X-62	2.1	7.9	0.67	0.3	45	12.1	29.9	
X-63	1.97	6.7	0.49	0.1	26.9	9.7	17.1	
X-64	1.28	4.5	0.33	0.1	19.3	8.2	12.1	
X-65	0.33	1.5	0.11	0.1	5.2	5.6	3	
X-66	1.08	3.1	0.22	0.2	12.2	9.2	7.2	
X-67	5.11	12	0.73	0.4	52.3	52.5	27.6	
X-68	5.8	13.2	0.83	0.6	55.6	59.1	28.4	
X-69	4.61	11.1	0.85	0.2	47	31.9	28	
X-70	3.13	8.1	0.55	0.2	29.6	23.2	13.4	
X-71	3.22	16.6	0.88	0.4	55.7	8.6	22.6	
X-72	2.65	15.7	0.89	0.1	56.5	7	21.9	
X-73	1.47	8.9	0.64	0.1	35.5	6.6	17	
X-74	1.49	7.7	0.78	0.3	34	1.9	44.3	
X-75	0.91	7.5	0.62	0.4	32.3	5.5	22.5	
X-76	1.56	8.5	0.63	0.2	34.8	7.7	14.6	
X-77	3.36	11.5	0.78	1	60.7	17.8	26.6	
X-78	4.18	13.3	0.84	1.1	65.1	26.5	29.2	
X-79	3.12	8.9	0.63	0.8	48.9	24.3	20.4	
X-80	2.14	6.7	0.52	0.2	25.1	32	13.3	
X-81	4.73	12.5	0.76	1	61.7	35.9	29.2	
X-82	3.4	10.4	0.68	1.1	52.5	27.5	26.5	
X-83	0.86	3.5	0.29	0.3	16.4	10.3	9.3	
X-84	2.23	7.3	0.61	0.6	41.7	16.5	23.3	
X-85	1.63	5.8	0.44	0.5	30.4	9.9	16.1	

1cm⁻¹ . . ~ ~ _ .

	V				<u>T</u> -	D -	
Muestra	Y	ND	Mo	Sb	le	Ва	La
X-62	10.5	3.4	1.1	0.8	0.6	450	11.1
X-63	9.1	2.6	0.4	0.9	0.8	303	7.5
X-64	6.1	1.7	0.8	0.7	1	202	4.9
X-65	2.8	0.6	0.2	0.2	1.5	58	1.9
X-66	4.3	1.3	0.4	0.4	1.3	131	3.4
X-67	11.3	3.1	1.1	1.5	0.6	456	10.9
X-68	12.9	3.1	1	1.5	1	518	11.5
X-69	13	1.7	0.4	1.2	0.5	545	11.1
X-70	9.9	1.6	1	0.8	0.7	277	7.4
X-71	13.6	4.1	0.6	0.6	0.6	513	10.8
X-72	13.2	0.9	0.5	0.1	0.5	528	10.6
X-73	9.4	3.6	0.5	0.4	0.8	350	9.2
X-74	13.9	0.6	0.4	0.1	0.5	573	14.2
X-75	10.6	0.4	0.4	0.2	0.5	393	11.1
X-76	10.5	0.2	0.6	0.2	0.7	325	9.6
X-77	12.1	4.7	4.2	0.6	0.5	411	11.7
X-78	13.1	8.8	3.4	0.6	0.6	443	12.4
X-79	9.5	3.3	2.2	0.7	0.6	347	9.3
X-80	9.1	2.1	0.3	0.9	0.8	264	7.3
X-81	12.4	4.1	3.7	0.9	0.5	417	12
X-82	11	4.1	3.6	0.6	0.6	372	10.9
X-83	5.6	1.1	0.2	0.6	1	159	5.1
X-84	9.9	1.8	2.3	0.6	0.7	352	10.6
X-85	7.3	1.8	1.1	0.6	0.8	265	7.9

Contenidos de Y, Nb, Mo, Sb, Te, Ba, La en mg kg⁻¹

	itenidos de	Ce, PI, Nu,	Sill, 10, Dy	/ en mg kg			
Muestra	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Tb	Dy
X-62	21.9	2.9	11.5	2.3	2.1	0.3	1.7
X-63	15.8	2	8.2	1.7	1.6	0.2	1.4
X-64	10.1	1.3	5.4	1.1	1.1	0.2	0.9
X-65	3.8	0.5	2	0.4	0.4	0.1	0.3
X-66	6.7	0.9	3.5	0.7	0.7	0.1	0.6
X-67	21.4	2.8	11.5	2.4	2.3	0.3	1.9
X-68	24	3.2	13	2.8	2.7	0.4	2.2
X-69	22.9	3.1	12.6	2.8	2.7	0.4	2.2
X-70	15.9	2.1	8.7	1.8	1.8	0.3	1.5
X-71	22.1	3	12.6	2.7	2.6	0.4	2.2
X-72	21.8	3	12.6	2.7	2.6	0.4	2.2
X-73	19.1	2.4	9.7	2.1	1.9	0.3	1.6
X-74	27.7	3.5	13.3	2.7	2.4	0.4	2.1
X-75	21.9	2.7	10.6	2.1	2	0.3	1.7
X-76	20.5	2.6	10.5	2.2	2	0.3	1.7
X-77	24.1	3.2	12.9	2.6	2.4	0.3	2
X-78	25	3.3	13.4	2.8	2.6	0.4	2.2
X-79	19	2.5	10	2.1	1.9	0.3	1.6
X-80	15.4	2	8.4	1.7	1.7	0.2	1.4
X-81	24.6	3.2	12.9	2.7	2.4	0.3	2.1
X-82	22	2.9	11.6	2.4	2.2	0.3	1.9
X-83	10.8	1.3	5.4	1.1	1	0.1	0.8
X-84	21.8	2.8	11.2	2.2	2	0.3	1.6
X-85	15.9	2	8	1.5	1.4	0.2	1.2

Contenidos de Ce, Pr, Nd, Sm, Tb, Dy en mg kg⁻¹

0	nomuos	uc ou, oc,	iiii, ib, Lu	, 100 y 100	ii ilig kg			
Muestra	Cu	Ge	Tm	Yb	Lu	Re	Pb	
X-62	18.8	0.4	0.1	0.9	0.1	0.006	6.6	
X-63	16	0.4	0.1	0.7	0.1	0.001	3.8	
X-64	11.6	0.4	0.1	0.5	0.1	0.001	2.7	
X-65	4.9	0.5	0.1	0.2	0.1	0.001	0.8	
X-66	8.2	0.5	0.1	0.3	0.1	0.001	1.5	
X-67	35.8	0.5	0.1	0.9	0.1	0.002	5.3	
X-68	91.3	0.6	0.2	1.1	0.2	0.002	6	
X-69	32.6	0.6	0.2	1.1	0.2	0.001	5.9	
X-70	22.3	0.4	0.1	0.8	0.1	0.001	3.1	
X-71	48.7	0.6	0.2	1.1	0.1	0.001	5.4	
X-72	41.9	0.7	0.2	1.1	0.1	0.001	5.6	
X-73	25.7	0.4	0.1	0.8	0.1	0.002	4.7	
X-74	19.9	0.5	0.2	1	0.1	0.001	7.1	
X-75	17.8	0.4	0.1	0.8	0.1	0.001	4.9	
X-76	21.5	0.4	0.1	0.8	0.1	0.003	4	
X-77	46.7	0.4	0.2	1	0.1	0.01	6.8	
X-78	45.1	0.4	0.2	1.1	0.1	0.009	6.6	
X-79	34.5	0.3	0.1	0.8	0.1	0.006	4.8	
X-80	18.5	0.3	0.1	0.7	0.1	0.003	3.2	
X-81	43.7	0.3	0.2	1	0.1	0.007	6.8	
X-82	34.3	0.3	0.1	0.9	0.1	0.008	6.1	
X-83	7.9	0.3	0.1	0.4	0.1	0.003	2.2	
X-84	22.4	0.4	0.1	0.8	0.1	0.009	5.5	
X-85	14.4	0.4	0.1	0.6	0.1	0.006	3.9	

Contenidos de Cu, Ge, Tm, Yb, Lu, Re y Pb en mg kg⁻¹

<u> </u>									Tamaño de
Muestra	Sc	Th	U	Ti	Р	S	Corg	CaCO₃	grano
X-62	7	2.1	2.2	0.25	0.11	0.32	0.33	33.13	2.46
X-63	5	2.7	1.5	0.18	0.09	0.16	0.05	50.00	1.80
X-64	3	0.7	1.9	0.11	0.07	0.21	0.17	64.38	2.16
X-65	1	0.1	2.5	0.03	0.05	0.22	0.06	81.67	1.50
X-66	2	0.2	2.4	0.07	0.06	0.22	0.05	72.29	1.67
X-67	9	2.9	1.6	0.29	0.09	0.32	0.45	24.79	3.07
X-68	10	3.8	1.6	0.34	0.11	0.3	0.26	17.21	3.05
X-69	11	3.4	1.4	0.36	0.11	0.12	0.05	19.06	2.11
X-70	7	1.4	1.4	0.21	0.08	0.2	0.05	52.29	1.66
X-71	13	3.8	1.1	0.40	0.09	0.14	0.09	16.58	1.93
X-72	12	3	1.1	0.29	0.09	0.14	0.1	12.42	2.22
X-73	8	5.1	1.5	0.26	0.10	0.2	0.16	34.38	2.18
X-74	7	3.2	2	0.14	0.16	0.1	0.22	17.79	2.63
X-75	6	2.8	1.7	0.18	0.10	0.15	0.26	43.54	1.69
X-76	8	1.8	1.9	0.17	0.09	0.28	0.3	42.71	2.48
X-77	11	2.7	2.4	0.37	0.12	1.13	1.62	17.90	3.90
X-78	11	5.5	2.2	0.40	0.13	1.13	1.49	17.56	3.84
X-79	7	2.1	2.6	0.24	0.09	0.48	0.74	36.46	3.51
X-80	5	0.8	1.5	0.17	0.08	0.22	0.11	52.92	1.71
X-81	10	1.6	2.3	0.34	0.12	0.99	1.54	19.63	3.92
X-82	8	5.4	2.5	0.29	0.12	0.91	1.68	24.79	3.76
X-83	2	0.2	1.4	0.09	0.07	0.21	0.4	64.38	1.76
X-84	7	1.2	2.6	0.22	0.10	0.53	0.97	37.50	3.34
X-85	5	0.8	2.3	0.18	0.08	0.31	0.63	49.17	2.68

Contenidos de Sc, Th, U en mg kg⁻¹; P, S, C_{org}, CaCO₃ en %; tamaño de grano en phi

Anexo 4. Contenido de elementos en los núcleos de sedimento

a) Núcleo de sedimento NT (Estación T1)

Contenido de Hg μ g kg⁻¹, Al, K, Ca, Fe, Ti, en mg kg⁻¹ y C_{org}, CaCO₃ en %.

Muestra	Hg	Al	Li	К	Ca	Cd	V	Cr	Mn	
NT-1	47	5.15	13.3	0.98	7.37	3.3	60	61	240	
NT-2	45	5.97	15.9	1.16	8.65	3.4	71	71.9	276	
NT-3	58	5.99	17.3	1.17	9.41	3.2	71	79	277	
NT-4	46	5.62	16.6	1.06	9.36	2.9	68	78.9	263	
NT-5	42	5.8	16.7	1.06	10.7	2.8	69	82.8	263	
NT-6	32	5.66	17.3	1.01	11.4	2.6	69	79.3	274	
NT-7	29	6.38	18.9	1.11	11.4	2.5	76	84.1	300	
NT-8	28	6.02	18.2	1.06	10.9	2.5	71	102	287	
NT-9	29	6.24	19.1	1.08	10.3	2.4	74	97.3	291	
NT-10	32	6.23	20.4	1.12	10.2	2.5	74	81.2	301	
NT-11	30	7.25	22.6	1.27	11.5	2.5	85	83	334	
NT-12	29	7.13	22.9	1.26	10.2	2.6	81	78	329	
NT-13	27	7.13	23.3	1.27	10.6	2.4	82	95.7	326	
NT-14	25	7.6	24.5	1.34	10.7	2.3	87	98.5	336	
NT-15	27	7.31	24.2	1.32	11	2.1	82	89.2	329	
NT-16	29	7.34	24.8	1.29	9.32	2	81	68.7	328	
NT-17	28	6.3	21.2	1.12	9.41	2.1	75	91.9	315	
NT-18	40	6.29	20.5	1.1	10.6	2.4	72	87.6	320	
NT-19	27	5.78	19.7	1.02	10.2	2.4	71	74.5	295	
NT-20	24	6.15	21	1.05	11.3	2.5	73	73.7	328	
NT-21	26	6.18	20.9	1.1	12.7	2.6	77	88.8	321	
NT-22	32	6.28	21.4	1.09	11.5	2.4	77	84.3	317	

Muestra	Fe	Hf	Ni	Er	Be	Но	Cs	Со	Eu
NT-1	2.49	1.9	40.8	0.9	0.5	0.3	1.68	8.8	0.69
NT-2	3.04	2.1	46.8	1	0.6	0.4	1.85	9.9	0.76
NT-3	3.08	2	47.5	1	0.6	0.3	1.82	10.3	0.72
NT-4	2.85	1.9	45	1	0.7	0.4	1.74	9.7	0.73
NT-5	2.87	2.1	45.9	1	0.7	0.4	1.79	9.8	0.77
NT-6	2.82	1.9	43.5	1	0.6	0.3	1.75	9.6	0.74
NT-7	3.08	2.1	47.8	1.1	0.8	0.4	1.91	10.7	0.82
NT-8	2.93	2.2	44.3	1	0.7	0.4	1.76	10.1	0.77
NT-9	3.11	2.1	46.2	1.1	0.7	0.4	1.86	10.3	0.83
NT-10	3.22	2.1	48.8	1.1	0.8	0.4	1.87	10.5	0.81
NT-11	3.55	2.5	53.2	1.2	0.9	0.4	2.01	11.5	0.9
NT-12	3.5	2.4	52.7	1.2	0.9	0.4	2.02	11.3	0.87
NT-13	3.47	2.4	53.8	1.2	0.9	0.4	2.05	11.5	0.9
NT-14	3.63	2.8	56.7	1.3	0.9	0.5	2.14	12	0.97
NT-15	3.56	2.5	56.9	1.2	0.9	0.5	2.13	12.1	0.9
NT-16	3.48	2.5	56.6	1.2	0.9	0.4	2.1	12.3	0.9
NT-17	3.2	2.5	52	1.2	0.8	0.4	2.03	11.2	0.82
NT-18	3.07	2.2	46.9	1.1	0.8	0.4	2.03	10.9	0.84
NT-19	2.94	2.2	43.9	1.1	0.7	0.4	2	10.1	0.8
NT-20	3.1	2.2	47.1	1.2	0.8	0.4	2.13	10.6	0.84
NT-21	3.12	2.3	48.5	1.1	0.7	0.4	2.14	10.8	0.86
NT-22	3.13	2.2	47.2	1.1	0.7	0.4	2.04	10.5	0.8

Contenido de Fe, Hf, Ni, Er, Be, Ho, Cs, Co, Eu (mg kg⁻¹)
Muestra	Se	Zn	As	Rb	Y	Sr	Zr	Nb	Мо
NT-1	1.9	53.6	9.6	19.9	8.9	689	74	3.9	11.3
NT-2	2.4	56.7	11	22.3	10.1	762	79	4.4	12.9
NT-3	2.2	57.5	10.6	21.6	9.9	777	78	4.4	12.1
NT-4	2.3	52.4	10.3	21	9.6	766	73	4.2	9.5
NT-5	1.9	53.4	10.7	20.9	9.9	850	78	4.3	9.3
NT-6	1.6	52.2	13.3	20.6	9.8	871	74	4.3	10.3
NT-7	1.7	55.9	14.2	22.7	10.7	928	82	4.6	10.6
NT-8	2.3	52.7	13.9	18	10.1	880	80	4.9	10.7
NT-9	1.9	53.8	15.6	21.5	10.3	843	80	4.3	12.6
NT-10	1.7	55.5	15.8	22.9	10.8	858	84	4.4	15.8
NT-11	1.7	61.6	17.9	24.6	11.3	875	90	4.6	14.5
NT-12	1.8	60.1	15.9	24.3	11.6	850	91	5	14.1
NT-13	1.8	61.1	15.3	24.6	11.2	862	90	5	14.2
NT-14	1.6	63.7	17.1	26.2	12.3	920	105	5.3	15.2
NT-15	1.6	63.5	16.9	26.2	11.8	858	96	5.1	14.5
NT-16	1.6	61.9	15.5	26.3	11.9	830	98	5.1	15.7
NT-17	1.6	58.4	18.3	20.4	10.8	805	93	5.1	14.3
NT-18	1.2	55.7	13.5	23	10.6	833	82	3.8	12.3
NT-19	1.3	54.8	13.4	21.5	10.1	823	81	3.9	13.1
NT-20	1.8	56.2	14.5	23.3	11	913	84	4.5	15.5
NT-21	1.6	57.9	17.1	23.5	10.9	950	86	4.5	16
NT-22	1.4	57.8	14.7	22.7	10.6	878	83	4.4	15.8

Contenido de Se, Zn, As, Rb, Y, Sr, Zr, Nb y Mo (mg kg⁻¹)

Muestra	Sb	Ва	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Tb
NT-1	0.3	272	11	22.3	2.8	11.3	2.3	2.2	0.3
NT-2	0.5	139	11.7	23.9	3	12.4	2.5	2.4	0.3
NT-3	0.3	145	11.5	23.3	3	12.1	2.4	2.2	0.3
NT-4	0.2	314	11.3	22.7	2.9	11.8	2.4	2.2	0.3
NT-5	0.3	196	11.8	24	3.1	12.5	2.5	2.4	0.3
NT-6	0.3	335	11.6	23.3	3	12.1	2.5	2.2	0.3
NT-7	0.4	168	12.7	26	3.3	13.7	2.7	2.5	0.3
NT-8	0.4	355	11.8	24	3.1	12.5	2.5	2.3	0.3
NT-9	0.5	221	12.3	25.3	3.3	13.3	2.7	2.5	0.3
NT-10	0.5	145	12.3	25.3	3.3	13.2	2.6	2.4	0.3
NT-11	0.5	120	13.5	27.9	3.6	14.9	3	2.8	0.4
NT-12	0.5	177	13.5	27.9	3.6	14.4	2.9	2.7	0.4
NT-13	0.5	247	13.7	28.3	3.6	14.8	3	2.8	0.4
NT-14	0.5	135	14.3	30	3.9	15.8	3.2	3	0.4
NT-15	0.6	142	14.3	29.8	3.8	15.4	3	2.8	0.4
NT-16	0.5	182	14	29.2	3.8	15.2	3.1	2.7	0.4
NT-17	0.5	372	13.1	27	3.5	14	2.9	2.6	0.4
NT-18	0.4	315	12.7	26.4	3.4	13.7	2.8	2.6	0.3
NT-19	0.4	176	12.3	25.4	3.2	13	2.6	2.4	0.3
NT-20	0.5	186	12.8	26.2	3.4	13.9	2.8	2.6	0.4
NT-21	0.4	169	12.9	26.3	3.4	13.9	2.8	2.6	0.3
NT-22	0.4	244	12.2	25.2	3.3	13.3	2.7	2.5	0.3

Contenido de Sb, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb (mg kg⁻¹)

Muestra	Dy	Cu	Tm	Yb	<u>U</u>	Та	W	Re	Pb
NT-1	1.7	37.4	0.1	0.8	0.1	0.3	0.4	0.014	7.1
NT-2	1.8	34.4	0.1	0.9	0.1	0.3	0.4	0.017	11.1
NT-3	1.8	35.6	0.1	0.9	0.1	0.3	0.4	0.018	6.6
NT-4	1.7	48.7	0.1	0.8	0.1	0.3	0.3	0.016	6.5
NT-5	1.9	31.6	0.1	0.9	0.1	0.3	0.3	0.027	6.4
NT-6	1.8	27.8	0.1	0.9	0.1	0.2	0.3	0.025	5.8
NT-7	2	30.5	0.2	1	0.1	0.3	0.3	0.029	6.2
NT-8	1.9	27	0.1	0.9	0.1	0.3	0.3	0.025	5.7
NT-9	2	28.5	0.2	0.9	0.1	0.2	0.3	0.032	6.1
NT-10	1.9	34.6	0.2	0.9	0.1	0.2	0.3	0.028	5.6
NT-11	2.2	30.8	0.2	1.1	0.2	0.3	0.3	0.029	6.4
NT-12	2.2	31.6	0.2	1.1	0.2	0.3	0.3	0.026	6.4
NT-13	2.2	31.8	0.2	1.1	0.2	0.3	0.3	0.023	6.5
NT-14	2.3	33.5	0.2	1.1	0.2	0.3	0.3	0.028	6.8
NT-15	2.3	35.6	0.2	1.1	0.2	0.3	0.3	0.02	6.8
NT-16	2.3	33.1	0.2	1	0.2	0.3	0.3	0.024	6.7
NT-17	2.1	30.7	0.2	1	0.2	0.3	0.5	0.022	6.4
NT-18	2.1	28.5	0.2	1	0.1	< 0.1	0.3	0.021	6.2
NT-19	2	28.8	0.2	1	0.1	0.2	0.3	0.024	5.9
NT-20	2	32.5	0.2	1	0.1	0.3	0.3	0.023	6.2
NT-21	2	30.2	0.2	1	0.1	0.3	0.4	0.024	6
NT-22	2	29.8	0.2	1	0.1	0.3	0.3	0.029	6.1

Contenido de Dy, Cu, Tm, Yb, Lu, Ta, W, Re, Pb (mg kg⁻¹)

Muestra	Sc	Th	U	Ti	P	S	C _{org}	CaCO ₃
NT-1	11	1.6	2.4	0.329	0.135	1.29	2.65	19.07
NT-2	11	1.7	2.6	0.336	0.135	1.39	2.6	18.93
NT-3	12	1.6	2.7	0.341	0.131	1.41	2.35	21.45
NT-4	11	1.6	2.7	0.335	0.127	1.36	2.32	21.84
NT-5	12	1.7	3.6	0.333	0.128	1.32	2.2	23.86
NT-6	11	1.5	6.3	0.33	0.128	1.25	2.02	25.45
NT-7	12	1.7	7.9	0.349	0.134	1.27	1.93	23.64
NT-8	11	1.7	7.5	0.338	0.129	1.18	1.96	23.86
NT-9	12	1.7	9.5	0.344	0.136	1.29	1.74	22.73
NT-10	13	1.6	8.8	0.369	0.141	1.36	1.76	21.98
NT-11	13	1.9	9.2	0.376	0.149	1.38	1.7	22.30
NT-12	13	2.1	8	0.388	0.142	1.39	1.73	21.16
NT-13	13	2	8.4	0.385	0.144	1.35	1.83	20.89
NT-14	14	2.1	9.3	0.399	0.141	1.38	1.67	20.25
NT-15	13	2	7.3	0.387	0.134	1.37	1.72	20.70
NT-16	13	2	7.4	0.384	0.132	1.36	1.62	18.66
NT-17	11	2	6.1	0.35	0.128	1.27	1.5	20.84
NT-18	12	2.1	4.5	0.35	0.13	1.22	1.64	23.41
NT-19	12	1.9	5.2	0.352	0.132	1.23	1.69	24.32
NT-20	12	1.8	6	0.341	0.132	1.19	1.78	24.77
NT-21	12	1.8	6.3	0.351	0.15	1.25	1.81	25.45
NT-22	12	1.8	7.1	0.351	0.131	1.29	1.7	25.68

Contenido de Sc, Th, U, TI en (mg kg⁻¹) y P, S, C_{ora} , CaCO₃ en %

b) Núcleo de sedimento NM (Estación S-27)

			4
Contenido de Al	Ma K Ca	on %·li V C	r v Mn on ma ka ⁻¹
Conteniuo de Ai,	ing, rt, Ca		y will cli iliy ky

Muestra	AI	Li	Mg	к	Ca	Cd	V	Cr	Mn
NM-1	5.13	36.9	2.16	1.04	3.56	3.9	58	21.4	3230
NM-2	6.37	42.1	2.29	1.2	3.68	3.4	68	25.9	3040
NM-3	7.07	42.5	2.04	1.3	3.64	1.8	63	29.4	1360
NM-4	7.66	48	2.13	1.48	3.18	1.4	68	33.5	727
NM-5	6.39	40.3	1.95	1.22	3.92	7.4	71	31.1	1650
NM-6	4.17	37.1	2.01	0.83	4.89	4.1	70	25.5	2070
NM-7	5.02	39.4	2.01	0.91	4.21	6.1	117	38.8	1510
NM-8	5.23	41.1	1.95	0.91	3.67	11.4	221	44.8	976
NM-9	3.59	33.1	1.46	0.72	5.47	24.4	280	26.1	770
NM-10	2.84	22	0.98	0.47	15.4	2.1	50	27.7	751
NM-11	3.65	22.6	1.04	0.55	11.7	1.8	43	37.5	496
NM-12	2.86	19.2	0.92	0.44	18.4	3.3	77	22.4	719
NM-13	3.42	21.6	1.07	0.51	16.2	1.7	47	26.8	584
NM-14	2.23	14.5	0.9	0.3	30.9	1.4	42	17.6	1580
NM-15	2.9	15	0.99	0.36	21.9	1.2	26	25.4	668
NM-16	2.16	13.8	0.81	0.26	23.8	1.3	19	17.1	577
NM-17	2.78	15	0.98	0.35	22.3	1.3	24	21.8	557
NM-18	2.59	15.4	0.92	0.32	21.2	1.2	24	24.2	532
NM-19	2.39	15.2	0.89	0.3	24.9	1.3	21	19.2	541
NM-20	1.69	11.9	0.67	0.22	24.8	1	15	13.3	462
NM-21	3.11	17.4	1.08	0.38	23.3	1.2	24	22	590
NM-22	1.8	12.7	0.73	0.2	27.7	1.1	15	14	582

Muestra	Fe	Hf	Ni	Er	Ве	Но	Ag	Cs	Co
NM-1	2.12	1.7	20.8	1	1.3	0.4	4.1	19	25.8
NM-2	2.48	2.2	25.8	1.2	1.3	0.4	2.9	25.2	23
NM-3	2.76	1.6	26.1	1.4	1.5	0.5	1.12	28.4	18.4
NM-4	3.01	3	29.7	1.6	1.7	0.5	0.83	31.3	20.7
NM-5	2.5	2.4	24.5	1.3	1.5	0.4	4.43	26.1	32.7
NM-6	1.67	0.7	18.4	1	1.1	0.3	3.41	22.1	28.7
NM-7	1.93	1.8	27.9	1.1	1.2	0.4	3.19	21.7	59
NM-8	2.12	2	35.5	1.1	1.2	0.4	3.14	18.8	102
NM-9	1.89	0.7	35.8	0.8	0.9	0.3	3.41	14.5	175
NM-10	1.3	1.3	20	0.6	0.6	0.2	1.1	9.69	42.7
NM-11	1.4	0.9	17.6	0.7	0.6	0.2	0.72	9.8	20.2
NM-12	1.17	0.8	17.3	0.6	0.5	0.2	0.81	8.32	31.3
NM-13	1.33	0.7	16.7	0.6	0.6	0.2	0.52	8.43	15.5
NM-14	0.82	0.6	14.2	0.4	0.4	0.1	0.29	4.79	8
NM-15	0.99	0.6	13.2	0.5	0.5	0.2	0.25	4.99	6.4
NM-16	0.77	0.5	11.6	0.4	0.3	0.1	0.25	4	3.6
NM-17	0.93	0.5	12.8	0.4	0.4	0.2	0.27	4.76	4.9
NM-18	0.87	0.6	12.7	0.4	0.4	0.2	0.25	4.67	7.9
NM-19	0.83	0.4	12.3	0.4	0.4	0.1	0.25	4.33	5.2
NM-20	0.61	0.5	10.4	0.3	0.3	0.1	0.19	3.22	2.9
NM-21	0.98	0.4	13.2	0.5	0.4	0.2	0.24	5.06	5
NM-22	0.62	0.2	11.3	0.3	0.2	0.1	0.25	3.04	3

Contenido de Fe en %; Hf, Ni, Er, Be, Ho, Ag, Cs, Co en mg kg⁻¹

) = =) =)	-) =)	- 3 3	/			
Muestra	Eu	Se	Zn	Ga	As	Rb	Y	Sr	Zr
NM-1	0.63	0.6	56	11.7	59.6	49.6	10	549	69
NM-2	0.73	0.4	62.1	14.5	70.4	63	11.6	574	89
NM-3	0.81	0.1	64.1	15.1	56	68.7	12.1	508	74
NM-4	0.91	0.2	71.2	17.1	62.3	80.9	13.9	500	114
NM-5	0.75	0.1	66.4	13.6	60.9	64.6	11.4	566	92
NM-6	0.55	0.2	57.5	9.1	82.1	46.9	9.4	669	38
NM-7	0.67	0.7	55.9	10.2	94.5	47.5	10.8	638	67
NM-8	0.67	1	63.5	10.9	180	45.1	11.1	639	80
NM-9	0.48	0.8	66.3	7.7	258	35	7.6	507	32
NM-10	0.38	1	32.5	5.9	106	24.7	6.2	872	44
NM-11	0.51	0.1	33.2	7.4	93.3	26.3	7	1000	39
NM-12	0.4	0.2	28.5	5.6	59.5	22	5.9	1000	33
NM-13	0.47	0.1	39.4	6.7	53.8	23.1	6.4	1000	33
NM-14	0.29	0.1	19.6	4.1	20.4	14.1	4.1	1000	23
NM-15	0.35	0.1	19.1	4.8	18.1	14.8	4.7	1000	24
NM-16	0.28	0.1	21.1	3.8	15	11.7	3.8	1000	19
NM-17	0.34	0.1	17.4	4.8	19.1	14.4	4.6	1000	23
NM-18	0.33	0.1	16.6	4.5	17.3	13.4	4.3	1000	22
NM-19	0.28	0.1	14.2	4	16.6	13	4.1	1000	20
NM-20	0.22	0.1	11	2.8	12.5	9.4	2.9	1000	17
NM-21	0.37	0.1	18.7	5	17.6	15.6	4.9	1000	21
NM-22	0.21	0.1	12.9	2.9	11.5	8.7	3	1000	12

Contenidos de Eu, Se, Zn, Ga, As, Rb, Y, Sr, Zr en mg kg⁻¹

						3			
Muestra	Nb	Мо	Sb	Те	Ва	La	Се	Pr	Nd
NM-1	2.8	14.4	0.9	0.1	365	10.7	24.4	2.6	10.1
NM-2	4	17.8	0.9	0.1	425	12.6	28.8	3.1	12
NM-3	3.6	12.2	0.8	0.2	471	13.9	32.2	3.4	13.2
NM-4	5.1	13.4	1.1	0.1	531	15.7	36.1	3.9	14.9
NM-5	4.2	12.3	0.9	0.1	445	12.8	28.6	3.1	12.5
NM-6	2.5	17.5	1.8	0.1	291	9.5	20.7	2.3	8.9
NM-7	2.5	28.8	6.7	0.2	333	10.5	21.6	2.5	10
NM-8	2.1	67.7	11.4	0.1	324	10.2	20.3	2.4	9.9
NM-9	1.7	144	21.5	0.1	244	7.3	14.7	1.8	7.3
NM-10	1.9	68.2	7	0.2	202	5.5	10.5	1.3	5.4
NM-11	1.1	56.4	4.3	0.1	261	6.4	12.3	1.6	6.3
NM-12	1.2	34.5	4	0.1	210	5.4	10.4	1.3	5.3
NM-13	1.6	36.4	3.8	0.1	248	5.9	11.2	1.5	6
NM-14	1	12.1	2.1	0.1	160	3.9	7.3	0.9	3.7
NM-15	0.6	7.4	0.8	0.1	200	4.6	8.7	1.1	4.7
NM-16	0.5	6.4	0.4	0.1	147	3.6	6.8	0.9	3.6
NM-17	0.6	9.4	0.8	0.1	188	4.4	8.2	1.1	4.3
NM-18	0.4	5.9	0.8	0.1	173	4.2	8	1.1	4.3
NM-19	0.5	6.6	0.6	0.1	157	3.8	7.1	0.9	3.8
NM-20	0.6	6.3	0.5	0.1	115	2.8	5.3	0.7	2.8
NM-21	0.2	10.1	0.8	0.2	202	4.6	8.6	1.1	4.7
NM-22	0.1	4.4	0.2	0.1	110	2.8	5.4	0.7	2.9

Contenido de Nb, Mo, Sb, Te, Ba, La, Ce, Pr, Nd en mg kg⁻¹

Muestra	Sm	Gd	Tb	Dy	Cu	Tm	Yb	Lu	w
NM-1	2.1	2.1	0.3	1.8	29.6	0.2	1	0.1	3.9
NM-2	2.4	2.4	0.3	2.2	34.4	0.2	1.2	0.2	5.3
NM-3	2.7	2.8	0.4	2.4	36.1	0.2	1.3	0.2	5.5
NM-4	3	3.1	0.4	2.7	42.1	0.2	1.5	0.2	9.5
NM-5	2.5	2.5	0.4	2.1	35.4	0.2	1.2	0.2	6.7
NM-6	1.8	1.9	0.3	1.6	26.5	0.1	0.9	0.1	16.3
NM-7	2.1	2.2	0.3	1.9	23.1	0.2	1	0.1	6.3
NM-8	2	2.1	0.3	1.9	23.5	0.2	1	0.1	15.2
NM-9	1.4	1.6	0.2	1.3	22.1	0.1	0.7	0.1	10
NM-10	1.1	1.2	0.2	1	15	0.1	0.5	0.1	4.4
NM-11	1.4	1.4	0.2	1.1	14.2	0.1	0.6	0.1	3.9
NM-12	1.1	1.1	0.2	1	11.6	0.1	0.5	0.1	1.8
NM-13	1.2	1.2	0.2	1.1	11.4	0.1	0.5	0.1	1.8
NM-14	0.8	0.8	0.1	0.7	7.1	0.1	0.3	0.1	0.8
NM-15	0.9	0.9	0.1	0.8	7.5	0.1	0.4	0.1	0.5
NM-16	0.7	0.7	0.1	0.6	6.4	0.1	0.3	0.1	0.4
NM-17	0.9	0.9	0.1	0.8	7.3	0.1	0.4	0.1	0.4
NM-18	0.9	0.9	0.1	0.8	7	0.1	0.4	0.1	0.4
NM-19	0.8	0.8	0.1	0.7	6.7	0.1	0.3	0.1	0.4
NM-20	0.6	0.5	0.1	0.5	5.1	0.1	0.3	0.1	0.5
NM-21	1	1	0.1	0.8	7.7	0.1	0.4	0.1	0.4
NM-22	0.6	0.6	0.1	0.5	5.3	0.1	0.2	0.1	0.3

Contenidos de Sm, Gd, Tb, Dy, Cu, Tm, Yb, Lu, W en mg kg⁻¹

			100						
Muestra	Re	Pb	Sc	Th	U	Ti	Р	S	Hg
NM-1	4	9.7	8	2.9	8.1	0.256	0.165	0.86	22700
NM-2	4	10.3	10	3.3	6.2	0.278	0.15	0.83	11500
NM-3	4	11.5	12	3.7	4.1	0.32	0.141	0.71	3920
NM-4	5	12.4	13	4.7	3.8	0.33	0.103	0.65	2490
NM-5	4	10.7	10	3.7	6.2	0.294	0.127	0.65	74300
NM-6	7	7.9	7	2.2	21	0.205	0.265	0.83	17200
NM-7	26	7.4	8	2.5	43.2	0.256	0.259	1	12500
NM-8	42	6.4	8	2	64.2	0.242	0.271	1.35	7820
NM-9	69	5	6	1.3	72.7	0.203	0.193	1.99	9060
NM-10	28	3.3	4	1.5	23.6	0.153	0.173	1.03	3820
NM-11	26	3.5	5	1	20.4	0.182	0.162	0.98	2190
NM-12	24	2.8	4	0.8	18.9	0.15	0.163	0.92	1840
NM-13	19	3.1	5	0.8	15.1	0.169	0.178	0.79	1210
NM-14	7	1.8	3	0.5	7.8	0.0941	0.116	0.45	787
NM-15	4	2.1	4	0.7	5.3	0.118	0.166	0.44	649
NM-16	5	1.6	3	0.4	2.5	0.0938	0.152	0.38	840
NM-17	6	2	3	0.6	4.6	0.12	0.159	0.42	669
NM-18	7	2	4	0.7	7.5	0.117	0.163	0.42	740
NM-19	6	1.7	3	0.4	4.7	0.0922	0.147	0.39	725
NM-20	3	1.4	2	0.6	2.4	0.0752	0.115	0.32	743
NM-21	7	2.1	3	0.5	4.2	0.0837	0.132	0.38	787
NM-22	4	1.2	2	0.3	2.1	0.0655	0.126	0.31	811

Contenidos de Hg y Re en µg kg⁻¹; Pb, Sc, Th, U, Ti, U en mg kg⁻¹; Ti, P y S en %

Muestra	Corg	CaCO ₃
	%	
NM-1	4.31	9.55
NM-2	3.83	8.11
NM-3	2.71	8.70
NM-4	2.14	4.86
NM-5	3.29	8.86
NM-6	6.97	14.84
NM-7	5.7	10.61
NM-8	10.8	9.55
NM-9	10.8	16.14
NM-10	4.48	38.86
NM-11	4.65	29.09
NM-12	2.82	48.41
NM-13	2.59	37.95
NM-14	0.64	68.18
NM-15	0.84	54.09
NM-16	0.26	67.95
NM-17	0.51	58.64
NM-18	0.73	58.18
NM-19	0.53	66.36
NM-20	0.44	65.45
NM-21	0.45	57.73
NM-22	0.05	75.23

 $Contenidos \ de \ C_{org} \ yCaCO_3 \ en \ \%$

Muestra	Ag	As	В	Ва	Ве	Са	Cd	
NA-1	211	22.52	299	16	9.9	5880	4390	
NA-2	313	38.89	237	13	4.5	40800	5170	
NA-3	205	36.04	277	20	35.5	62000	1090	
NA-4	209	48.73	231	15	18.8	62600	1020	
NA-5	276	30.25	359	20	32.4	31600	2380	
NA-6	212	64.31	219	14	10.6	332	2140	
NA-7	153	24.05	209	15	22.7	22800	2530	
CV-1	279	167.53	247	18	23.8	74300	1970	
XA-1	184	79.21	316	20	13.7	4750	5010	
XA-2	191	98.97	241	13	13.8	14900	4510	
XA-3	111	167.99	279	11	16.3	7210	3790	
XA-4	152	640.02	201	17	70.6	10200	1430	
XA-5	218	396.94	292	29	90	19400	2040	
XA-6	179	62.03	260	29	54.6	14900	3240	
XA-7	187	205.23	320	20	35.9	18600	4230	
XA-8	165	88.12	240	12	12.3	9740	4690	
XA-9	153	84.36	302	12	15.2	12800	4760	
POZO-1	226	37.79	262	30	114	106000	3820	
POZO-2	253	32.10	298	38	42.1	51100	2620	
POZO-3	224	47.99	207	34	47.2	79000	2690	
A-0	201	44.05	198	33	71.9	36000	2220	
A-1	206	51.59	243	33	39	23400	4780	
A-2	216	48.68	121	12	24.3	25200	3080	
A-3	194	80.52	216	16	22.2	9670	4550	
A-4	250	38.34	327	29	68.5	11000	2110	
A-5	203	80.23	210	34	90.9	15600	1250	

Anexo 5. Contenido de elementos en las macroalgas *Sargassum sinicola* Contenidos de Ag, Be y Cd en μ g kg⁻¹; As, Ba y Ca en mg kg⁻¹

Contenido	s de Ce, (Co, Cr, Cs,	Cu, Dy, Er o	en µg kg '				
Muestra	Се	Со	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	
NA-1	208	1330	240	104	2190	17.1	11.4	
NA-2	136	1310	220	127	2300	15.2	9.22	
NA-3	708	1030	1340	273	3830	66.2	39.3	
NA-4	386	749	630	234	3300	34.1	20.2	
NA-5	663	1780	1260	136	1990	64.9	39	
NA-6	302	1610	580	86.7	2220	33.7	21.7	
NA-7	432	1080	610	61.2	2120	39.8	25.4	
CV-1	500	2000	1030	340	3090	48.3	31.1	
XA-1	295	3900	660	92.6	1770	28.1	17.7	
XA-2	287	3510	550	90.2	1520	31.3	19.4	
XA-3	245	2230	550	106	1490	23.3	14.5	
XA-4	569	1500	840	561	1330	48.5	28.8	
XA-5	1280	2810	1710	407	2090	99.4	62.2	
XA-6	1380	1730	2060	170	2470	106	62.3	
XA-7	914	2980	1300	150	2440	72	42.5	
XA-8	216	2890	260	113	1310	24.5	15.6	
XA-9	307	2610	470	83.5	1460	31.4	19.6	
POZO-1	2530	3630	5180	160	4500	171	99	
POZO-2	1230	1760	2640	111	3570	82.8	50.1	
POZO-3	1280	2760	2420	97.8	3210	96.1	60.1	
A-0	2180	2310	2910	137	2910	132	80.3	
A-1	910	3630	1900	87.6	2470	68.2	40.2	
A-2	741	1630	1560	59	2030	54.5	33.7	
A-3	495	4670	970	63.8	1890	35.7	21.6	
A-4	1820	4770	3950	102	3260	119	72.3	
A-5	2860	6530	5400	90.3	3420	166	95.7	

~-1 : പ ī ~ \sim _ ÷.

Conteniuo	s ue Eu, t	Ja, Gu, Ge,	пі, пу еп	µуку,ге	en nig ky	•		
Muestra	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	
NA-1	8.3	123	47.8	14	40	15	48	
NA-2	7	112	37.5	11	20	14	30	
NA-3	22.6	670	246	54	90	51	44	
NA-4	12.2	358	118	27	80	32	46	
NA-5	23.6	655	225	49	60	52	66	
NA-6	11.9	245	87.9	25	20	25	28	
NA-7	15.3	403	186	31	30	40	16	
CV-1	17.5	442	140	38	220	43	102	
XA-1	11.8	246	79.4	21	30	33	24	
XA-2	10.7	252	89.4	21	40	31	29	
XA-3	8.5	293	70.9	17	110	25	26	
XA-4	18.2	1060	162	36	830	45	77	
XA-5	36.4	1240	407	82	670	95	62	
XA-6	38.9	1160	390	92	160	78	33	
XA-7	25	753	246	58	190	63	41	
XA-8	8.4	144	51.2	17	50	22	29	
XA-9	10.2	245	78.7	22	50	27	28	
POZO-1	76.1	2290	738	192	170	123	31	
POZO-2	43.3	1110	373	86	60	75	18	
POZO-3	41.4	1150	368	93	60	75	21	
A-0	60.2	1600	581	140	240	112	26	
A-1	32.6	828	281	60	130	59	42	
A-2	22.4	670	229	50	110	50	15	
A-3	16.1	460	135	32	80	32	25	
A-4	48.3	1630	492	113	60	110	43	
A-5	70.4	2390	746	166	120	148	25	

Contenidos de Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg en µg kg⁻¹; Fe en mg kg⁻¹.

Contenido	s Ho, In,	La, Li, Lu e	en µg kg ∵; K y	' Mg en m <u>g</u>	g kg '.		
	Но	In	К	La	Li	Lu	Mg
NA-1	3.36	5.1	46500	91.5	1290	1.7	7720
NA-2	2.94	6	45100	79.6	1110	1.4	7060
NA-3	12.4	7.6	69700	395	2250	4.8	8920
NA-4	6.62	7.2	83500	212	1360	2.6	7150
NA-5	13	7.6	71000	369	1270	5.2	7820
NA-6	6.81	6.6	92000	179	871	2.8	6410
NA-7	7.62	4.5	41300	245	993	3.6	5660
CV-1	9.53	8.4	91000	282	1430	4.1	6990
XA-1	5.59	4.5	129000	170	1540	2.3	9870
XA-2	5.92	3.9	61000	165	1010	2.8	8300
XA-3	4.51	3.3	87700	139	1260	1.9	8000
XA-4	9.31	5.3	70500	309	895	3.5	5370
XA-5	19.8	6	70500	668	1420	7.8	8680
XA-6	19.9	7.1	70200	739	2300	7.4	10600
XA-7	13.7	5.2	81600	481	1370	5.4	8520
XA-8	5.13	3.7	75800	135	917	2.2	7200
XA-9	6.49	3.2	61300	176	1080	2.8	8220
POZO-1	30.5	5.3	79300	1330	3410	11.7	15300
POZO-2	16.2	4.7	63700	644	1570	5.9	9330
POZO-3	18.7	6.5	75100	677	2040	6.4	10300
A-0	24.6	5.1	52200	1100	1680	9.3	8690
A-1	13	4.3	56100	489	1220	5.3	8410
A-2	10.3	3.6	25600	391	681	4.2	4040
A-3	6.67	3.3	69600	261	945	2.7	6990
A-4	23.2	4.2	54900	909	1500	8.3	8170
A-5	30.7	4.7	57200	1360	1720	11.2	8690

Contenidos Ho, In, La, Li, Lu en µg kg⁻¹; K y Mg en mg kg⁻¹

Contenido	s de Mn, N	lo, Nb, Nd	y Pb en µg	kg '; Na y	Ni en mg kg) '		
Muestra	Mn	Мо	Na	Nb	Nd	Ni	Pb	
NA-1	44000	1860	52400	27.8	72.5	1.7	190	
NA-2	51900	735	42600	20.4	67.3	1.5	200	
NA-3	121000	572	50500	101	327	1.9	370	
NA-4	194000	653	32700	53.3	165	1.1	320	
NA-5	182000	635	35200	93.6	317	3.7	430	
NA-6	72500	402	32600	41.6	147	2	170	
NA-7	24500	780	33000	63.7	203	1.4	160	
CV-1	941000	642	35400	73.7	228	2.3	320	
XA-1	50800	540	63900	40.5	133	2.3	240	
XA-2	27700	586	43100	35.6	140	2.8	130	
XA-3	38700	349	52100	33.9	113	1.4	170	
XA-4	188000	337	23500	68.4	259	1.6	200	
XA-5	196000	731	33400	141	555	3.1	310	
XA-6	50300	9670	43600	138	607	2.5	310	
XA-7	66700	3060	38500	100	405	2.8	240	
XA-8	42800	818	36900	37.9	106	2.3	120	
XA-9	40700	764	43300	35	145	2.2	130	
POZO-1	79100	2050	47300	285	1200	7.6	640	
POZO-2	57500	1550	40500	146	576	4.2	540	
POZO-3	67000	2130	49000	146	581	3.9	390	
A-0	68800	1030	27000	203	1000	5.8	650	
A-1	51400	618	32200	109	419	3.8	320	
A-2	34700	401	13700	96.6	353	3.4	230	
A-3	66200	526	36300	66.3	217	3.2	190	
A-4	135000	564	34500	238	816	8	320	
A-5	373000	967	25700	307	1180	7.5	520	

na ka⁻¹ ~-1. NL NI: : -1 N / NIL МЧ יח ÷

Contenido	Pr	Rb	Re	<u>µуку, зе</u> Sb	<u>en nig kg</u>	Se	Sm
ΝΔ_1	10.2	21/00	0.5	37.1	52	03	13.7
NΔ-1	17.5	27400	0.5	31 /	52 15	0.3	13.8
NA-2 NA-3	87.5	22000	1.5	40.2	-5 252	0.0	65 1
	07.J 45.7	29500	2.1	40.2	140	0.2	22.9
	4J.1 02 2	34000	Z.I 1 /	50.5	244	0.2	52.0
	0Z.Z	23900	1.4 5.0	52.9	244	0.2	07.3
INA-6	39.6	34100	5.9	33.4	102	0.2	32.2
NA-7	52.9	16500	1	23.7	145	0.3	40.6
CV-1	60.2	35100	3	55.2	189	0.3	48
XA-1	34.9	59200	33.8	62.4	95	0.2	27.3
XA-2	35.6	25200	5.8	106	103	0.2	28.1
XA-3	30	35700	8.9	86.6	96	0.2	22.9
XA-4	67.4	35000	9.6	665	194	0.2	52.7
XA-5	147	36200	3.3	600	382	0.2	111
XA-6	163	31100	7.6	134	420	1.1	118
XA-7	107	38300	7.6	94.9	266	0.2	77.8
XA-8	28.5	36300	5.5	49.6	62	0.2	21.8
XA-9	38.1	31700	4.4	60.5	99	0.2	28.5
POZO-1	304	34700	1.3	68.8	895	0.7	230
POZO-2	147	31300	1.2	45.6	434	0.7	114
POZO-3	149	34000	2.4	44.6	479	0.8	113
A-0	260	30200	3.7	70.8	701	0.2	185
A-1	111	32300	1.7	63.4	352	0.3	81.5
A-2	89.7	11500	0.7	32.4	277	0.2	68.8
A-3	58.8	29600	2.8	36.6	163	0.2	42.4
A-4	210	25000	1.4	56.8	345	0.2	162
A-5	312	27700	4.8	43.1	477	0.2	231

Contenidos de Pr, Rb, Re, Sb, Sc, Sm en µg kg⁻¹; Se en mg kg⁻¹

Contenido		e, m, me	nμgkg,.	Siynenm	у ку			
Muestra	Sr	Tb	Те	Th	Ti	Ti	Tm	
NA-1	1790	3.34	58	17	11500	11.5	1.64	
NA-2	2320	2.94	25	14	9550	9.55	1.37	
NA-3	1800	14.3	65	84	61000	61	4.97	
NA-4	2140	6.93	74	30	31600	31.6	2.75	
NA-5	2670	13.4	97	51	68000	68	5.24	
NA-6	1890	6.82	33	30	22600	22.6	2.8	
NA-7	1250	7.95	98	44	39700	39.7	3.37	
CV-1	3080	10	52	20	47000	47	4.3	
XA-1	1910	5.99	46	48	20600	20.6	2.27	
XA-2	1310	5.97	86	31	21300	21.3	2.61	
XA-3	1150	4.71	14	21	22800	22.8	1.88	
XA-4	1120	10.2	34	41	44600	44.6	3.77	
XA-5	1750	21.1	32	99	104000	104	8.07	
XA-6	1930	23.6	22	83	101000	101	7.54	
XA-7	1680	15.6	85	73	67000	67	5.52	
XA-8	1820	4.57	47	31	13000	13	2.09	
XA-9	1550	6.01	90	26	20100	20.1	2.59	
POZO-1	2070	42.8	3	114	208000	208	12	
POZO-2	2250	20.8	46	77	103000	103	6	
POZO-3	2270	23.2	73	60	99400	99.4	7.09	
A-0	1460	32.4	93	125	135000	135	9.88	
A-1	1380	15	84	59	71700	71.7	5.12	
A-2	777	11.9	39	50	60300	60.3	4.19	
A-3	1260	7.8	41	48	34700	34.7	2.8	
A-4	1640	27.8	86	109	145000	145	8.49	
A-5	1090	39.7	52	143	198000	198	11.8	

Contenido de Tb, Te, Th, Tm en µg kg⁻¹; Sr y Ti en mg kg⁻¹

	U	V	Ŷ	Yb	Zn
NA-1	991	1490	161	9.6	7.4
NA-2	910	1140	140	8.6	10.4
NA-3	1220	2510	447	32.4	6.9
NA-4	883	1770	244	18	7
NA-5	1610	3700	457	33.9	6.2
NA-6	734	950	260	19.1	5.8
NA-7	572	1770	285	22.2	4.7
CV-1	1200	2070	362	26.6	6.1
XA-1	975	1370	207	15.7	14
XA-2	1580	1570	231	16.8	5.7
XA-3	952	1110	163	12.2	4.6
XA-4	490	3030	322	25.1	5.7
XA-5	1030	4450	686	53.2	9.4
XA-6	808	5580	661	50.5	6.9
XA-7	985	2790	474	36.3	5.2
XA-8	955	1100	209	13.6	4.8
XA-9	2050	1570	260	17.4	3.5
POZO-1	611	8480	963	80.2	14.7
POZO-2	636	4210	507	41.7	13.7
POZO-3	826	4280	586	47.3	9.7
A-0	728	5650	829	63.6	8.1
A-1	844	3620	449	35.1	6
A-2	519	3370	331	28.7	5.2
A-3	622	1780	243	18.6	5.8
A-4	904	4900	703	57.9	8.2
A-5	549	6890	923	79.4	11.8

Contenidos de U, V, Y, Yb en µg kg⁻¹; Zn en mg kg⁻¹

Contenidos de O	$\mathbf{D}, \mathbf{D}, \mathbf{D}\mathbf{C},$	DI y Cu El	iµyky,t	Ja, A3, D	ауыпцку				
Muestra	Sc	As	Ва	Be	Ca	Bi	Bi	Cd	Cd
ZO-A	2	10.4	7	2.1	322	2	0.002	3730	3.73
ZO-B	463	22.3	39	64.4	7790	13	0.013	3320	3.32
Z-1	8	6.75	10	7.2	1630	2	0.002	7160	7.16
Z-2	58	7.94	25	12.3	2390	2	0.002	5590	5.59
Z-3	26	2.06	5	5.3	2170	1	0.001	1940	1.94
Z-4	3	1.67	1	6.1	776	2	0.002	1640	1.64
Z-5	65	3.91	20	10	2320	1	0.001	6630	6.63
Z-6	17	6.17	24		39500	15	0.015	10800	10.8

Anexo 6. Contenidos de elementos en el zooplancton

Contenidos de Sc, B, Be, Bi y Cd en µg kg⁻¹; Ca, As, Ba y Bi mg kg⁻¹

Contenidos de Ce, Co, Cr, Cs, Dy, Er y Eu en µg kg⁻¹; Cu y Fe mg kg⁻¹

Muestra	Ce	Со	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Fe
ZO-A	7.1	562	460	238	10.2	0.2	0.12	0.6	32.7
ZO-B	514	1160	2980	348	42.6	32.8	17.2	13	7.1
Z-1	12.3	4610	570	88	8.99	0.58	0.32	0.9	26.7
Z-2	128	994	600	181	7.06	8.5	4.82	4.3	14.7
Z-3	63.4	227	210	70.6	2.85	3.67	2.16	1.4	21.1
Z-4	4.6	160	210	37.2	2.62	0.09	0.05	0.1	17.4
Z-5	231	913	970	144	7.17	18.1	10.7	5.9	3.9
Z-6	975	659	2910	152	61.6	86.5	42.2	34.7	806

Muestra	Gd	Hf	Hg	Ho	К	La	Li	Lu	Mg
ZO-A	3	3	173	0.23	1.21	4.8	538	0.2	60.3
ZO-B	41	3460	57	6.47	1.26	255	3740	1.9	62.6
Z-1	4	8	40	0.09	0.943	9.1	1590	0.2	26.9
Z-2	16	123	51	1.71	0.91	63.8	2000	0.6	2.3
Z-3	5	56	24	1.34	1.19	35.1	1560	0.2	41.1
Z-4	1	10	46	0.25	0.794	3.8	490	0.2	96.1
Z-5	20	115	28	3.71	1.07	104	772	1.4	5.7
Z-6	81	162	21	16.1	1.27	514	2820	5.6	11400

Contenidos de Gd, Hf, Hg, Hg, Ho, La, Li, Lu en µg kg⁻¹; Mg mg kg⁻¹; K en %

Contenidos de Mo, Nb, Nd, Pr y Rb en µg kg⁻¹; Mn, Na, Ni y Pb mg kg⁻¹;

Muestra	Mn	Мо	Na	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb
ZO-A	11.1	383	190	320	1.2	2.4	1.74	0.5	5280
ZO-B	35.4	721	200	439	205	4	31	65.3	7310
Z-1	23.8	346	6520	89.4	4.4	1.8	5.34	1.5	3220
Z-2	29	809	20	267	55.5	3.2	4.92	16.4	4690
Z-3	10.4	366	190	58.7	24	0.7	2.12	7.7	4270
Z-4	4.11	256	120	29.7	1.2	0.5	0.73	0.5	2670
Z-5	19.9	494	50	775	92	3.7	3.03	27.2	5490
Z-6	20	683	96000			1.9	41.7		5470

Muestra	Re	Sb	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Sr	Tb
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppb	ppm	ppb
ZO-A	0.5	1060	1.06	2	0.9	0.2	40	70.2	0.06
ZO-B	0.7	3180	3.18	463	0.9	47.6	470	210	6.28
Z-1	0.6	773	0.773	8	2.1	0.8	1110	77.9	0.11
Z-2	0.3	598	0.598	58	1.5	11.3	70	104	1.66
Z-3	0.3	104	0.104	26	0.7	4.4	40	143	0.83
Z-4	0.3	51.4	0.0514	3	0.6	0.2	50	76.2	0.03
Z-5	0.3	218	0.218	65	1.6	19.9	50	126	3.44
Z-6	0.3	524	0.524	17	3.2			538	

Contenidos de Re, Sb, Sc, Sm, Sn y Tb en µg kg⁻¹; Sb, Se y Sr mg kg⁻¹;

Contenidos de U, Zr e Y en µg kg⁻¹; Ti, V y Zn mg kg⁻¹;

Muestra	Ti	U	V	Y	Zn	Zr	
	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	
ZO-A	92.6	140	2.28	1.9	31.3	146	
ZO-B	279	286	5.35	169	67.9	204000	
Z-1	96.5	114	1.72	3.7	128	378	
Z-2	192	206	3.24	47.1	66.8	6330	
Z-3	73.3	127	0.66	23.1	24.3	3150	
Z-4	29.7	76	0.52	1.1	16	391	
Z-5	232	196	3.38	111	48.9	6250	
Z-6	64.8	294	2.51	460	58.3		

Anexo 7. Perfiles de temperatura y salinidad de la columna de agua de Bahía Concepción (datos de CTD)

a) 1 de octubre del 2009)



b) 2 de junio del 2010

Estación T1 (sitio de colecta de la MPH)





Estación T2 (parte central de la bahía frente al sitio de las ventilas hidrotermales)

Estación W1 (sitio de las ventilas hidrotermales someras)



c) 23 de mayo del 2011



Estación T1

Estación T2



Estación W1 (sitio de las ventilas hidrotermales someras)

