



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANKTON DE LAS REGIONES NORTE Y CENTRAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

MARGARITA ELENA RENTERIA CANO

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 23 del mes de Febrero del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**“ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANKTON
DE LAS REGIONES NORTE Y CENTRAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA”**

Presentada por el alumno:

RENTERÍA

Apellido paterno

CANO

materno

MARGARITA ELENA

nombre(s)

Con registro:

B	0	7	1	2	2	1
---	---	---	---	---	---	---

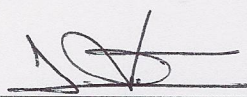
Aspirante de:

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

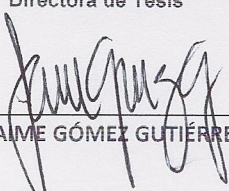
Directores de Tesis

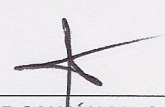

DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO

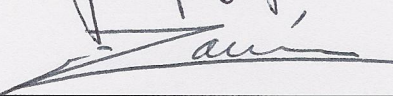
Directora de Tesis


DR. EVGUENI CHOUMILINE

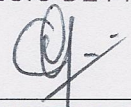
Director de Tesis


DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ


DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

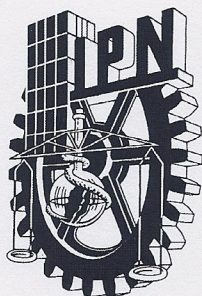

DR. MIGUEL FERNANDO LAVÍN PEREGRINA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 18 del mes Marzo del año 2011
el (la) que suscribe MC. MARGARITA ELENA RENTERÍA CANO alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro B071221 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO y DR. EVGUENI CHOUMILINE
y cede los derechos del trabajo titulado:

"ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANKTON
DE LAS REGIONES NORTE Y CENTRAL DEL 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: lsvelasc@gmail.com - eshumili@ipn.mx - mrenteria@gmail.com

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

Margarita E. Rentería Cano
MC. MARGARITA ELENA RENTERÍA CANO
nombre y firma

DEDICATORIA

A mis niños:

Freda, Mariana y Bebé

A mi esposo:

Fritz Thony Gutiérrez

A mis papás:

Margarita Cano Mendoza

José Luis Rentería Flores

A mi abuela:

Julia Mendoza Palma

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial agradezco a mis directores de tesis: La Dra. Laura Sánchez Velasco y el Dr. Evgueni Shumilin, por todo el interés y el tiempo brindado en la realización del trabajo. Por el material biológico, de laboratorio y equipo facilitado. Así como por las revisiones, comentarios y enseñanzas en general, que me permitieron finalizar este trabajo.

Al Dr. Jaime Gómez Gutiérrez, por el material biológico y datos proporcionados. Por todo el tiempo dedicado en la enseñanza de la aplicación de análisis estadísticos y software. Por la revisión del escrito de tesis y comentarios realizados que ayudaron a mejorarlo.

Dr. Felipe Galván Magaña y al Dr. Miguel Lavín, por el tiempo aplicado en la revisión del escrito y todos sus comentarios.

Dr. Rogelio González Armas, por sus comentarios y participación dentro de este comité.

Al Dr. Fernando Aguirre Bahena, a la Dra. Griselda Rodríguez Figueroa, al Biol. Mar. Arturo Sánchez Uvera y a Fritz Thony Gutiérrez, por su apoyo en el procesamiento de muestras biológicas utilizadas para la elaboración de esta tesis.

Al departamento de Plancton y Ecología Marina, por permitirme el uso de sus instalaciones.

Al Centro Interdisciplinarios de Ciencias Marinas por permitirme llevar a cabo mis estudios de posgrado y permitir mi desarrollo académico y personal.

Al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por los apoyos económicos otorgados, con lo que fue posible la realización de este trabajo.

ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2.1. ANTECEDENTES GENERALES	3
2.2. ANTECEDENTES REGIONALES	7
<i>Elementos traza.....</i>	7
<i>Zooplankton.....</i>	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. HIPÓTESIS	11
5. OBJETIVOS.....	11
5.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	11
5.2. OBJETIVOS PARTICULARES	11
6. ÁREA DE ESTUDIO	12
<i>Fuentes de entrada de elementos traza</i>	14
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
7.1. HIDROGRAFÍA Y DATOS AMBIENTALES	15
<i>Clorofila a y nutrientes</i>	17
<i>Zooplankton.....</i>	18
7.2. CARACTERIZACIÓN DE GRUPOS DE ZOOPLANKTON.....	19
7.3. ANÁLISIS ELEMENTAL DE LAS MUESTRAS.....	20
7.3.1. <i>Análisis de ET en el zooplankton por el método de activación neutrónica instrumental.....</i>	20
7.3.2 <i>Análisis de ET en el zooplankton por el método de espectrofotometría de absorción atómica</i>	21
7.3.3. <i>Determinación de fósforo en zooplankton por el método de espectrofotometría clásica</i>	22
7.3.4. <i>Determinación de elementos en zooplankton por el método de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo de alta resolución.....</i>	23
7.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE DATOS OBTENIDOS	24
<i>Relación de la concentración de elementos contenidos en zooplankton con la biomasa del zooplankton</i>	25
<i>Abundancia de los grupos del zooplankton de agosto del 2003.....</i>	25
7.5. NORMALIZACIÓN DE LANTÁNIDOS CON LUTITA NORTEAMERICANA	28
7.6. ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS EN ZOOPLANKTON.....	28
7.7. FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO.....	29
7.8. COEFICIENTE DE ACUMULACIÓN	30

8. RESULTADOS.....	30
8.1. NIVELES DE ELEMENTOS EN ZOOPLANCTON	30
8.2. RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS Y LA BIOMASA DEL ZOOPLANCTON	31
8.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS INDICADORES AMBIENTALES Y DE CONCENTRACIÓN DE LOS ELEMENTOS TRAZA EN EL ZOOPLANCTON.	32
8.3.1. <i>Campaña de agosto del 2003</i>	39
<i>Distribución de indicadores ambientales</i>	39
<i>Grupos del zooplancton</i>	41
<i>Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton</i>	41
8.3.2. <i>Campaña de junio del 2005</i>	47
<i>Distribución de indicadores ambientales</i>	47
<i>Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton</i>	51
8.3.3. <i>Campaña de enero del 2007</i>	53
<i>Distribución de indicadores ambientales</i>	53
<i>Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton</i>	56
8.3.4. <i>Campaña de febrero del 2007</i>	60
<i>Distribución de indicadores ambientales</i>	60
<i>Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton</i>	63
8.3.5. <i>Campaña de julio del 2007</i>	65
<i>Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton</i>	66
8.3.6. <i>Campaña de junio del 2008</i>	68
<i>Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton: Análisis de componentes principales</i>	72
8.4. RELACIÓN ENTRE LOS INDICADORES DEL AMBIENTE Y LOS CONTENIDOS DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANCTON COLECTADO EN DIFERENTES CAMPAÑAS	75
8.4.1. <i>Relación entre indicadores ambientales y el contenido de elementos en el zooplancton en cada una de las campañas oceanográficas</i>	80
8.4.1.1. <i>Agosto 2003</i>	84
8.4.1.2. <i>Junio del 2005</i>	89
8.4.1.3. <i>Enero del 2007</i>	89
8.4.1.4. <i>Febrero del 2007</i>	92
8.4.1.5. <i>Julio del 2007</i>	95
8.4.1.6. <i>Junio del 2008</i>	95
9. DISCUSIÓN	99
9.1. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA DISTRIBUCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES	99
9.2.1. <i>Norte Golfo de California</i>	105
9.2. COMPARACIÓN DE PATRONES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS EN DIFERENTES PARTES DEL GOLFO DE CALIFORNIA	109

9.2.2. Archipiélago central (Grandes Islas)	113
9.2.3. Sur del archipiélago.....	116
9.3. LANTÁNIDOS NORMALIZADOS CON LUTITA NORTEAMERICANA EN JUNIO DE 2008...	118
9.4. COMPARACIÓN DE LOS PATRONES DE DISTRIBUCIONES DE CONTENIDOS DE LOS ELEMENTOS EN ZOOPLANKTON CON LOS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL NGC	120
9.4.1. Patrón de distribución de los contenidos en el zooplancton formado por elementos de origen terrígeno (Asociación I).....	122
9.4.2. Patrón de distribución de los contenidos en el zooplancton formado por elementos de origen biogénico (Asociación II).....	123
9.5. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE ELEMENTOS EN EL ZOOPLANKTON CON RESPECTO A LA COMPOSICIÓN PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS EN LA CORTEZA SUPERIOR	124
9.6. RAZONES DE CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS EN EL ZOOPLANKTON.....	128
9.6.1. Razón de Fe/Sc.....	129
9.6.2. Correlaciones Fe - Sc.....	131
9.6.3. Factores de enriquecimiento	131
9.6.4. Coeficiente de acumulación de elementos en zooplancton.....	135
9.5. COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS EN GC Y OTRAS PARTES DEL OCÉANO MUNDIAL.....	143
10. CONCLUSIONES	146
11. BIBLIOGRAFÍA	159
ANEXO 1. CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ZOOPLANKTON DEL GC DE LA CAMPAÑA DE AGOSTO DEL 2003.....	I
ANEXO 2. CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ZOOPLANKTON DEL GC DE LA CAMPAÑA DE JUNIO DEL 2005..	III
ANEXO 3. CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ZOOPLANKTON DEL GC DE LA CAMPAÑA DE ENERO DEL 2007.	VII
ANEXO 4. CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ZOOPLANKTON DEL GC DE LA CAMPAÑA DE FEBRERO DEL 2007.....	IX
ANEXO 5. CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ZOOPLANKTON DEL GC DE LA CAMPAÑA DE JULIO DEL 2007.	XIII
ANEXO 6. CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ZOOPLANKTON DEL GC DE LA CAMPAÑA DE JUNIO DEL 2008.	XV

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. BATIMETRÍA Y TOPONIMIA DEL ÁREA DE ESTUDIO. LOS DATOS DE BARIMETRÍA FUERON PROPORCIONADOS POR EL EQUIPO DE OCEANOGRFÍA FÍSICA DE CICESE. LAS COORDENADAS DE RÍOS FUERON OBTENIDOS DE LAS BASES DE DATOS DE CONABIO	13
FIGURA 2. RED DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO DE LAS CAMPAÑAS OCEANOGRFICAS REALIZADAS DURANTE A) AGOSTO DEL 2003, B) JUNIO DEL 2005, C) ENERO DEL 2007, D) FEBRERO DEL 2007, E) JULIO DEL 2007 Y F) JUNIO DEL 2008.....	16
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES AMBIENTALES DE LA CAMPAÑA OCEANOGRFICA DE AGOSTO DEL 2003. A) TEMPERATURA, B) SALINIDAD, C) CLOROFILA A SUPERFICIAL, D) CLOROFILA A EN EL NIVEL MÁXIMO DE FLUORESCENCIA, E) FLUORESCENCIA Y F) BIOMASA DEL ZOOPLANKTON	40
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS GRUPOS DE ZOOPLANKTON MÁS ABUNDANTES, RECOLECTADOS EN LA PARTE NORTE Y CENTRAL DEL GC, EN AGOSTO DEL 2003. A) COPEPODA, B) ECHINODERMATA, C) CHAETOGNATA Y D) LARVACEA	42
FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESPECIES MÁS ABUNDANTES DE COPÉPODOS, RECOLECTADAS EN LA PARTE NORTE Y CENTRAL DEL GC EN AGOSTO DEL 2003, A) <i>ACARTIA LILLJEBORGII</i> , B) <i>CENTROPAGES FURCATUS</i> , C) <i>SUBEUCALANUS MUCRONATUS</i> Y D) <i>CANTHOCALANUS PAUPER</i>	44
FIGURA 6. ASOCIACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA CONTENIDOS EN ZOOPLANKTON DEL GC, OBTENIDOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE DISIMILARIDAD DE BRAY-CURTIS, PARA AGOSTO DEL 2003	46
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS MAYORES (ASOCIACIÓN 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC, DURANTE AGOSTO DEL 2003. A) SODIO Y B) CALCIO ...	47
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS (ASOCIACIÓN 2) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC, DURANTE AGOSTO DEL 2003. A) FIERRO, B) ZINC, C) BROMO Y D) BARIO	48
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS DE ORIGEN TERRÍGENO (ASOCIACIÓN 3 - SUBGRUPO 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE AGOSTO 2003. A) SELENIO, B) HAFNIO, C) LANTANO Y D) ESCANDIO. EL ÓVALO INDICA LA POSICIÓN DEL GIRO CICLÓNICO	49
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS REDOX-SENSIBLES (ASOCIACIÓN 3 – SUBGRUPO) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE AGOSTO 2003. A) ARSÉNICO, B) COBALTO, C) CROMO Y D) URANIO	50
FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES AMBIENTALES DE LA CAMPAÑA OCEANOGRFICA DE JUNIO DEL 2005. A) TEMPERATURA, B) SALINIDAD, C) OXÍGENO DISUELTO Y D) BIOMASA DEL ZOOPLANKTON	52
FIGURA 12. ASOCIACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON, OBTENIDOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE DISIMILARIDAD DE BRAY-CURTIS EN JUNIO DEL 2005.....	53
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS (ASOCIACIÓN 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE JUNIO DEL 2005. A) BARIO, B) ZINC, C) NÍQUEL Y D) CIRCONIO	54

FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS MAYORES (ASOCIACIÓN 2) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC, DURANTE JUNIO DEL 2005. A) SODIO, B) CALCIO, C) ESTRONCIO Y D) FIERRO.....	55
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS DE ORIGEN TERRÍGENO (ASOCIACIÓN 3-SUBGRUPO 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC, DURANTE JUNIO DEL 2005. A) EUROPIO, B) HAFNIO, C) TORIO Y D) ESCANDIO	57
FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS REDOX-SENSIBLES (ASOCIACIÓN 3-SUBGRUPO 2) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC, DURANTE JUNIO DEL 2005. A) ARSÉNICO, B) COBALTO, C) CROMO Y D) SELENIO.	58
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES AMBIENTALES DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA DE ENERO DEL 2007. A) TEMPERATURA, B) SALINIDAD, C) CLOROFILA A EN ESTRATO DE 10M, D) OXÍGENO DISUELTO, E) PH Y F) BIOMASA DEL ZOOPLANCTON	59
FIGURA 18. ASOCIACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON, OBTENIDOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE DISIMILARIDAD DE BRAY-CURTIS EN ENERO DEL 2007	61
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS DE ORIGEN TERRÍGENO (ASOCIACIÓN 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC DURANTE ENERO DEL 2007. A) BARIO Y B) CROMO	63
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS DE ORIGEN TERRÍGENO Y REDOX-SENSIBLES (ASOCIACIÓN 2) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC DURANTE ENERO DEL 2007. A) LUTECIO, B) ITERBIO, C) LANTANO, D) NEODIMIO, E) ARSÉNICO Y F) COBALTO.....	64
FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES AMBIENTALES (FÍSICAS) DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA DE FEBRERO DEL 2007. A) TEMPERATURA, B) SALINIDAD A 80 M DE PROF. C) OXÍGENO DISUELTO Y D) FLUORESCENCIA.....	67
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES AMBIENTALES (BIOLÓGICAS) EN FEBRERO DEL 2007. A) CLOROFILA A, B) NITRITOS, C) NITRATOS, D) FOSFATOS Y E) BIOMASA DEL ZOOPLANCTON.....	69
FIGURA 24. ASOCIACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON, OBTENIDOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE DISIMILARIDAD DE BRAY-CURTIS EN FEBRERO DEL 2007	70
FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS MAYORES (ASOCIACIÓN 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC, DURANTE FEBRERO DEL 2007. A) CALCIO, B) SODIO C) FIERRO Y D) ESTRONCIO.....	71
FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS (ASOCIACIÓN 2) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC DURANTE FEBRERO DEL 2007. A) BARIO, B) PLOMO C) MANGANESO Y D) CADMIO	74
FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS (ASOCIACIÓN 3) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GC EN FEBRERO DEL 2007. A) CERIO, B) SAMARIO C) URANIO Y D) SELENIO	77
FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES AMBIENTALES DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA DE JULIO DEL 2007. A) TEMPERATURA, B) SALINIDAD, C) OXÍGENO DISUELTO, D) FLUORESCENCIA E) CLOROFILA A Y F) BIOMASA DEL ZOOPLANCTON	78
FIGURA 29. ASOCIACIONES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA CONTENIDOS EN EL ZOOPLANCTON, OBTENIDOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE DISIMILARIDAD DE BRAY-CURTIS EN JULIO DEL 2007	79

FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS MAYORES Y BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS (ASOCIACIÓN 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE JULIO DEL 2007. A) SODIO, B) CALCIO, C) FIERRO Y D) ZINC	81
FIGURA 31. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS DE ORIGEN TERRÍGENO (ASOCIACIÓN 2, SUBGRUPO 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE JULIO DEL 2007. A) BARIO, B) CROMO, C) NÍQUEL Y D) CIRCONIO	85
FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS DE ORIGEN TERRÍGENO Y REDOX-SENSIBLES (ASOCIACIÓN 2, SUBGRUPO 2) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE JULIO DEL 2007. A) ESCANDIO, B) HAFNIO, C) ARSÉNICO Y D) COBALTO	90
FIGURA 33. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES AMBIENTALES DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA DE JUNIO DEL 2008. A) TEMPERATURA, B) SALINIDAD, C) OXÍGENO DISUELTO, D) FLUORESCENCIA Y E) BIOMASA DEL ZOOPLANKTON	91
FIGURA 34. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS DE ORIGEN TERRÍGENO (FACTOR 1) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE JUNIO DEL 2008 Y DE Fe EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL NORTE DEL GC (DAESSLÉ ET AL., 2002). A) FIERRO, B) FIERRO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES, C) ESCANDIO, D) ITRIO Y E) TALIO	94
FIGURA 35. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ELEMENTOS BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS (FACTOR 2) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC DURANTE JUNIO DEL 2008. A) BARIO, B) CROMO, C) CIRCONIO Y D) CALCIO	99
FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS (FACTORES 3 Y 4) CONTENIDOS EN EL ZOOPLANKTON DEL GC, DURANTE JUNIO DEL 2008. A) SODIO, B) PLOMO, C) ESTRONCIO Y D) MAGNESIO	100
FIGURA 37. DIAGRAMA DEL ANÁLISIS NMDS APLICADO A LAS MATRICES DE CONTENIDO DE ELEMENTOS CONTRA VARIABLES AMBIENTALES. TEMPORADAS DE AGOSTO DEL 2003, JUNIO DEL 2005, ENERO, FEBRERO Y JULIO DEL 2007	102
FIGURA 38. PATRONES DE LA NORMALIZACIÓN DE LANTÁNIDOS CON LUTITA NORTEAMERICANA PARA EL ZOOPLANKTON DE JUNIO DEL 2008. A) DEPLECIÓN DE CERIO, B) DEPLECIÓN DE LANTÁNIDOS PESADOS (Gd-Lu) Y C) ENRIQUECIMIENTO DE EUROPIO	121
FIGURA 39. RAZONES Fe/Sc EN EL ZOOPLANKTON DEL GC. A) AGOSTO DEL 2003, B) JUNIO DEL 2005, C) ENERO DEL 2007, D) FEBRERO DEL 2007, E) JULIO DEL 2007 Y F) JUNIO DEL 2008	130

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS DONDE FUERON OBTENIDAS MUESTRAS DE AGUA CON BOTELLAS NISKIN, PARA LA EXTRACCIÓN DE CLOROFILA A, NUTRIENTES Y PIGMENTOS ACCESORIOS. SE INDICA EL NIVEL DE PROFUNDIDAD DE DONDE FUE TOMADA LA MUESTRA UTILIZADA EN ESTE TRABAJO.	17
TABLA 2. MÉTODO DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS UTILIZADO EN CADA TEMPORADA DE MUESTREO.	20
TABLA 3. LÍMITE DE DETECCIÓN Y EXACTITUD DEL MATERIAL DE REFERENCIA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS CON EL MÉTODO DE ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA INSTRUMENTAL.....	21
TABLA 4. LÍMITE DE DETECCIÓN Y EXACTITUD DEL MATERIAL DE REFERENCIA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS CON EL MÉTODO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	22
TABLA 5. LÍMITE DE DETECCIÓN Y EXACTITUD DEL MATERIAL DE REFERENCIA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE FÓSFORO.....	24
TABLA 6. LÍMITES DE DETECCIÓN Y EXACTITUD DEL MATERIAL DE REFERENCIA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS ELEMENTAL CON EL MÉTODO DE HR-ICPMS.	24
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE ACUERDO A SUS FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO PROPUESTA POR SUTHERLAND (2000).....	29
TABLA 8. NIVELES DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ZOOPLANCTON DEL GOLFO DE CALIFORNIA PARA LAS DIFERENTES TEMPORADAS DE MUESTREO.	33
TABLA 9. RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES DE PEARSON ENTRE LOS VALORES DE BIOMASA ZOOPLANCTÓNICA Y LAS CONCENTRACIONES DE CADA ELEMENTO	37
TABLA 10. NÚMERO DE ESTACIONES POSITIVAS (TOTAL DE ESTACIONES 29), ABUNDANCIA RELATIVA, INTERVALO DE ABUNDANCIA, PROMEDIO DE ABUNDANCIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE GRUPOS DE ZOOPLANCTON IDENTIFICADOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE AGOSTO DEL 2003.	43
TABLA 11. NÚMERO DE ESTACIONES POSITIVAS (TOTAL DE ESTACIONES 29), ABUNDANCIA RELATIVA, INTERVALO DE ABUNDANCIA, PROMEDIO DE ABUNDANCIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE ESPECIES DE COPÉPODOS IDENTIFICADOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE AGOSTO DEL 2003.	45
TABLA 12. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES APLICADO A LA MATRIZ DE CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANCTON DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE JUNIO DEL 2008.	73
TABLA 13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO (NMDS), QUE MUESTRA LA VARIANZA EXPLICADA (R^2) Y CORRELACIONES DE PEARSON Y KENDALL (R) EN LOS EJES DE ORDENACIÓN, PARA EL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANCTON Y VARIABLES AMBIENTALES DEL GC, PARA EL CONJUNTO DE DATOS DE LAS CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS: AGOSTO DEL 2003, JUNIO DEL 2005, ENERO, FEBRERO Y JULIO DEL 2007.	76
TABLA 14. RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO PERMUTACIONAL DE MULTIRESPUESTA (MRPP) PARA LA COMPARACIÓN DE VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS, PARA EL CONJUNTO DE DATOS DE LAS CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS: AGOSTO DEL 2003, JUNIO DEL 2005, ENERO, FEBRERO Y JULIO DEL 2007.	77

TABLA 15. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE MONTE CARLO DEL VALOR DE INDICADOR MÁXIMO OBSERVADO (IV) PARA LOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA, DE ACUERDO A LAS VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS: DIFERENCIA ENTRE CRUCEROS; REGIONALIZACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA: GOLFO NORTE (GN), ARCHIPIÉLAGO CENTRAL (AR) Y SUR DEL ARCHIPIÉLAGO (*SAR); Y DIFERENCIAS ENTRE ÉPOCAS DEL AÑO: INVIERNO, PRIMAVERA (ÉPOCA TRANSICIONAL) Y VERANO.	82
TABLA 16. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO, QUE MUESTRA LA VARIANZA EXPLICADA (R^2) Y CORRELACIONES DE PEARSON Y KENDALL (R) EN LOS EJES DE ORDENACIÓN, PARA EL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANKTON Y VARIABLES AMBIENTALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE AGOSTO DEL 2003.	84
TABLA 17. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE MONTE CARLO DEL VALOR DE INDICADOR MÁXIMO OBSERVADO (IV) PARA LOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA, DE ACUERDO A LAS VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS: DIFERENCIA ENTRE EL DÍA (D) Y LA NOCHE (N); REGIONALIZACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA: GOLFO NORTE (GN), ARCHIPIÉLAGO CENTRAL (AR) Y SUR DEL ARCHIPIÉLAGO (SAR); DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES NERÍTICAS (N) Y OCEÁNICAS (O) Y ESTACIONES UBICADAS DENTRO DEL GIRO CICLÓNICO (G) O FUERA (FG), EN AGOSTO DEL 2003.	86
TABLA 18. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO, QUE MUESTRA LA VARIANZA EXPLICADA (R^2) Y CORRELACIONES DE PEARSON Y KENDALL (R) EN LOS EJES DE ORDENACIÓN, PARA EL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANKTON Y VARIABLES AMBIENTALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE JUNIO DEL 2005.	89
TABLA 19. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE MONTE CARLO DEL VALOR DE INDICADOR MÁXIMO OBSERVADO (IV) PARA LOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA, DE ACUERDO A LAS VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS: DIFERENCIA ENTRE EL DÍA (D) Y LA NOCHE (N); REGIONALIZACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA: GOLFO NORTE (GN), ARCHIPIÉLAGO CENTRAL (AR) Y SUR DEL ARCHIPIELAGO (SAR) Y DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES NERÍTICAS (N) Y OCEÁNICAS (O), EN JUNIO DEL 2005.	93
TABLA 20. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO, QUE MUESTRA LA VARIANZA EXPLICADA (R^2) Y CORRELACIONES DE PEARSON Y KENDALL (R) EN LOS EJES DE ORDENACIÓN, PARA EL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANKTON Y VARIABLES AMBIENTALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE ENERO DEL 2007.	96
TABLA 21. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE MONTE CARLO DEL VALOR DE INDICADOR MÁXIMO OBSERVADO (IV) PARA LOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA, DE ACUERDO A LAS VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS: DIFERENCIA ENTRE EL DÍA (D) Y LA NOCHE (N); REGIONALIZACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA: GOLFO NORTE (GN), ARCHIPIÉLAGO CENTRAL (AR) Y SUR DEL ARCHIPIÉLAGO (SAR) Y DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES NERÍTICAS (N) Y OCEÁNICAS (O), ENERO DEL 2007.	97
TABLA 22. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO, QUE MUESTRA LA VARIANZA EXPLICADA (R^2) Y CORRELACIONES DE PEARSON Y KENDALL (R) EN LOS EJES DE ORDENACIÓN, PARA EL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANKTON Y VARIABLES AMBIENTALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE FEBRERO DEL 2007.	103
TABLA 23. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE MONTE CARLO DEL VALOR DE INDICADOR MÁXIMO OBSERVADO (IV) PARA LOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA, DE ACUERDO A LAS	

VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS: DIFERENCIA ENTRE EL DÍA (D) Y LA NOCHE (N); REGIONALIZACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA: GOLFO NORTE (GN), ARCHIPIÉLAGO CENTRAL (AR) Y SUR DEL ARCHIPIÉLAGO (SAR) Y DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES NERÍTICAS (N) Y OCEÁNICAS (O), EN FEBRERO DEL 2007.	104
TABLA 24. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO, QUE MUESTRA LA VARIANZA EXPLICADA (R^2) Y CORRELACIONES DE PEARSON Y KENDALL (R) EN LOS EJES DE ORDENACIÓN, PARA EL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANCTON Y VARIABLES AMBIENTALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE JULIO DEL 2007.	106
TABLA 25. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE MONTE CARLO DEL VALOR DE INDICADOR MÁXIMO OBSERVADO (IV) PARA LOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA, DE ACUERDO A LAS VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS: DIFERENCIA ENTRE EL DÍA (D) Y LA NOCHE (N); REGIONALIZACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA: GOLFO NORTE (GN), ARCHIPIÉLAGO CENTRAL (AR) Y SUR DEL ARCHIPIÉLAGO (SAR) Y DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES NERÍTICAS (N) Y OCEÁNICAS (O), EN JULIO DEL 2007.	107
TABLA 26. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO, QUE MUESTRA LA VARIANZA EXPLICADA (R^2) Y CORRELACIONES DE PEARSON Y KENDALL (R) EN LOS EJES DE ORDENACIÓN, PARA EL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANCTON Y VARIABLES AMBIENTALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DE JUNIO DEL 2008.	109
TABLA 27. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE MONTE CARLO DEL VALOR DE INDICADOR MÁXIMO OBSERVADO (IV) PARA LOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA, DE ACUERDO A LAS VARIABLES CATEGÓRICAS DEFINIDAS: DIFERENCIA ENTRE EL DÍA (D) Y LA NOCHE (N); REGIONALIZACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA: GOLFO NORTE (GN), ARCHIPIÉLAGO CENTRAL (AR) Y SUR DEL ARCHIPIÉLAGO (SAR) Y DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES NERÍTICAS (N) Y OCEÁNICAS (O), EN JUNIO DEL 2008.	111
TABLA 28. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE ELEMENTOS EN EL ZOOPLANCTON DEL GOLFO DE CALIFORNIA, EN RELACIÓN A LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DEL ELEMENTO EN LA CORTEZA SUPERIOR (WEDEPOHL, 1995). A) ELEMENTOS ACUMULADOS EN EL ZOOPLANCTON, N) ELEMENTOS NO ACUMULADOS Y D) ELEMENTOS DILUIDOS EN ZOOPLANCTON. TODOS LOS VALORES ESTÁN EXPRESADOS EN LOG_{10}	126
TABLA 29. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, PROMEDIOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO EN EL ZOOPLANCTON DEL GOLFO DE CALIFORNIA, EN LAS DIFERENTES TEMPORADAS DE MUESTREO; Y DE ALGAS MARINAS OBTENIDAS POR BOWEN (1966) (TOMADO DE LIBES, 2009). LAS LETRAS A LA DERECHA DE CADA COLUMNA SEÑALAN LA CLASIFICACIÓN DE CADA ELEMENTO ENRIQUECIDO, DE ACUERDO CON SUTHERLAND (2002). E, EMPOBRECIDOS; NE, NO ENRIQUECIDOS; ME, MODERADAMENTE ENRIQUECIDOS; AE, ALTAMENTE ENRIQUECIDOS Y EE, EXTREMADAMENTE ENRIQUECIDOS.	136
TABLA 30. COEFICIENTES DE ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN EL ZOOPLANCTON DEL GOLFO DE CALIFORNIA, EN LAS DIFERENTES CAMPAÑAS DE MUESTREO.	149
TABLA 31. COEFICIENTES DE ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS EN DIFERENTES GRUPOS TAXONÓMICOS.	153
TABLA 32. CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN DIFERENTES REGIONES DEL OCÉANO MUNDIAL (LOS ELEMENTOS MAYORES SE PRESENTAN EN PORCENTAJES Y LOS ELEMENTOS TRAZA EN MG KG^{-1}).	156

GLOSARIO

Absorción: Incorporación de material al interior de una partícula

Adsorción: Adherirse a la superficie de una partícula

Depleción: Disminución de la concentración de un elemento en su fracción disuelta en el agua por asimilación biológica y abiótica.

Elemento: Sustancia que no puede ser descompuesta, mediante una reacción química, en otras más simples.

Elementos mayores: Son aquellos elementos más abundantes en el agua de mar y están presentes en concentraciones mayores a los $10 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Este grupo está conformado por los iones cloruro (Cl^-), sodio (Na^+), sulfato (SO_4^{2-}), magnesio (Mg^{2+}), y junto con siete componentes menores (Ca^{2+} , Sr^{2+} ; K^+ , F^- , Br^- , $\text{B}(\text{OH})_3^0$ y HCO_3^-) constituyen el 99.8% de la masa de los solutos disueltos en el agua de mar. De estos el sodio y el cloruro contribuyen con en 85.7%.

Elementos traza: Son elementos que en el agua de mar conforman el 0.2% de la masa total de los solutos disueltos, siendo encontrados en concentraciones muy bajas. Su límite inferior puede ir desde 1 fmol kg^{-1} (femto = 10^{-15}) y el superior de $\sim 10 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (micro = 10^{-6}). Un ejemplo de estos son bario, cobre, hierro y zinc.

Especiación química: Son las formas fisicoquímicas individuales en que puede ser encontrado un elemento: composición isotópica, estado de oxidación y estructura molecular.

Exactitud (valor de exactitud): Para conocer la exactitud de un método de análisis, se obtiene primero la *recuperación* a partir de la siguiente fórmula:
$$\text{Exactitud} = (\text{Concentración medida} - \text{Concentración certificada}) / \text{Concentración certificada} * 100\%.$$
Mientras más pequeño sea el valor de exactitud es mejor el método.

Factor de enriquecimiento (FE): Es el grado en el cual los organismos marinos son enriquecidos con un elemento en particular, con respecto a la concentración de éste mismo elemento disuelto en el agua de mar.

Precisión: Se obtiene a partir de analizar varias réplicas, se obtiene el promedio de estos valores y se calcula la desviación estándar. Entonces: $(\text{Desviación estándar} / \text{promedio de réplicas}) * 100$.

Remineralización: La disolución de las partes duras o la degradación de la materia orgánica particulada que conduce a la solubilización de nutrientes y micronutrientes.

Scavenging: Adsorción pasiva (captura de elementos) desde la fracción disuelta en las partículas.

Tiempo de residencia: Es el tiempo en que permanece un elemento en suspensión dentro de la columna de agua, antes de llegar al fondo (sustrato). Se calcula dividiendo la cantidad total del elemento en el reservorio del agua A entre la tasa de aporte dA/dt o entre tasa de remoción de $-dA/dt$ desde este reservorio.

Variables categóricas: Son variables o declaraciones cualitativas sin un rango o medida

RESUMEN

El zooplancton es un objeto de estudio apropiado para las evaluaciones biogeoquímicas, ya que es un integrador efectivo de la presencia de los elementos traza en el ambiente marino. Se reportan las concentraciones y distribuciones espaciales de los elementos en el zooplancton colectado en seis campañas oceanográficas, en las regiones Norte y central del Golfo de California. La aplicación del índice de Bray-Curtis permite distinguir tres asociaciones persistentes de elementos en el zooplancton de acuerdo a su concentración, en la mayoría de las épocas analizadas: 1) elementos mayores (Na, Ca, Br); 2) elementos biológicamente activos (Ba, Fe, Zn); 3) elementos de origen terrígeno (Sc, La) y redox sensibles (As, Co). No obstante las distribuciones de los elementos mostraron variaciones estacionales. En la zona Norte del Golfo de California, los elementos mayores se distinguieron por presentar altas concentraciones y en menor medida los de origen terrígeno. En esta zona predominan altas tasas de evaporación, escasez de agua dulce y resuspensión por la intensa mezcla por corrientes de marea. En junio del 2008 se destaca la distribución de las concentraciones de elementos de origen terrígeno en el zooplancton (Fe), similares a las reportadas para sedimentos superficiales en el Norte del Golfo, resaltando un enriquecimiento en la zona adyacente a Puertecitos. En la región del archipiélago central, elementos mayores (Ca, Sr), biológicamente activos (Ba, Fe, Zn) y de origen terrígeno (As, Cu, Sc) presentaron en su mayoría altas concentraciones, tanto para la época de verano como para la de invierno, sin embargo, micronutrientes como Ba, Fe y Zn mostraron diferencias importantes, registrándose niveles más elevados durante invierno (enero y febrero del 2007). En la zona sur del archipiélago, las distribuciones de los elementos biológicamente activos o de los elementos que se asocian a éstos (As, Ba, Fe, Sr y Zn), pueden estar reflejando las concentraciones registradas en la zona central del archipiélago, debido a los diferentes efectos hidrográficos como el suministro de nutrientes del fondo, por la mezcla de mareas y la circulación residual. Los elementos de origen terrígeno (Mn, Co y lantánidos) muestran enriquecimiento

aledaño a ambas costas, lo que puede ser resultado de aportes fluviales, resuspensión y entrada de material arenoso del desierto por mecanismos eólicos, así como por un posible origen hidrotermal de la Cuenca de Guaymas, indicada por la alta concentración de elementos como Fe, M y Zn. Los lantánidos normalizados con Lutita Norteamericana mostraron tres patrones en junio de 2008. El primero caracterizado por una anomalía negativa de Ce. El segundo patrón lo caracterizó una ligera disminución en lantánidos pesados (Yb, Lu). Y el tercero se caracterizó por una anomalía positiva de Eu. Los Factores de enriquecimiento muestran valores mayores en zooplancton a los registrados para el sedimento en la misma zona del GC, mientras que fueron menores con respecto a FE de fitoplancton y macroalgas de otras regiones, reflejando diferencias en el tipo de captación y en sus mecanismos de acumulación. En conclusión, se observó que las concentraciones de elementos traza en el zooplancton del Golfo de California (ej. Ba, Cu, Fe, Mn, Zn, Sr), fueron mayores en relación a otras áreas, incluso con alguna influencia antropogénica (California, Mar Báltico, Atlántico). Las distribuciones espaciales de algunos elementos muestran individualidad, debido a la interacción de diversos factores, como el comportamiento natural de los elementos, procesos físicos, composición y requerimientos de los grupos del zooplancton.

ABSTRACT

Zooplankton is an appropriate object of study for biogeochemical assessments, because it is an effective integrator of trace elements in the marine environment. In this work we report the concentrations and distributions of elements in zooplankton collected in six oceanographic surveys, in the northern and central regions of the Gulf of California. The Bray-Curtis dissimilarity index distinguished three persistent associations of elements in the zooplankton samples by their concentrations: (1) major elements (Na, Ca, Br), (2) biologically-active elements (Ba, Fe, Zn), (3) elements of terrigenous origin (Sc, La) and redox-sensitive elements (As, Co). The distributions of the elements showed seasonal variations in the study area. In the Northern Gulf of California, the major elements were characterized by high concentrations and in less grade those of terrigenous origin. This area is dominated by high evaporation rates, a very small of fresh water input, and resuspension of sediments by intense tidal mixing. In June 2008, the distributions of concentrations of elements of terrigenous origin in zooplankton (e.g. Fe) were similar to those reported for surface sediments in the NGC, especially enrichment in the area adjacent to Puertecitos. In the region of the central islands, the major elements (Ca, Sr), the biologically active elements (Ba, Fe, Zn) and the elements of terrigenous origin (As, Cu, Sc) showed high concentrations, in both summer and winter. However micronutrients such as Ba, Fe and Zn showed some differences, with higher levels recorded during winter (January and February 2007). South of the archipelago, the distributions of biologically active elements or the elements associated with these (like As, Ba, Fe, Sr and Zn) may be reflecting the levels from the central archipelago, due to different hydrographic effects, such as the supply of nutrients from the bottom to the surface, by tidal mixing and advection by currents. The elements of terrigenous origin (Mn, Co and lanthanides), which show enrichment adjacent to both coast, may be the result of river runoff, resuspension, eolic input of sandy desert material, and a possible hydrothermal origin from Guaymas Basin; the latter is indicated by the high concentration of elements such as Fe, M and Zn. The shale-normalized lanthanide

U.S. in June 2008, showed three patterns. The first pattern was characterized by a negative anomaly of Ce. The second pattern had depletion in heavy lanthanides (e.g. Yb, Lu). And the third pattern was characterized by a positive anomaly of Eu. The enrichment factors showed higher values in zooplankton than those recorded for sediment in the same area of the NCG, but were lower compared to enrichment factor of phytoplankton and macroalgae in other regions, reflecting differences in the type of take-up and accumulation. In conclusion, we observed that concentrations of trace elements in zooplankton of the Gulf of California (e.g. Ba, Cu, Fe, Mn, Zn, Sr), were higher than other areas, even with anthropogenic influence (California, Baltic Sea, Atlantic). The spatial distributions of elements show individuality, due to the interaction of various factors, including the natural behavior of the elements, physical processes, composition and requirements of the zooplankton groups.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los ciclos biogeoquímicos de los elementos traza (ET) en el océano es una parte clave para la ecología de los ecosistemas marinos (Libes, 2009). Este conocimiento es indispensable para el entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas, siendo uno de los principales objetivos de programas a nivel mundial como “GEOTRACES” (Anónimo, 2006). No obstante, que la extrema importancia de este tópico de biogeoquímica marina es bien reconocida, el grado de su desarrollo es limitado. Los ciclos de los elementos están estrechamente relacionados con la interacción de elementos en el plancton, que aún está fuera de atención de la mayoría de biogeoquímicos marinos. Actualmente el principal enfoque de los estudios biogeoquímicos es la caracterización de los niveles de concentración de los elementos en el zooplancton, y aun no se comprenden los principales mecanismos de acumulación de los elementos en los organismos planctónicos, ni los factores que los controlan (Martin & Knauer, 1973; Brüggemann & Henning, 1994).

Se ha observado en particular que la productividad fitoplanctónica en el mar no sólo depende de la disponibilidad de los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y silicio disueltos), luz o temperatura, sino que además de la adquisición de las cantidades necesarias de ET o micronutrientes (ej. Cd, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn) (Chester, 2003; Ho *et al.*, 2003), además de sus formas específicas. También ocurre que las cantidades excesivas de algunos micronutrientes (Cu y Zn) y elementos no esenciales como el Hg y Pb tienen efectos tóxicos en los organismos planctónicos, por lo que se ha sugerido que el crecimiento de especies de fitoplancton en el océano puede ser inhibido por un incremento de las concentraciones de estos ET en zonas costeras (Bruland *et al.*, 1991), disminuyendo consecuentemente las abundancias del zooplancton (Díaz & Fernández-Puelles, 1988).

Sin embargo debido a limitaciones metodológicas, conocer la composición química del fitoplancton es sumamente complejo o casi imposible, a causa de no poder separar las células fitoplanctónicas de las partículas finas de otras fuentes de origen terrígeno, biogénico o autógeno (Collier & Edmond, 1984). Por el contrario, el zooplancton es un grupo multiespecífico de organismos de tamaño mayor, que

resulta favorable para realizar evaluaciones biogeoquímicas (Syderman & Jarman, 1998). Además es un integrador efectivo de la presencia de los ET en el ambiente marino (Martin & Knauer, 1973; Chester, 2003), debido a que estos organismos son depredadores activos de pico- y micro-fitoplancton y de micro- y meso-zooplancton en la zona fótica. También gran parte de los organismos del zooplancton realizan migraciones verticales diarias de manera activa, por lo que han sido distinguidos como componentes importantes de la bomba biológica que concentra y moviliza elementos en el ecosistema pelágico (Ducklow *et al.*, 2001; Miller, 2004).

Marsden & Rainbow (2004) presentan un modelo conceptual de mecanismos de captación y excreción para crustáceos, proponiendo que estos organismos incluyendo el zooplancton obtienen ET directamente del medio por la filtración de elementos particulados, por adsorción pasiva (a través de membranas permeables y caparazón) y por consumo directo de sus presas (incluyendo materia particulada suspendida), teniendo como consecuencia efectos fisiológicos distintos, así como diferentes destinos en el medio marino. Los ET asimilados forman parte de la trama trófica funcionando como eslabón de transferencia a niveles superiores (Díaz & Fernández-Puelles, 1988; Javed, 2006), siendo en muchos casos biológicamente reciclados en la columna de agua (desplegando tiempos de residencia más largos en aguas superficiales). Los ET no asimilados pueden ser empaquetados en heces fecales, hundiéndose a zonas profundas (Twining & Fisher, 2004).

Las aplicaciones del conocimiento de la composición elemental del zooplancton son múltiples. La interpretación de la variabilidad temporal de la composición y flujos de material particulado en hundimiento colectado por las trampas sedimentarias también requiere datos de elementos en zooplancton. Un punto adicional es la necesidad de la evaluación del estatus de contaminación de la zona costera y mares marginales por metales pesados (Shumilin *et al.*, 1994, Javed, 2006).

En el Golfo de California (GC), área subtropical altamente productiva (Brinton *et al.*, 1986), existe la necesidad de conocer los ciclos biogeoquímicos de los ET, requiriéndose una gran cantidad de información sobre la composición química del agua, materia suspendida particulada, macroalgas, sedimentos, fitoplancton,

zooplancton y otros componentes de este ecosistema marino (Daesslé *et al.*, 2002; 2004; Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001, 2006; Dean *et al.*, 2004). Aunado a esto, es necesario conocer cuáles son los posibles factores de variabilidad de las concentraciones y distribuciones de ET en los mencionados componentes del ecosistema del GC.

La presente investigación de tesis doctoral, se enfoca en la medición y análisis de elementos mayores y traza en zooplancton de las regiones Norte y central del GC. Este mar marginal es reconocido como un área donde ocurre un importante enriquecimiento de nutrientes y ET en la columna de agua que promueven altas tasas de productividad (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Hernández-Ayón *et al.*, 1993; Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001, 2006). Los elementos pueden ser transferidos desde aguas más profundas hacia las capas superiores del mar por diferentes procesos: surgencias estacionales, mezclas por corrientes de marea, giros etc. (Lavín & Marinone, 2003) y procesos biológicos que afectan la migración biogeoquímica de los ET de fuentes naturales y de origen antropogénico en el ambiente marino (Shumilin *et al.*, 1994; Bruland *et al.* 2001; Hsu *et al.*, 2003; Pempkowiak *et al.* 2006). Dado lo anterior, se pretende por caracterizar primera vez los niveles y distribución espacial de los contenidos de ET en el zooplancton del GC, así como tratar de deducir como diversos procesos ambientales influyen el comportamiento de los ET en zooplancton de este mar marginal.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes generales

Los estudios sobre acumulación de elementos en organismos marinos (en particular en zooplancton) se iniciaron a partir de los años 1950s, observando el transporte de radioisótopos desde áreas de pruebas nucleares o desde los reactores nucleares y plantas de procesamiento de los materiales radioactivos, producidos en los reactores, hacia el medio marino (Anónimo, 1971). Posterior a esto, se llevaron a cabo experimentos en laboratorio con radiotrazadores, que demostraron la rápida y

eficiente acumulación de radionúclidos en el plancton, mostrando además que existe un cambio evidente de su especiación química después de pasar por el ciclo biológico de los organismos planctónicos (Polikarpov, 1964; Gromov & Spitsyn, 1975). Shumilin & Tikhomirov (1982) inyectaron ^{54}Mn y ^{57}Co a un estanque con plancton vivo en agua del Océano Índico, revelando un cambio de especiación de ambos radionúclidos después de entrar en el ciclo biológico con una participación del fito- y zooplancton, resultando la transformación química de los iones simples hidratados, introducidos inicialmente a la comunidad planctónica, a complejos orgánicos hidrofílicos estables de Mn y Co.

Con respecto a lo anterior surgió también el interés de conocer la concentración de ET en organismos del zooplancton. Un estudio fundamental que se mantiene aún como fuente principal de información es el de Martin & Knauer (1973) quienes presentan los contenidos de ET en las muestras de zooplancton y microplancton recolectadas en el Pacífico Norte a lo largo de un transecto desde Hawaii hasta Bahía Monterrey (EUA). Estos autores mostraron los rangos de las concentraciones de varios elementos (ej. Ba, Cd, Cu, Fe, Pb, Sr, Zn) en el zooplancton, encontraron diferencias importantes entre las concentraciones de ET en los puntos extremos del transecto. De manera particular, ellos relacionaron altos contenidos del Sr en el zooplancton total con microzooplancton (radiolarios y dinoflagelados), el cual concentra muy activamente este elemento en sus estructuras esqueléticas. Martin & Knauer (1973) fueron los primeros en mencionar que los elementos pueden pasar a niveles superiores de la cadena trófica o pueden ser redistribuidos en el ambiente marino por diferentes vías, tales como son la migración vertical de los organismos planctónicos vivos, heces fecales o con el hundimiento de sus exoesqueletos.

Yamamoto *et al.* (1987) revisaron el contenido estomacal de ballenas minky (*Balaenoptera bonaerensis*), analizando Cu, Cd, Co Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn en *Euphausia superba* (eufausidos), sin encontrar diferencias significativas con respecto a su talla y localización dentro del organismo; no obstante fueron observadas diferencias significativas de tipo estacional en las concentraciones de elementos de estos eufausidos.

Díaz & Fernández-Puelles (1988) determinaron los contenidos de Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en el zooplancton de la zona de Islas Canarias, diferenciándolo por tallas con redes de diferentes tamaños (100 y 250 μm). Ellos demostraron la existencia de correlaciones altamente significativas de los siguientes pares de elementos: Fe-Cu, Cu-Ni y Fe-Ni en el total de las muestras, y de Co-Cu y Fe-Zn únicamente para la red de 100 μm , evidenciando la interrelación a nivel biológico de estos metales. Se reporta además que la acumulación de metales en el zooplancton fue mayor en los organismos recolectados con la red de 250 μm , proponiendo que los copépodos acumulan estos metales conforme a su desarrollo. Ridout *et al.* (1989) analizaron las concentraciones de algunos elementos (Cd, Mn, Fe, Ni, V, Cu Zn) en crustáceos (decápodos) del Noreste del Océano Atlántico. Ellos detectaron relaciones entre la talla y la concentración del metal debido a la diferencia en requerimientos de estos nutrientes en sus diferentes etapas de vida, como fue el caso de la especie *Systellaspis debilis*, que muestra un decremento en sus concentraciones de Mn al aumentar su talla. En otros dos estudios se registraron variaciones de las concentraciones de metales traza en el zooplancton recolectado en un transecto a lo largo del gradiente de salinidad en las áreas estuarinas del Río Mekong, en su zona de descarga en el Mar del Sur de China (Anikiev *et al.*, 1992) y del Río Razdolnaya que aporta sus aguas en Bahía Amursky en el Mar de Japón (Shumilin *et al.*, 1993). De acuerdo con estos autores la capa superficial del área de mayor productividad biológica se caracterizó por el aumento en el contenido de metales traza (Fe, Ni y Zn) en el plancton. Se observó además que la distribución de Fe y Mn varió con respecto a las abundancias de algunas especies de copépodos (*Pseudocalanus* y *Oncaea*). Shumilin *et al.* (1994) encontraron correlación entre los contenidos de Zn y Pb en seston con la productividad primaria registrada durante un florecimiento masivo de *Chattonella* sp. en octubre de 1987, en la Bahía Amursky (Mar de Japón). Adicionalmente el contenido de metales (Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) en zooplancton, colectado en la zona de mayor productividad, mostró que los copépodos (organismos de esqueleto quitinoso) fueron los de que mayor acumulación de ET, mientras que larvas de peces tuvieron niveles menores de metales, probablemente por la existencia de mecanismos fisiológicos mejor

desarrollados para su eliminación. Twining & Fisher *et al.* (2004) utilizaron técnicas de radiotrazadores para cuantificar la transferencia de Fe, Hg, Cd, Tl y Zn a copépodos a través del consumo de ciliados, dinoflagelados y flagelados heterótrofos, comparando con la asimilación por fitoplancton de otros estudios. De forma general los autores observaron diferencias en la eficiencia de asimilación de acuerdo al elemento. No obstante la asimilación de Ag, Cd, Fe y Zn fue de >50% a partir de la ingesta de protozoarios, con respecto a la reportada anteriormente para fitoplancton. Para los elementos Tl y Zn no se observaron diferencias significativas en la asimilación con ninguno de los alimentos.

Purkerson *et al.* (2003) al observar los elevados niveles de selenio en los ecosistemas acuáticos del Norte de California analizaron las concentraciones de este elemento en dos grupos de zooplancton en la Bahía de San Francisco. Las concentraciones promedio de Se en zooplancton del tamaño 73-250 μm fueron $3.5 \pm 0.9 \mu\text{g kg}^{-1}$, en las tallas de 250-500 μm se reportó $3.1 \pm 0.3 \mu\text{g kg}^{-1}$ y para los organismos $\geq 2000 \mu\text{m}$ se registró un valor de $1.7 \pm 0.7 \mu\text{g kg}^{-1}$. Ellos concluyeron que el zooplancton herbívoro-omnívoro con tallas pequeñas (principalmente Oithonidae y nauplios de copépodos) tuvieron mayor concentración de Se en comparación al zooplancton omnívoro-carnívoro de tallas grandes (*Eurytemora* spp., *Acartia* spp. y larvas de poliquetos). Además observaron una correlación significativa entre la concentración del Se en el zooplancton y la abundancia relativa de los copépodos de talla pequeña, demostrando el importante papel de los niveles tróficos y tallas en la regulación de Se en zooplancton.

Palacios-Fest *et al.* (2003) analizaron las concentraciones de 62 elementos, entre metales pesados y tierras raras, en conchas de *Cyprideis* spp. (ostrácodos) procedentes de tres zonas: Laguna S'Albufera des Grau, España, Isla Lee Stocking, Bahamas y la Laguna de Tamiahua, México. Los autores observaron altos niveles de Cd, Fe, Mn y Pb, particularmente en la Laguna Tamiahua. Las tierras raras fueron en general extremadamente bajas, pero muestran una afinidad con el patrón del Mn y Fe en la laguna mexicana. De acuerdo con los autores los niveles de concentración registradas, pueden ser resultado del aporte de aguas residuales de la industria local y regional, así como de fuentes domésticas. Por lo que ellos proponen, que estos

contenidos tan altos sean debido a los aportes antropogénicos, por las numerosas fuentes de contaminación en las cuencas de drenaje de los ríos Pánuco y Tuxpan. Sin embargo, las diferencias en las condiciones redox entre los sitios puede ser un factor que influye en la captura de metales por ostrácodos. Concluyendo que las concentraciones bajas de elementos en la laguna de España y la zona de las Bahamas son por bajo impacto, y que elementos como Fe, Mn y tierras raras son importantes indicadores de contaminación en las valvas de *Cyprideis* spp.

Pempkowiak *et al.* (2006) analizaron las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en el zooplancton de dos bahías costeras del Báltico Sur (Bahía de Gdańsk y Bahía de Pomerania). Ellos registraron los niveles más altos de estos elementos dentro de las bahías en comparación con el mar abierto, debido al enriquecimiento del material particulado y disuelto en estas áreas costeras. También fueron observadas diferencias de concentraciones entre ambas bahías, para lo que los autores explican que los mayores niveles en la Bahía de Gdańsk son debido a los aportes directos del Río Vístula, mientras que la Bahía de Pomerania recibe material del Río Odra después de pasar por la Laguna Szczecin, la cual se encuentra en una zona intermedia entre la Bahía Pomerania y el río, funcionando como un reservorio de metales, siendo consecuentemente menores las concentraciones de elementos pesados que entran en la Bahía Pomerania.

2.2. Antecedentes regionales

Elementos traza

Los estudios sobre detección y cuantificación de elementos en el GC iniciaron desde los años 1950's, siendo enfocados casi exclusivamente a los sedimentos. Parte de estos estudios se relacionan con descripciones mineralógicas (ej. Byrne & Emery, 1960; Calvert, 1966), geoquímica de metales traza y distribución de metales en los sedimentos en áreas limitadas (Niemitz, 1977; Páez-Osuna & Osuna-López, 1990), así como una descripción parcial de la geoquímica de metales traza de sedimentos del Alto Golfo (Shumilin *et al.*, 2002). Daessle *et al.* (2002) mostraron que la distribución de Fe y Mn en sedimentos superficiales del Norte del GC está

controlada por las partículas de tamaño de grano fino. El enriquecimiento de ambos elementos en los sedimentos fue detectado en la región de suroeste del Delta del Río Colorado y a lo largo de la costa de Baja California; sin embargo para el Fe principalmente esta última zona es la de mayor importancia debido a una pluma de partículas en suspensión ubicada frente a Puertecitos, mientras que el Mn se detectó con mayores concentraciones en la Cuenca Delfín; mencionando que en el Norte del GC el Fe y el Mn son enriquecidos debido a su asociación con los sedimentos arcillosos ubicados al sur del Delta del Río Colorado, sin embargo esto está aún en discusión.

Se ha demostrado que los componentes mayores de sedimentos superficiales del GC (Baba *et al.*, 1991) y elementos mayores y traza de núcleos de sedimentos de los márgenes norte y sur de la Cuenca Guaymas fuera de la zona de la actividad hidrotermal profunda (Dean *et al.* 2004), que son una mezcla de elementos terrígenos con la contribución significativa de sílice biogénico y de materiales biogénicos calcáreos, indicando el importante papel del plancton en la sedimentación, en el ciclo de los ET y en la composición elemental de los sedimentos del fondo.

Recientemente el estudio de metales traza en materia particulada en hundimiento retomó importancia en cuanto al conocimiento del papel del fito- y zooplancton como portadores de los elementos en el transporte vertical de las partículas. Tambiev & Demina (1992) analizaron metales en sedimentos, materia suspendida y material particulado en hundimiento en las zona de las ventilas hidrotermales profundas de la Cuenca Guaymas. Estos autores encontraron heces fecales enriquecidas con Mn en trampas de sedimento en estratos profundos encima de las ventilas hidrotermales. Ellos concluyeron que el plancton bentopelágico pastorea bacterias enriquecidas por manganeso de origen hidrotermal, excretando mediante heces fecales los óxidos de manganeso en forma de vernadita. Nameroff *et al.* (2002) encontraron que las concentraciones de Cu, Ba, Cd, Mo, Re, U y V en material particulado, columna de agua y sedimentos en la plataforma continental y en el talud continental frente a Mazatlán estuvieron influenciadas por las bajas

concentraciones de oxígeno, y que las partículas en hundimiento estuvieron compuestas principalmente por material litogénico y de origen biogénico.

Uno de los trabajos más recientes, fue realizado por Rodríguez-Figueroa *et al.* (2009) y Rodríguez-Figueroa (2010) en la región minera de Santa Rosalía en el GC, donde se muestra un fuerte enriquecimiento de Cu y otros ET (Co, Mn y Zn) en sedimentos, asociada a las actividades mineras y de fundición de Cu. El As, Sb, Br, Se, y Sr mostraron enriquecimiento en toda el área de estudio como señal geoquímica natural. Sin embargo en el sector central de Santa Rosalía detectaron mayores concentraciones de Co, Cu y Zn en sedimentos, pero no en macroalgas, concluyendo que estos niveles son causados por contaminación antropogénica.

Además de los estudios mencionados, se han llevado a cabo pocos estudios de ET en su fase disuelta y/o particulada, como por ejemplo para cadmio (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001), manganeso (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2006) y fierro (Segovia Zavala *et al.* 2009, 2010), encontrándose ciertas similitudes en las características de enriquecimiento, causados por aporte eólico, resuspensión de sedimentos y procesos de foto-reducción (particularmente para Fe y Mn).

Zooplankton

En general, existen contados estudios de zooplankton en el GC, enfocándose principalmente en aspectos ecológicos a nivel de grandes grupos, así como a la distribución de biomasa zooplanctónica y variaciones en la distribución y abundancia estacional, asociados a condiciones ambientales a distintas escalas espaciales y temporales (ej. eventos El Niño) (Brinton *et al.*, 1986; Jiménez-Pérez & Lara-Lara, 1988; Hernández-Trujillo & Esquivel-Herrera, 1989; Lavaniegos-Espejo & Lara-Lara, 1990; Siordia-Cermeño & Sánchez-Velasco, 2004; Sánchez-Velasco *et al.* 2009; Gómez-Gutiérrez *et al.* 2010; Tremblay *et al.* 2010). Hasta el momento, los estudios de los contenidos de los elementos en el zooplankton y de los factores ambientales del ecosistema pelágico en el GC que los controlan, han sido poco abordados. Renteria-Cano *et al.* (2010) reportaron las concentraciones de elementos mayores y traza en el zooplankton de la región Norte del GC y del archipiélago central. Los

elementos se asociaron en tres grupos de acuerdo a sus niveles de concentración: 1) elementos mayores, Na y Ca; 2) elementos biológicamente activos, Fe y Zn; y la tercera asociación que se subdividió en dos grupos 3a) elementos de origen terrígeno (Sc y Th) y 3b) elementos de óxido-reducción (Co y U), concluyendo que la resuspensión de sedimentos por la mezcla por corrientes de marea en el Alto Golfo, el giro ciclónico del verano en el Norte del GC y los efectos de surgencia en el Canal de Ballenas fueron características oceanográficas que afectaron la concentración y distribución de los elementos contenidos en el zooplancton.

3. JUSTIFICACIÓN

El GC, que es reconocido como un área altamente productiva, ha sido objeto de diversos estudios de gran importancia con enfoques ecológicos y/o pesqueros. Sin embargo, pocos estudios han tenido implicaciones de los ciclos biogeoquímicos, con los cuales, se puede generar información de ET como nutrientes, trazadores de procesos, reconstrucciones paleontológicas y contaminación. Dichos estudios en el GC, han sido enfocados casi exclusivamente hacia sedimentos de áreas restringidas (Alto y Norte del GC).

Hasta la fecha, no existen más estudios con respecto a ciclos biogeoquímicos donde el fitoplancton sea el principal objetivo de estudio. No obstante, este grupo es considerado de gran relevancia, ya que tiene una mayor sensibilidad con respecto a las concentraciones disueltas de los ET, cuando son utilizadas como indicadores de contaminación en sistemas marinos y por ser uno de los primeros eslabones de la cadena trófica, participa en parte como un regulador de ET en la columna.

Sin embargo debido a las tallas tan pequeñas de este grupo, representa complicaciones de tipo metodológicas. Por lo que el zooplancton que es de mayor tamaño y el siguiente eslabón trófico, puede ser el método más apropiado para iniciar estudios enfocados al entendimiento de los ciclos biogeoquímicos y migración biogeoquímica en el ambiente marino, así como para aclarar el papel de los flujos de

los ET en el funcionamiento de los ecosistemas y en la formación de los sedimentos del fondo.

4. HIPÓTESIS

Con base en la literatura, se sabe que la distribución y las concentraciones de los elementos mayores y traza del GC van a presentar una variación, como resultado del aporte de diferentes fuentes de origen (mecanismo eólico, aporte fluvial y ventilas hidrotermales), así como del efecto de estructuras hidrográficas (circulación, surgencias, resuspensión, giros y mezcla por corrientes de marea). De acuerdo con lo anterior, se espera encontrar una variación de tipo estacional en los contenidos de elementos en el zooplancton, con gradientes espaciales que se relacionen con la composición y la abundancia de los grupos específicos del zooplancton, así como las estructuras hidrográficas que prevalecen en cada época del año.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo principal

Conocer la concentración y distribución de los elementos mayores y traza en el zooplancton del GC durante diferentes épocas del año e identificar los factores ambientales (ej. circulación, clorofila, biomasa del zooplancton) que influyen en su variación.

5.2. Objetivos particulares

- Conocer la concentración y distribución de los elementos mayores y traza en el zooplancton del GC durante diferentes estaciones del año.

- Identificar las asociaciones de elementos mayores y traza detectados en la biomasa del zooplancton.
- Determinar los coeficientes de acumulación y factores de enriquecimiento de los elementos contenidos en el zooplancton.
- Relacionar la distribución y concentración de los elementos en el zooplancton con las condiciones hidrográficas y biológicas del área de estudio.

6. ÁREA DE ESTUDIO

El GC es un mar subtropical semi-cerrado que resalta entre otros de latitudes medias por sus pronunciados cambios estacionales en propiedades termohalinas, estructura de la columna de agua y sus patrones de circulación (Lavín y Marinone, 2003) (Figura 1).

El Alto Golfo se distingue por ser un área somera (<30 m de profundidad), con características antiestuarinas debido a las altas salinidades registradas, alcanzando 39.0 en la época de verano, debido a la alta tasa de evaporación (0.9 m año^{-1}) (Lavín & Organista, 1988; Lavín *et al.*, 1998). Además es una zona con fuerte resuspensión de sedimentos (principalmente aportados de los márgenes continentales y del Río Colorado) causado por la mezcla de la columna de agua por las corrientes de marea. Se ha observado que a lo largo de la costa este del Norte del GC fluye una corriente costera hacia el NW durante el período ciclónico (verano) y hacia el SE durante el período anticiclónico (invierno), lo que está ligado con el giro estacionalmente reversible del NGC (Lavín *et al.*, 1997; Sánchez-Velasco *et al.*, 2009).

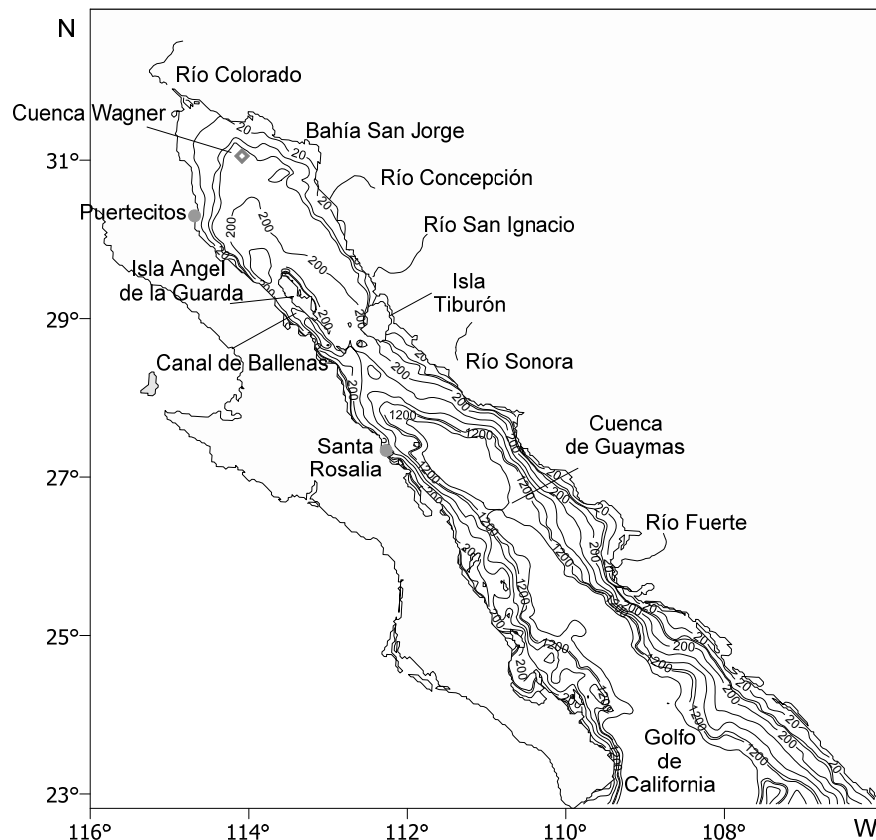


Figura 1. Batimetría y toponimia del área de estudio. Los datos de batimetría fueron proporcionados por el equipo de oceanografía física de CICESE. Las coordenadas de Ríos fueron obtenidos de las bases de datos de CONABIO

La región del archipiélago central y los procesos de mezcla vertical que ahí ocurren, generan una alta productividad, lo que da al GC una de sus principales características. Al pasar la onda de marea sobre los umbrales entre las varias cuencas produce corrientes de marea muy fuertes ($> 1.5 \text{ m s}^{-1}$) durante todo el año. Al Oeste de la Isla Ángel de la Guarda se encuentra el Canal de Ballenas, que es una subprovincia profunda (800-1600 m) del NGC, donde la mezcla de marea y las surgencias inducidas por corrientes sub-superficiales convergentes generan condiciones hidrográficas específicas: la estratificación que tiende a ser débil, mientras que la temperatura superficial es la más baja del Golfo (Argote *et al.*, 1995; López *et al.*, 2006). Lo anterior resulta en inyección de nutrientes a la superficie provocando que sea un sistema muy productivo (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991;

Paden *et al.*, 1991; Gaxiola-Castro *et al.*, 1999; Cortes-Lara *et al.*, 1999), soportando parcialmente una alta producción primaria al GC (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Se sugiere que estos procesos son una fuente potencial de ET a la parte superior de la columna de agua, obteniéndose un enriquecimiento superficial comparado a las aguas del Océano Pacífico (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001).

Además de las características topográficas, la hidrodinámica del GC está también influenciada por eventos de mayor escala como los fenómenos El Niño y La Niña, así como por la presencia de vientos (Jiménez *et al.*, 2005). En el verano los vientos provenientes del sur inducen la entrada de agua superficial de Pacífico Ecuatorial, favoreciendo surgencias estacionales moderadas en la costa oeste de la región central del GC e intensas surgencias a lo largo de la costa oriental durante el invierno (Ziveri & Thunell, 2000; López-Calderón *et al.*, 2008).

Fuentes de entrada de elementos traza

La entrada atmosférica al GC aún no ha sido bien caracterizada, excepto por el régimen de precipitación pluvial (Brito *et al.*, 2010), por lo que la composición y flujo de depositación de partículas sólidas todavía no están claros, aunque se espera que exista un importante aporte de material de las tormentas de polvo del desierto de Sonora, el cual no han sido cuantificado aún (Lisitsyn, 1996; Trasviña *et al.* 2003; Ortiz-Figueroa, 2009).

El aporte de material proveniente de ríos es escaso (Baumgartner *et al.*, 1991). Esto debido a que los principales aportes de agua dulce y sedimentos a las regiones del Norte y Alto Golfo han sido alteradas drásticamente con la construcción de presas durante el siglo XX, principalmente el agua del Río Colorado. Este río fue el más importante aporte fluvial en el GC (Carriquiry *et al.*, 2001, Shumilin *et al.*, 2002). En la actualidad sólo el Río Sonora ubicado al sur de Isla Tiburón tiene una cierta descarga hacia el Golfo central alrededor de todo el año y algunos ríos intermitentes (Ej. Río Concepción y Río San Ignacio). Estos aportan agua y

sedimentos de la arena del desierto de Sonora a la costa este del Norte del Golfo (norte de Isla Tiburón) con limitada influencia local sobre el ambiente marino adyacente. Más al sur, en las costas de Sinaloa, El Río Fuerte es una de las más importantes fuentes fluviales.

La actividad hidrotermal es otra fuente importante de ET (Ej. Fe y Mn) al ecosistema pelágico del GC. En la Cuenca de Guaymas existe un sistema de ventilas hidrotermales profundas que emanan fluidos de altas temperaturas causando un ambiente reductor y deposición de elementos cerca del fondo. (Campbell *et al.*, 1988; Von-Damm, 1985, Gieskes *et al.*, 1991; Dick *et al.*, 2006; Demina *et al.*, 2009). Se ha reportado también la existencia de descargas de fluidos gas-hidrotermales de baja temperatura cerca de la Cuenca Wagner en el NG (Vázquez-Figueroa *et al.*, 2009), fuentes geotermales e hidrotermales en la costa oeste del Golfo (Barragán *et al.*, 2001), en la zona costera del GC en Bahía Concepción y en Punta Mita en el Estado de Nayarit (Prol-Ledezma *et al.*, 2004; Leal-Acosta *et al.*, 2010), dando características prominentes al área, lo que motiva fuertemente el estudio de los ET dentro del GC en sus diferentes formas, como lo es su presencia en el zooplancton, quedando por determinar la variabilidad del transporte vertical de estos productos hidrotermales, así como la migración vertical de organismos del zooplancton.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Hidrografía y datos ambientales

Las muestras de zooplancton y los datos físicos y químicos fueron recolectados a bordo del B/O “Francisco de Ulloa” durante los cruceros oceanográficos realizados del 1-7 de agosto del 2003, del 20-28 de febrero del 2007 y del 2-17 de junio del 2008. Otra campaña fue llevada a cabo del 2-11 de junio del 2005 a bordo del B/O “Altair” de la Armada de México y dos más a bordo del B/O “El

Puma” del 13 al 26 de enero del 2007 y del 20 de julio al 2 de agosto del 2007. Los muestreos cubrieron desde la parte Norte del GC hasta la parte sur del archipiélago central (Figura 2).

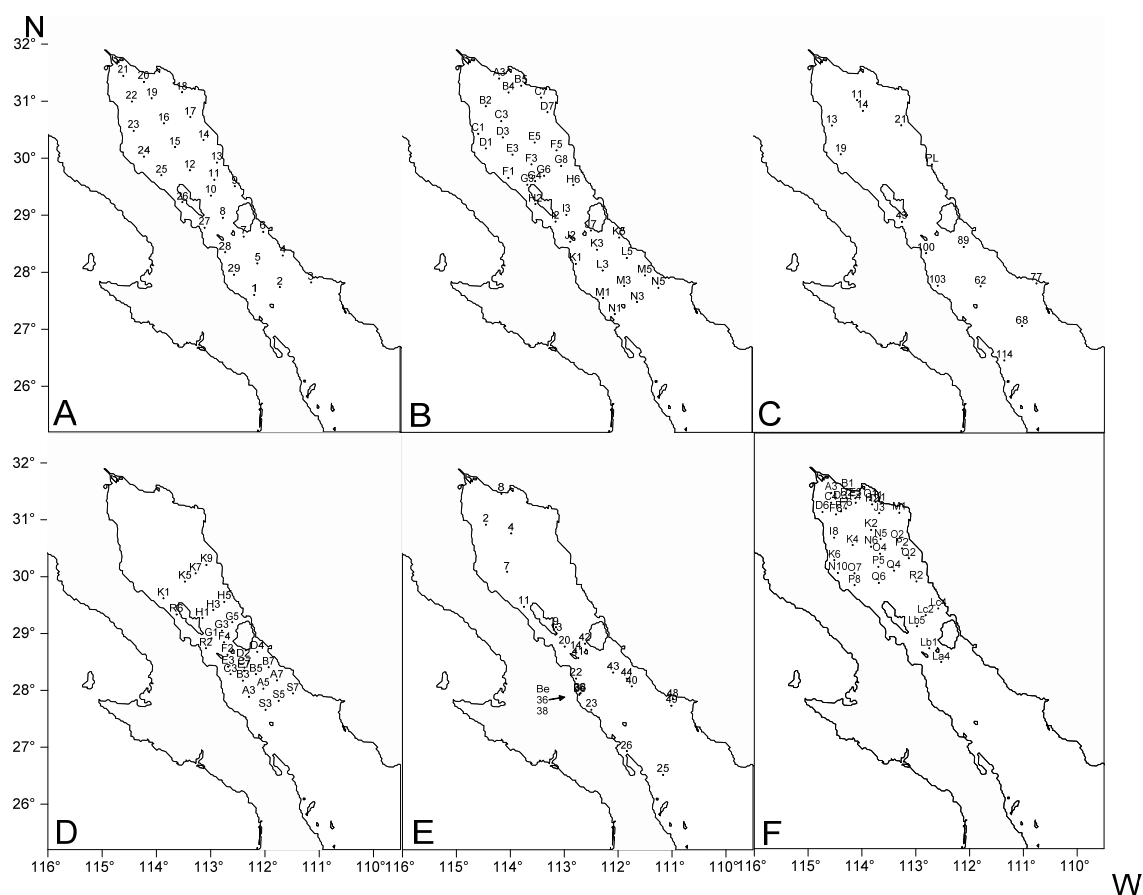


Figura 2. Red de las estaciones de muestreo de las campañas oceanográficas realizadas durante A) agosto del 2003, B) junio del 2005, C) enero del 2007, D) febrero del 2007, E) julio del 2007 y F) junio del 2008

Para los cruceros realizados en el B/O “Francisco de Ulloa”, perfiles verticales de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y fluorescencia fueron obtenidos en cada estación con un CTD “Sea Bird” modelo 911 *plus*. Con los valores de fluorescencia obtenida fue estimada la clorofila *a* con las ecuaciones propuestas por Kiefer *et al.* (1989) y Chamberlain *et al.* (1990). Estos datos fueron procesados por

(García-Córdoba *et al.*, 2007; Sánchez-Velasco *et al.*, 2007; Godínez *et al.* 2008) con el programa Matlab. Adicionalmente fueron utilizadas imágenes de satélite del promedio semanal de clorofila *a* y temperatura superficial del mar, las cuales fueron obtenidas a partir del satélite “AQUA-MODIS” (4 km x 4 km) para interpretación hidrográfica complementaria a la registrada. Con apoyo de estas imágenes de satélite se ubicaron estructuras de mesoescala como giros y filamentos en los cruceros oceanográficos de agosto del 2003, junio del 2005 y febrero del 2007.

Clorofila a y nutrientes

Se tomaron muestras de agua a diferentes profundidades mediante botellas Niskin de 5 L para la determinación de concentración de clorofila *a*, nutrientes (nitritos, nitratos y fosfatos) y pigmentos accesorios. La extracción de la clorofila *a* fue hecha filtrando 1L de agua de mar a través de un filtro tipo “GF-F” con tamaño de poro 0.7 μm . Los filtros fueron colocados por 24 horas en 10 mL de acetona al 90% para extraer los pigmentos (Venrick & Hayward, 1984). Los cálculos de la concentración de clorofila *a* fueron realizados aplicando la ecuación de Jeffrey & Humphrey (1975) expresados mg m^{-3} . Las concentraciones de nutrientes fueron obtenidas siguiendo las técnicas estándares Strickland & Parsons (1972) y las unidades fueron dadas en $\mu\text{g-at l}^{-1}$. Los pigmentos accesorios fueron analizados mediante la técnica cromatográfica de HPLC y fueron expresados en mg m^{-3} . En la Tabla 1, se muestra en que campañas oceanográficas se obtuvieron muestras para la extracción de clorofila *a*, nutrientes y pigmentos accesorios.

Tabla 1. Cruceros oceanográficos donde fueron obtenidas muestras de agua con botellas Niskin, para la extracción de clorofila *a*, nutrientes y pigmentos accesorios. Se indica el nivel de profundidad de donde fue tomada la muestra utilizada en este trabajo.

Campaña oceanográfica	Clorofila- <i>a</i>	Nutrientes (NO ₂ , NO ₃ , PO ₄)	Pigmentos accesorios
-----------------------	---------------------	--	-------------------------

Agosto del 2003	- Superficie - Nivel de máxima fluorescencia		
Junio del 2005	No hubo		
Enero del 2007	Estrato de 10m		Estrato de 10 m
Febrero del 2007	Estrato de 10 m	Estrato de 10 m	
Julio del 2007	Estrato de 10m		Estrato de 10 m
Junio del 2008	No hubo		

Zooplankton

Durante las campañas de agosto del 2003 y junio del 2005 las muestras de zooplankton fueron obtenidas utilizando una red Bongo con una boca de 60 cm de diámetro y malla de 505 y 333 μm . Los arrastres fueron de tipo oblicuo desde los 200 m hacia la superficie en las estaciones profundas. Cuando las estaciones fueron someras, los arrastres se realizaron por arriba de los 10 m del fondo (Smith & Richardson, 1979). Cada una de las bocas de la red tenía colocado un flujómetro calibrado para calcular el volumen de agua filtrado.

Las muestras de zooplankton obtenidas durante las campañas de febrero del 2007 y junio del 2008 fueron recolectadas con una red cónica de boca de 60 cm de diámetro y malla de 505 μm . Los arrastres fueron superficiales (1 m de profundidad) con una trayectoria semicircular durante 10 minutos (Smith & Richardson, 1979). Las muestras de zooplankton de las campañas oceanográficas de enero 2007 y julio 2007 se recolectaron mediante una red cónica con boca de 1 m de diámetro y malla negra de 333 μm (denominada “red viva”, no cuantitativa), con un copo duro y cerrado de 75 cm de largo y 25 cm de diámetro. Las muestras fueron tomadas a diferentes profundidades, siendo esto determinado de acuerdo a la capa de dispersión del sonido, representativa del zooplankton en la columna de agua, detectada simultáneamente al lance con un ecosonda SIMRAD EY500 (120 kHz). La

captura del zooplancton se realizó con el buque a la deriva por un período de 10 minutos.

De cada una de las muestras de zooplancton fue tomada una alícuota (aproximadamente de 50 ml) para su análisis elemental, la que fue inmediatamente congelada hasta su procesamiento en el laboratorio. El resto de la muestra fue preservado con formalina al 10%, neutralizada con borato de sodio. Cuando el muestreo fue con la red Bongo, se tomó el zooplancton recolectado con la malla de 505 μm .

Se estimó biomasa zooplanctónica para cada uno de los muestreos, la cual fue calculada mediante el método de volumen desplazado obteniéndose valores en $\text{ml}/1000 \text{ m}^3$ (Kramer *et al.*, 1972). Para los meses de agosto del 2003 y junio del 2005, enero y julio del 2007 los valores de biomasa fueron obtenidos de la red Bongo de malla de 333 μm . Para los cruceros realizados durante los meses de febrero del 2007 y junio del 2008 los valores de la biomasa zooplanctónica fueron tomados de redes de cierre apertura y cierre con malla de 505 μm (estrato de 0-50 m de profundidad).

En el laboratorio las muestras de zooplancton fueron descongeladas, lavadas con agua desionizada para la eliminación de sales y secadas en un horno a 60 °C por 24 horas. Las muestras secas fueron homogeneizadas en un mortero de ágata.

7.2. Caracterización de grupos de zooplancton

La estructura de la comunidad fue analizada únicamente para agosto del 2003. Se tomaron alícuotas (1/8) de las muestras del zooplancton de la malla de 333 μm . Estas submuestras fueron examinadas bajo un microscopio estereoscópico de disección. Los grupos del zooplancton fueron identificados a nivel de orden o clase mediante la utilización de literatura taxonómica especializada (Smith, 1977; Boltovskoy, 1981), mientras que los copépodos se identificaron a nivel de especies, por ser el grupo dominante (Palomares-García *et al.*, 1998). Este procedimiento se llevó a cabo con la finalidad de observar tendencias de acuerdo a las abundancias de

los grupos taxonómicos identificados y a la distribución y concentración de elementos mayores y traza obtenidos.

7.3. Análisis elemental de las muestras

Las concentraciones de ET en zooplancton fueron obtenidas a partir de diferentes métodos de análisis químicos: activación neutrónica instrumental, espectrofotometría de adsorción atómica, la técnica clásica de fósforo y espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo de alta resolución. Las concentraciones obtenidas para los elementos mayores están dadas en porcentaje y para los ET se expresan en mg kg⁻¹. En la Tabla 2 se especifica que análisis fue aplicado a cada uno de los muestreos.

Tabla 2. Método de análisis de elementos utilizado en cada temporada de muestreo.

Método de análisis	Campaña de muestreo
Activación neutrónica instrumental	Agosto del 2003, junio de 2005, enero, febrero y julio del 2007
Espectrofotometría de absorción atómica	Febrero, 2007
Técnica clásica de espectrofotometría	Febrero, 2007
ICP MS-HR	Junio, 2008

7.3.1. Análisis de ET en el zooplancton por el método de activación neutrónica instrumental

De cada una de las muestras del zooplancton homogeneizadas se tomó una submuestra de 60 mg, las cuales fueron analizadas en el Instituto de Geoquímica y Química Analítica de V. I. Vernadsky de la Academia de Ciencias de Rusia (Moscú,

Rusia), donde fueron obtenidas las concentraciones de elementos mediante el método de análisis de activación neutrónica instrumental (AANI). Las muestras fueron irradiadas con neutrones térmicos (flujo = 2.8×10^{13} n/s cm²) para inducir radioactividad, la cual se midió con un espectrómetro de rayos gamma, marca Nokia con 4096 canales y con detector Ge (Li) de alta resolución. Las fuentes espectrofotométricas de los rayos gamma fueron usadas para la calibración instrumental (¹⁵²Eu) (Shumilin *et al.*, 2000). Los elementos determinados por este método fueron As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, Rb, Sc, Sb, Se, Sr, U, Zr, así como algunos elementos del grupo de las tierras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu). La exactitud del método se evaluó mediante la aplicación de estándares de referencia SRM 1646 que es un sedimento estuarino, así como materiales estándares analíticos rusos para corroborar la precisión de los datos obtenidos. La exactitud obtenida para cada elemento en conjunto de los estándares, así como los límites de detección de los elementos por este método se presentan la Tabla 3.

7.3.2 Análisis de ET en el zooplancton por el método de espectrofotometría de absorción atómica

Las concentraciones de Cd, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en zooplancton fueron determinadas por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con flama aire: acetileno. Para obtener las concentraciones de elementos, fue tomada una cantidad de 25 mg de la muestra seca, la que fue digerida en vasos de precipitado con teflón en ácido nítrico concentrado de alta pureza calentándose en una parrilla. El residuo final de sales húmedas fue transferido a matraces de 25 ml. El volumen

Tabla 3. Límite de detección y exactitud del material de referencia utilizado para el análisis con el método de activación neutrónica instrumental.

Elemento	Límite de detección (mg kg ⁻¹)	Exactitud (%)
As	0.8	8 - 10
Ba	80	10 - 15
Ca	5000	8 - 10
Co	0.05	2 - 5
Cr	2	2 - 5
Cs	0.5	8 - 10

Cu	100	15 - 20
Fe	100	2 - 5
La	0.2	0.02 – 0.05
Lu	0.04	0.05 – 0.08
Rb	15	8 - 10
Sb	0.5	8 - 10
Se	0.5	10 - 15
Sc	0.05	2 - 5
Sm	0.05	0.02 - 0.05
Tb	0.05	8 - 10
U	0.2	5 - 8
Yb	0.2	0.05 – 0.08

fue aforado a la capacidad del matraz con 1 M HNO₃. Los blancos y los estándares de referencia QTM 072 MS y QTM 073 MS (ejercicio de intercalibración internacional “Quasimeme”) fueron incorporados en las series de mediciones de soluciones para mantener la calibración continua. Las concentraciones de Cu, Mn y Zn en soluciones finales fueron medidas en el laboratorio analítico del Instituto de Oceanología de P. P. Shirshov de la Academia de Ciencias de Rusia, por espectrofotómetro de absorción atómica “Kvant-2” (Cortec, Rusia) con la corrección del fondo con una lámpara de deuterio. La calidad de los resultados del análisis de materiales de referencia se muestra en la Tabla 4.

7.3.3. Determinación de fósforo en zooplancton por el método de espectrofotometría clásica

La determinación de la concentración de fósforo fue llevada a cabo por medio de la técnica de espectrofotometría clásica modificada (Aspila *et al.*, 1976).

Tabla 4. Límite de detección y exactitud del material de referencia utilizado para el análisis de elementos con el método de espectrofotometría de absorción atómica.

Elemento	Límite de detección mg kg ⁻¹	Material de referencia Exactitud (%)
Cd	0.16	2-5
Cu	4	2-5
Mn	12	2-5

Ni	12	2-5
Pb	4	5-10
Zn	2	2-5

Dicho análisis fue realizado en el laboratorio del Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Carolina del Sur (EUA), donde se analizó una alícuota de 80 mg de zooplancton por estación. Para conocer la exactitud analítica se utilizó el material estándar de referencia NIST 1573a (hojas de tomates). Este estándar de referencia fue seleccionado a causa de su semejanza en el contenido de fósforo con las muestras (0.216 %) y porque está compuesto de material orgánico fresco (Tabla 5).

7.3.4. Determinación de elementos en zooplancton por el método de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo de alta resolución

La determinación del contenido de los elementos: Ag, As, Au, B, Ba, Be, Ca, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Re, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn y Zr en el zooplancton fue realizada por el método de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo de alta resolución. Para llevar a cabo el proceso de digestión se colocó la muestra en un vial de teflón de 9 ml. Para la digestión fueron utilizados como reactivos de acuerdo a sus propiedades, ácido fluorhídrico (HF), agua destilada y agua regia, y fue utilizado el método de digestión por calentamiento de agua (95°C durante 4 horas), así como la dilución de la muestra (el factor de dilución apropiado se elige en función del límite de detección del equipo y de la cantidad de la muestra analizada). Las muestras fueron directamente introducidas en un Thermo Finnigan Element 2 en viales pequeños para control manual, habiendo revisado previamente cada uno de los factores y asegurándose de que todos fueran normales. Las soluciones resultantes de la

muestra fueron diluidas y analizadas en un Thermo Finnigan Element 2 ICP-MS de alta resolución. El material de NIST 1575a fue utilizado como material de referencia estándar para el control de calidad, además de usar los NIST 1643e y SLRS 5 para revisar la calibración estándar. Todos los elementos en el blanco estuvieron por debajo del límite de detección. La exactitud y los límites de detección se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5. Límite de detección y exactitud del material de referencia utilizado para el análisis de fósforo.

Límite de detección (mg kg ⁻¹)	Valor certificado (mg kg ⁻¹)	Material de referencia (mg kg ⁻¹)	Exactitud (%)
15.5	2159 ± 40	2165 ± 34	0.3

7.4. Tratamiento estadístico y representación gráfica de datos obtenidos

Los datos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto fueron promediados en los primeros 10 m de la columna. El valor de máxima fluorescencia fue utilizada como un dato indirecto de la concentración sub-superficial de clorofila *a*. Posteriormente fueron elaborados mapas para conocer la distribución espacial de las variables ambientales, de los grupos más abundantes del zooplancton y especies de copépodos (agosto del 2003), así como de las concentraciones de elementos mayores y traza en el zooplancton.

Tabla 6. Límites de detección y exactitud del material de referencia utilizado para el análisis elemental con el método de HR-ICPMS.

Elemento	Límite de detección µg kg ⁻¹
Ag, Bi, Gd, Mo, Sc, Te, U	1
As, Hg, Li, Th, W, Zr	5
Au, Be, Cd, Cs, Eu, In, Ni, Re, Sm, Ta	0.1

Ba	1
Ca	2
Ce, Co, Ga, Nb, Pr, Tl	0.5
Cr, Ge, Mn, Pb, Rb, V	10
Cu, Sr, Ti	20
Dy, Er, Tm	0.05
Fe, Mg	500
Hf	2
Ho	0.01
K, Na	10
La, Lu, Nd, Sb, Y	0.2
Sn	40
Tb	0.02
Yb	0.4

Relación de la concentración de elementos contenidos en zooplancton con la biomasa del zooplancton

Para determinar si existen relaciones entre las concentraciones de elementos mayores y traza en el zooplancton y los valores de biomasa zooplanctónica en cada una de las temporadas, fueron realizadas correlaciones de Pearson. También se realizaron dichas correlaciones, conjuntando los datos (de todas las campañas) en una sola matriz.

Abundancia de los grupos del zooplancton de agosto del 2003

Para determinar patrones de abundancia de los grupos del zooplancton y especies de copépodos de agosto del 2003, las matrices fueron transformada a raíz cuarta y posteriormente fueron obtenidos dendrogramas mediante el índice de Bray-Curtis y el método UPGMA (unweighted pair-group method using arithmetic averages) en tipo Q con la finalidad de tener asociaciones en terminos de distribución

y abundancia en cada una de las matrices. Con este índice es posible considerar las proporciones en abundancias relativas entre las especies de zooplancton. Este método tiene la ventaja de no ser afectado por las estaciones con abundancias cero, siendo un índice suficientemente robusto para datos zooplanctónicos, ya que no da demasiado peso relativo a las especies raras (Field *et al.*, 1982).

A cada una de las asociaciones de zooplancton y de especies de copépodos, definidas por el índice de Bray Curtis, les fue aplicada una prueba de Olmstead Tukey para dar una categorización de los taxa más importantes (García de León, 1988).

A la matriz de elementos mayores y traza contenidos en el zooplancton, le fue aplicada la misma técnica de análisis para la determinación de asociaciones (Bray-Curtis - UPGMA) en tipo R, habiendo sido transformado previamente con el método de raíz cuarta.

Se realizó un análisis estadístico multivariado para establecer que variables ambientales tuvieron mayor influencia en la distribución de los contenidos de los ET en el zooplancton. Para determinar esta relación fue utilizado el análisis multivariado de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS). Este es un método de ordenación no paramétrico adecuado para datos de abundancia y distribución de organismos debido a que estos no tienen una distribución estadística normal y usualmente presentan escalas discontinuas entre especies. Una de las ventajas de esta técnica, es que al basarse en rangos de distancia tiende a linearizar la relación entre la distancia ambiental y la distancia de las variables biológicas, contrarrestando el problema generado por múltiples ausencias de especies (elementos con abundancia de cero) en las estaciones de muestreo. El NMDS cuantifica la similitud entre estaciones y las arregla en un espacio multidimensional sobre la base del orden del rango de las distancias entre las estaciones. La proporción de la varianza de cada eje está basada en la correlación de Pearson (r^2) entre la distancia en la ordenación y la distancia en el espacio original (McCune *et al.*, 2002). Para calcular el NMDS se requieren dos matrices de datos. En este caso la matriz de concentraciones de elementos y la de variables ambientales (cuantitativas y categóricas), las que fueron previamente relativizadas por columna para disminuir la

varianza (McCune *et al.*, 2002). Las variables categóricas consideradas en este análisis fueron: la temporalidad del muestreo, regionalización del área de estudio (Norte del GC, región del archipiélago central y sur del archipiélago), hábitat nerítico (≤ 200 m de profundidad) y oceánico (> 200 m de profundidad) y muestreos entre el día y la noche cuyos intervalos variaron estacionalmente. El análisis NMDS fue llevado a cabo mediante el programa PC-ORD versión 4.25 (McCune & Mefford, 1999). Una vez que se identificaron los modos de variación de los factores calculados por el NMDS se definieron varias hipótesis que contrastan posibles agrupamientos con base a las variables categóricas utilizando la técnica no paramétrica de procedimiento permutacional multirespuesta (MRPP) (McCune *et al.*, 2002) con la finalidad de saber, si existen diferencias significativas entre los grupos definidos con variables categóricas. Las comparaciones obtenidas con este análisis fueron probadas con un índice indicador de especies (elementos) (AIE) para identificar, que elementos están influenciados por las variables analizadas de acuerdo con las hipótesis nulas, propuestas para el MRPP. Este método mide la fidelidad de ocurrencia de un elemento contenido en el zooplancton, en un grupo particular de estaciones definido por una hipótesis nula dada a partir de las variables categóricas. Este análisis produce valores promedio y de frecuencia relativa para cada elemento o especie en cada grupo. El valor indicador más alto para cada elemento es probado estadísticamente para ver su significancia con la técnica aleatoria Monte Carlo (Dufrene & Legendre, 1997). El rango de valor indicador va desde cero (no indicador) hasta 100 (indicación perfecta, que significa que la presencia de un elemento es exclusiva de un grupo).

En junio del 2008 los datos de elementos obtenidos fueron tratados además con un análisis de componentes principales (ACP), que es un método multivariado, el cual está dirigido a distinguir a los componentes que expliquen la mayor variación de los datos. El ACP se utilizó sólo para el análisis de los datos de elementos mayores y traza de esta campaña oceanográfica, con el fin de obtener resultados que fueran comparables con los de sedimentos superficiales del Norte del GC reportados en el trabajo de Daesslé *et al.* (2004). Para la aplicación del análisis, sólo se utilizó la

matriz de concentraciones de elementos contenidos en el zooplancton, siendo utilizado el programa Statistica.

7.5. Normalización de lantánidos con *Lutita Norteamericana*

Las concentraciones de lantánidos en el zoo plancton obtenidas durante junio del 2008 fueron normalizados con los valores de *Lutita Norteamericana* (NASC) (Taylor & McLennan, 1985), aplicando la siguiente ecuación

:

$$N = [El]_{\text{Zooplancton}} / [El]_{\text{Lutita Norteamericana}}$$

donde $[El]_{\text{Zooplancton}}$ representa la concentración del elemento en el zooplancton y $[El]_{\text{Lutita Norteamericana}}$ representa el valor del mismo elemento contenido en la lutita norteamericana. Esta normalización fue realizada sólo para junio del 2008, debido a que fue la temporada de muestreo en que se obtuvo la mayor serie de lantánidos, permitiendo observar patrones de acuerdo a las concentraciones.

7.6. Acumulación de elementos en zooplancton

Para conocer los niveles de acumulación en el zooplancton de elementos provenientes de la corteza, se tomaron los valores promedio de la corteza superior reportados por Wedepohl (1995), así como los valores promedio de los elementos obtenidos del zooplancton de este trabajo, usando el enfoque propuesto por Brumsack (1989). Ambos promedios fueron transformados a logaritmo base 10 y graficados. Los valores que se ubicaron por arriba del promedio de los valores de la corteza se definieron como (a) Elementos acumulados en mayor grado. Los valores que se ubicaron muy cercanos al valor promedio de la corteza (arriba o abajo) definieron a los (b) Elementos no acumulados; y los valores promedio de elementos que se encontraron por debajo del promedio de la corteza permitieron identificar a los

(c) Elementos diluidos en el zooplancton. Con esta comparación podemos inferir si el zooplancton tuvo un mayor enriquecimiento por aporte externo al medio marino.

7.7. Factor de enriquecimiento

Para conocer el posible origen de los elementos en el zooplancton, en relación al contenido promedio en la corteza, se calculó el factor de enriquecimiento (FE). En este trabajo se tomó al escandio como elemento-indicador de los materiales de origen terrígeno. El escandio se determina con buena exactitud con el método de AANI en todas las muestras. Usando FE se puede observar si existe enriquecimiento o empobrecimiento de elementos en el zooplancton, y así excluir los efectos de dilución causado por otros materiales inertes (ej. cuarzo, sílice biogénico, carbonatos o dolomita) para detectar y cuantificar contribuciones naturales o antropogénicas en el área) (Loring, 1991). El cálculo fue obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$FE = ([El]/[Sc])_{\text{Zooplancton}} : ([El]/[Sc])_{\text{Corteza superior}}$$

donde $([El]/[Sc])_{\text{zooplancton}}$ es la razón de la concentración de elemento y la concentración de escandio en el zooplancton; $([El]/[Sc])_{\text{corteza superior}}$ es la razón de la concentración promedio de elemento y la concentración promedio de escandio en la corteza superior (Wedepohl, 1995). Los valores de FE fueron transformados a logaritmo base 10 y fueron denominados de acuerdo a su concentración según la clasificación de Sutherland *et al.* (2000) (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de elementos de acuerdo a sus factores de enriquecimiento propuesta por Sutherland (2000).

Clasificación	FE	Log 10 FE
Empobrecidos	$FE < 0.5$	< -0.3
No enriquecidos	$0.5 \leq FE < 2$	< 0.30
Moderadamente enriquecidos	$2 \leq FE < 20$	< 1.30
Altamente enriquecidos	$20 \leq Fe < 40$	< 1.60

Extremadamente enriquecidos	FE ≥ 40	≥ 1.6
-----------------------------	---------	-------

7.8. Coeficiente de acumulación

Para conocer la proporción entre la concentración de cada elemento en el zooplancton y la concentración del elemento disuelto en la columna de agua, se calculó el coeficiente de acumulación (CA) (Polikarpov, 1964). Los valores de concentración de elementos disueltos en la columna fueron tomados de diferentes fuentes. Para el Cd se utilizaron datos de Delgadillo-Hinojosa *et al.* (2001), para el Mn los datos de Delgadillo-Hinojosa *et al.* (2006), y para el Fe se tomaron los valores de Segovia-Zavala *et al.* (2009). El resto de los elementos se tomaron de los valores promedios para el océano en general mostrados por Turekian (1968) y Chester (2003). Los cálculos se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación:

$$CA = [El]_{Zooplancton} / [El]_{Agua\ de\ mar}$$

Donde $[El]_{Zooplancton}$ es la concentración del elemento en el zooplancton y $[El]_{agua\ de\ mar}$ es la concentración del elemento disuelto en la columna de agua.

8. RESULTADOS

8.1. Niveles de elementos en zooplancton

Los rangos de niveles promedio de diferentes ET en el zooplancton, obtenidos durante diferentes campañas de muestreo se presentan en forma generalizada en las Tablas 8; y con mayor detalle (estaciones y muestreos) en los Anexos I-VI. Se

puede ver que mientras los niveles de los elementos en el zooplancton mostraron diferencias en sus distribuciones y concentraciones entre las campañas de muestreo, los elementos tuvieron una secuencia similar en magnitud y concentración en todas las épocas analizadas, de manera general como se muestra a continuación:

Ca>Na>Mg>Sr>Fe>K>Br>Zn>Ba>Ti>Ni>B>Mn>Zr>Cr>Pb>Cu>P>Rb>V>Cd>As>Li>
Co>Sn>Mo>Se>U>Ce>Sb>Ga>La>Nd>Ag>Y>Cs>Pr>Th>Sc>Nb>Gd>Hf>Ge>Yb>
Dy>Sm>Ta>Be>Er>Te>W>Bi>Tl>Eu>Tb>Hg>Lu>Ho>Au>In>Tm>Re

Los elementos que más destacaron por sus concentraciones fueron los elementos mayores del agua del mar (Ca y Na) y algunos de los ET biológicamente activos, como el Fe y Sr. El Na mostró mayores contenidos durante las épocas cálidas en el norte del GC a causa de mayores salinidades, provocadas principalmente por altas tasas de evaporación en el ambiente bastante somero. El Fe mostró altas concentraciones durante las campañas de julio del 2007 en la zona central del Golfo, y en los márgenes occidental y nororiental del Norte del GC en junio de 2008. El Sr fue uno de los elementos que más destacó por mostrar niveles bastante altos, especialmente en los cruceros oceanográficos de agosto 2003 (al sur y norte del archipiélago central).

8.2. Relación entre las concentraciones de elementos y la biomasa del zooplancton

Las pruebas de correlaciones hechas entre las concentraciones de ET y de biomasa zooplanctónica para cada una de las campañas oceanográficas, mostraron que para la mayoría de los elementos no hubo una correlación linear positiva, con pocas excepciones como: Sr e Yb en agosto del 2003; As, Hf, Se en junio del 2005; Sr en julio del 2007 y Cd y Re en junio del 2008, con valores de $r > 0.4$. Es decir que para la mayoría de los elementos no existe un aumento en su concentración en el zooplancton con una mayor cantidad de biomasa. Mientras que varios elementos

mostraron valores negativos de correlación, indicando que con el aumento de la biomasa, las concentraciones de elementos en el zooplancton fueron menores. Este mismo análisis realizado con el conjunto de datos de los elementos (en todos los cruceros) no mostró correlaciones positivas o negativas entre las concentraciones de los elementos en el zooplancton y la biomasa del zooplancton, teniendo como excepción a Tb $r > 0.4$. En la Tabla 9 se muestran los valores de correlación de cada elemento por temporada, así como por el conjunto de datos.

8.3. Distribución espacial de los indicadores ambientales y de concentración de los elementos traza en el zooplancton.

Se describe en orden cronológico cada una de las distribuciones de las variables ambientales y las asociaciones de elementos definidas en cada uno de los cruceros oceanográficos.

Tabla 8. Niveles de elementos mayores y traza en zooplancton del Golfo de California para las diferentes temporadas de muestreo.

Crucero	agosto 2003			junio 2005			enero 2002			febrero 2007			julio 2007			junio 2008		
Elemento	min X	- ±	max desv.est	min X	- ±	max desv.est	min X	- ±	max desv.est	min X	- ±	max desv.est	min X	- ±	max desv.est	min X	- ±	Max desv.est
Ca	10100	-	48000	910	-	279000	220	-	192000	5100	-	115000	2300	-	74400	0.3	-	15
	19675	±	10258	35563	±	47272	34651	±	50222	47672	±	27185	30763	±	19560	2.7	±	3.3
K										480	-	9000				0.02	-	0.8
										2775	±	2258				0.3	±	0.2
Mg																0.1	-	1
																1	±	0.3
Na	36400	-	171000	170	-	98600	1400	-	40000	795	-	42300	3500	-	96500	0.1	-	7
	109244	±	36092	14198	±	18419	11929	±	12347	8551	±	8852	24361	±	24704	2	±	2
Ag				0.3	-	3										0.2	-	2
				1	±	1										1	±	0.5
As	2	-	20	1	-	153	1	-	9	1	-	12	1	-	12	1	-	5
	9	±	5	15	±	31	4	±	3	4	±	3	5	±	3	3	±	1
Au		-		0.003	-	0.2										0.004	-	0.1
		±		0.05	±	0.1										0.02	±	0.02
B																4	-	155
																68	±	36
Ba	34	-	365	20	-	315	16	-	1625	18	-	900	18	-	2345	1	-	711
	123	±	97	158	±	87	176	±	437	258	±	300	201	±	486	150	±	181
Be																0.01	-	0.7
																0.2	±	0.2
Bi																0.01	-	0.4
																0.1	±	0.1
Br	212	-	453	245	-	3645	160	-	1680	320	-	3110	440	-	3140			
	344	±	57	1380	±	834	777	±	448	1167	±	598	1502	±	693			
Cd										4	-	18				1	-	23
										11	±	3				9	±	5
Ce				0.2	-	24	0.3	-	6	0.1	-	3	0.2	-	13	0.04	-	12
				3	±	5	2	±	2	1	±	1	2	±	3	3	±	3
Co	3	-	24	1	-	64	0.3	-	31	0.2	-	8	0.2	-	23	0.1	-	4
	7	±	4	7	±	10	4	±	8	2	±	2	4	±	5	1.4	±	0.9

Cr	1	-	59	1	-	295	1	-	163	0.2	-	224	1	-	336	0.7	-	120
	11	±	12	24	±	57	28	±	41	47	±	67	44	±	69	28	±	22
Cs	0.03	-	1.4	0.1	-	14	0.2	-	3	0.03	-	1	0.1	-	2	0.02	-	3
	0.3	±	0.3	1	±	2	1	±	1	0.4	±	0.3	1	±	1	0.8	±	0.7
Cu										5	-	38				7	-	97
										16	±	8				21	±	17
Dy																0.01	-	0.97
																0.3	±	0.3
Er																0.005	-	0.5
																0.1	±	0.1
Eu	0.01	-	0.22	0.01	-	1	0.01	-	0.1	0.01	-	0.4	0.01	-	1	0.01	-	0.4
	0.1	±	0.1	0.1	±	0.2	0.05	±	0.03	0.1	±	0.1	0.1	±	0.2	0.1	±	0.1
Fe	80	-	9100	110	-	20100	150	-	9300	40	-	5100	450	-	57400	107	-	10200
	1418	±	1868	3779	±	4834	3144	±	3256	1541	±	1556	10213	±	12706	3695	±	2780
Ga																0.02	-	5
																2	±	1.5
Gd																0.01	-	1.2
																0.4	±	0.3
Ge																0.1	-	0.8
																0.3	±	0.2
Hf	0.02	-	0.7	0.01	-	8	0.04	-	2	0.04	-	1	0.05	-	2	0.04	-	0.4
	0.2	±	0.2	1	±	1	0.4	±	1	0.3	±	0.2	0.3	±	0.4	0.2	±	0.1
Hg																0.03	-	0.1
																0.1	±	0.02
Ho																0.002	-	0.2
																0.05	±	0.04
In																0.002	-	0.1
																0.02	±	0.02
La	0.2	-	1.7	0.1	-	16	0.1	-	3	0.1	-	2	0.1	-	7	0.04	-	6
	1	±	0.4	2	±	4	1	±	1	1	±	1	1	±	1	2	±	1.6
Li																0.1	-	15
																5	±	4.2
Lu	0.003	-	0.16	0.02	-	0.3	0.02	-	0.1	0.02	-	0.12	0.02	-	0.1	0.003	-	0.1
	0.03	±	0.03	0.1	±	0.1	0.1	±	0.02	0.1	±	0.03	0.1	±	0.03	0.02	±	0.02
Mn										4	-	31				8	-	250
										13	±	6				92	±	61
Mo																0.4	-	15
																3.8	±	3.7

Nb																	0.01	-	1.1
																	0.4	±	0.3
Nd				0.1	-	7	0.1	-	3	0.02	-	2	0.1	-	4		0.05	-	8.8
				1	±	1	1	±	1	0.5	±	0.4	1	±	1		2.4	±	2.4
Ni				10	-	630		-		1	-	57	30	-	490		2	-	54
				107	±	125		±		6	±	12	155	±	108		14	±	11
P										5	-	40							
										18	±	10							
Pb										5	-	510					0.5	-	122
										32	±	107					13	±	24
Pr																	0.01	-	2.1
																	0.6	±	0.5
Rb	7	-	39	2	-	328	3	-	28	2	-	19	3	-	62		0.1	-	24
	17	±	10	41	±	81	12	±	7	8	±	6	17	±	15		5.9	±	6.9
Re																	####	-	0.1
																	0.01	±	0.02
Sb	0.4	-	6	0.02	-	13	0.1	-	3	0.1	-	6	0.1	-	62		0.04	-	6.4
	2	±	1	1	±	2	1	±	1	1	±	1	6	±	13		0.6	±	1.2
Sc	0.01	-	1	0.01	-	3	0.03	-	2	0.01	-	1	0.03	-	3		0.01	-	3
	0.2	±	0.3	1	±	1	0.4	±	1	0.1	±	0.2	1	±	1		0.9	±	0.9
Se	0.3	-	4	0.29	-	86	0.3	-	6	0.2	-	6	1	-	7		0.2	-	1.8
	2	±	1	11	±	14	3	±	1	3	±	2	3	±	2		0.3	±	0.3
Sm	0.03	-	1	0.02	-	1	0.01	-	1	0.002	-	1	0.01	-	1		0.01	-	1.5
	0.2	±	0.2	0.3	±	0.3	0.2	±	0.2	0.1	±	0.1	0.2	±	0.2		0.4	±	0.4
Sn																	0.3	-	34
																	4	±	6
Sr	105	-	15450	43	-	134100	240	-	13430	50	-	19635	745	-	102360		0.6	-	560
	4185	±	3909	10761	±	23982	2292	±	3519	2144	±	3639	15036	±	22856		50	±	105
Ta				0.1	-	2							0.04	-	0.3		####	-	0.03
				0.5	±	0.4							0.1	±	0.1		0.01	±	0.01
Tb				0.01	-	0.3	0.02	-	0.1				0.01	-	0.2		0.001	-	0.2
				0.1	±	0.1	0.1	±	0.04				0.1	±	0.04		0.1	±	0.1
Te																	0.01	-	0.3
																	0.1	±	0.1
Th	0.03	-	2	0.1	-	3	0.1	-	1	0.03	-	1	0.1	-	4		0.01	-	2.4
	0.4	±	0.5	1	±	1	0.4	±	0.4	0.3	±	0.2	1	±	1		0.8	±	0.74
Ti																	5	-	370
																	124	±	109

Tl													0.01	-	0.2			
													0.1	±	0.1			
Tm													0.001	-	0.06			
													0.02	±	0.01			
U	1	-	11	0.3	-	23	0.4	-	2	1	-	12	0.5	-	6	0.2	-	2.8
	5	±	3	2	±	4	1	±	0.4	4	±	3	2	±	1	0.7	±	0.4
V													1.1	-	44			
													12	±	10			
W													0.01	-	0.2			
													0.1	±	0.1			
Y													0.06	-	2.9			
													1.1	±	0.8			
Yb	0.1	-	0.7	0.1	-	2	0.1	-	1	0.1	-	1	0.1	-	1	0.01	-	0.4
	0.4	±	0.2	0.4	±	0.3	0.3	±	0.1	0.3	±	0.1	0.3	±	0.1	0.1	±	0.1
Zn	20	-	2570	10	-	1115	155	-	8930	67	-	950	250	-	9300	70	-	468
	241	±	477	316	±	291	1710	±	2226	236	±	171	1874	±	2245	177	±	89
Zr	19	-	525	10	-	140	2	-	61	1	-	71	3	-	175	0.1	-	11
	107	±	113	42	±	26	18	±	16	20	±	19	36	±	36	4	±	3

Tabla 9. Resultados de las correlaciones de Pearson entre los valores de biomasa zooplanctónica y las concentraciones de cada elemento

Campaña	Conjunto de datos	Agosto 2003	Junio 2005	Enero 2007	Febrero 2007	Julio 2007	Junio 2008		
Elemento	r	r	r	r	r	r	r	Elemento	r
As	0.24	0.15	0.52	-0.27	0.25	0.15	0.06	Ag	0.10
Ba	-0.09	-0.22	0.10	-0.22	-0.12	-0.22	-0.36	Au	-0.22
Br	0.05	0.08	0.01	-0.09	0.01	0.08		B	-0.57
Ca	-0.09	0.03	-0.36	-0.53	-0.04	0.03	-0.36	Be	-0.61
Cd					0.16		0.60	Bi	-0.38
Ce	-0.20	-0.35	-0.53	-0.70	-0.11	-0.35	-0.66	Dy	-0.61
Co	0.07	-0.32	-0.07	-0.51	-0.14	-0.32	-0.65	Er	-0.62
Cr	-0.16	-0.07	-0.35	-0.36	-0.09	-0.07	-0.46	Ga	-0.63
Cs	-0.01	-0.04	-0.19	-0.71	-0.10	-0.04	-0.62	Gd	-0.59
Cu					-0.02		-0.37	Ge	-0.24
Eu	-0.05	-0.24	-0.05	-0.14	-0.03	-0.24	-0.55	Hg	-0.08
Fe	-0.15	-0.33	-0.20	-0.69	-0.15	-0.33	-0.53	Ho	-0.61
Hf	0.03	-0.30	0.58	-0.65	-0.21	-0.30	-0.55	In	-0.35
K					-0.06		-0.62	Li	-0.74
La	-0.19	-0.35	-0.44	-0.70	-0.07	-0.35	-0.66	Mo	-0.67
Lu	-0.00	-0.39	-0.08	-0.03	-0.02	-0.39	-0.62	Nb	-0.65
Mn					0.18		-0.31	Pr	-0.63
Na	0.13	-0.01	0.50	-0.03	-0.03	-0.01	-0.55	Rb	-0.70
Nd	0.05	-0.38	-0.45	-0.067	-0.13	-0.38	-0.61	Re	0.79
Ni	-0.15	-0.08	-0.63		0.12	-0.09	-0.36	Sn	-0.32
P					-0.08			Te	-0.03
Pb					0.005		-0.31	Ti	-0.59
Sb	-0.09	-0.29	-0.23	-0.59	0.03	-0.19	-0.30	Tl	-0.31
Sc	-0.20	-0.25	-0.40	-0.62	-0.16	-0.25	-0.62	Tm	-0.62
Se	0.39	0.37	0.50	-0.32	-0.22	0.37	-0.002	V	-0.49
Sm	-0.17	-0.39	-0.42	-0.66	-0.14	-0.39	-0.63	W	-0.52
Sr	-0.04	0.69	-0.51	-0.37	-0.10	0.69	-0.19	Y	-0.54
Ta		-0.28			-0.28		0.08	Mg	-0.34
Tb	-0.44	-0.40	-0.40	-0.64		-0.41	-0.64		

Th	-0.12	-0.28	-0.30	-0.40	0	-0.29	-0.65
U	-0.07	0.02	0.25	-0.20	-0.21	0.03	-0.34
Yb	-0.08	0.40	-0.18	-0.16	-0.09	-0.41	-0.64
Zn	-0.14	-0.18	0.14	-0.68	-0.10		-0.27
Zr	0.06	-0.21	-0.38	-0.34	-0.10	-0.21	-0.62

8.3.1. Campaña de agosto del 2003

Distribución de indicadores ambientales

La distribución espacial de la temperatura superficial del mar (TSM) mostró los valores más altos en las estaciones oceanográficas, localizadas frente a la plataforma continental en el Alto Golfo ($> 31\text{ }^{\circ}\text{C}$). Los valores más bajos de TSM fueron detectados en la zona del archipiélago central, principalmente al sur del Canal de Ballenas ($< 26\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Figura 3).

Los más altos valores de salinidad superficial, al igual que la temperatura, fueron detectados en el Alto Golfo (> 36), y los menores valores fueron registrados al sur del archipiélago central (< 35.5) (Figura 3).

La distribución superficial de la clorofila *a* tuvo las más altas concentraciones en la costa de Sonora y al sur del área de estudio ($> 10\text{ mg m}^{-3}$). Las menores concentraciones de clorofila *a* fueron registradas en el Alto Golfo ($< 1\text{ mg m}^{-3}$) (Figura 3).

La concentración de la clorofila *a* en la profundidad de máxima fluorescencia mostró las más altas concentraciones (7.8 mg m^{-3}) en la región del archipiélago central y en la parte sur del área de estudio. Las menores concentraciones (0.2 mg m^{-3}) fueron registradas en el Alto Golfo, extendiéndose hacia el Canal de Ballenas (Figura 3).

La clorofila *a* estimada por los datos de fluorescencia mostró dos picos de alta concentración, el más alto ($> 1.5\text{ }\mu\text{g l}^{-1}$) ubicado en el norte del GC y el segundo en el Canal de Ballenas. Las menores concentraciones ($< 0.6\text{ }\mu\text{g l}^{-1}$) se detectaron al norte del archipiélago central (Figura 3).

La distribución espacial de la biomasa del zooplancton fue altamente heterogénea. Los valores más altos se registraron en las costas de Sonora y en el Alto Golfo ($600\text{ ml}/1000\text{ m}^3$). Las menores biomásas registradas estuvieron localizadas desde el Norte de La Isla Ángel de la Guarda hasta el extremo sur del área de estudio en la costa peninsular ($< 400\text{ ml}/1000\text{ m}^3$) (Figura 3).

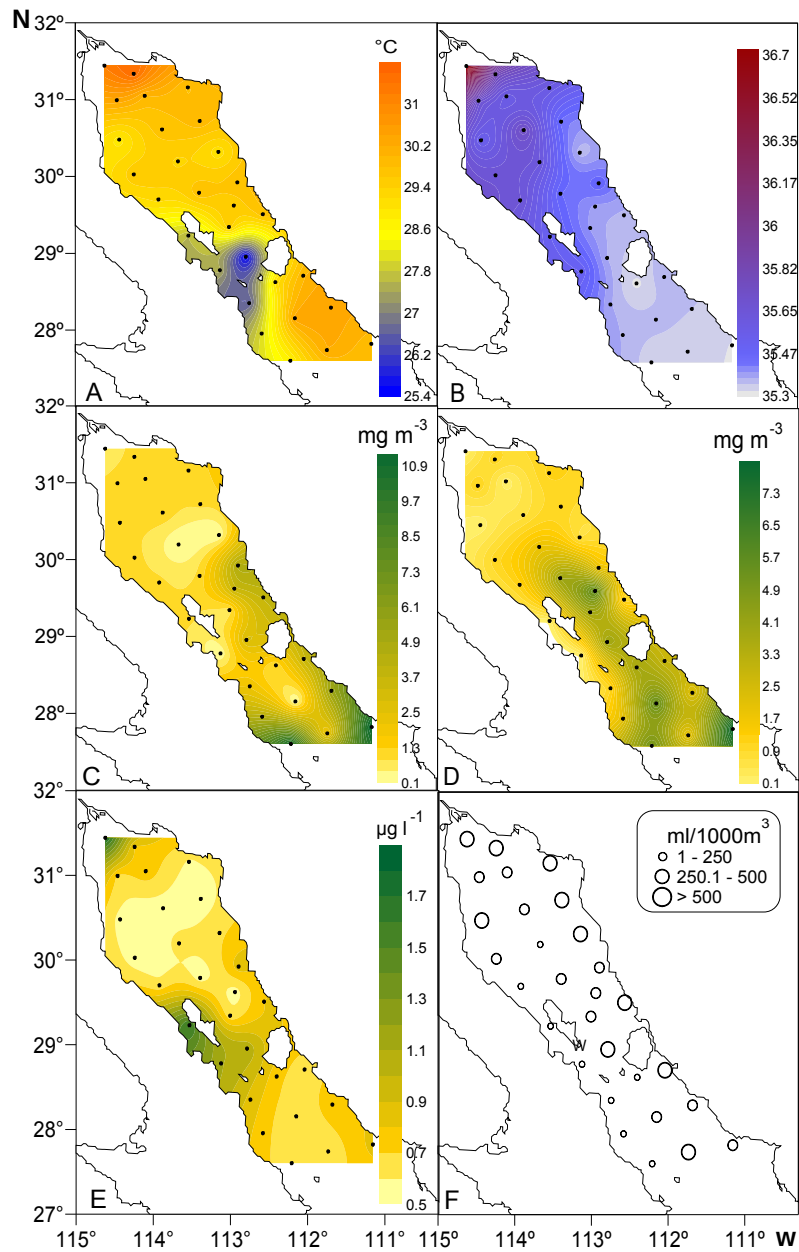


Figura 3. Distribución espacial de variables ambientales de la campaña oceanográfica de agosto del 2003. A) temperatura, B) salinidad, C) clorofila a superficial, D) clorofila a en el nivel máximo de fluorescencia, E) fluorescencia y F) biomasa del zooplancton

Grupos del zooplancton

Durante la la campaña de agosto del 2003 fueron identificados 23 grupos del zooplancton. Los copépodos fueron el componente más abundante con un 52% de la abundancia total, seguido por larvas de Echinodermata (24%), Chaetognata (10%) y larvacea (4%) (Figura 4, Tabla 10). En el grupo de los Copépodos, se identificaron 38 taxa, donde las especies *Acartia lilljeborgii* (24%), *Centropages furcatus* (15%), *Subeucalanus mucronatus* (8%), *Canthocalanus pauper* (7%) y *Oithona setigera* (6%) fueron las más abundantes, conformando alrededor del 60% de la abundancia total de copépodos (Figura 5, Tabla 11).

Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton

El índice de disimilaridad de Bray-Curtis con un corte en el nivel de 0.6 definió a tres asociaciones de elementos, los que se ordenaron de acuerdo a la magnitud de sus concentraciones en el zooplancton (Figura 6). La primera asociación estuvo formada por sodio y calcio, dos componentes mayores del agua de mar, los cuales tuvieron también las más altas concentraciones en el zooplancton. El sodio en el zooplancton fue más abundante en el Norte del GC y en el Alto Golfo (Figura 7), donde los valores más altos de salinidad, temperatura y biomasa del zooplancton fueron también observados. El calcio tuvo sus máximas concentraciones en el zooplancton recolectado en el Canal de Ballenas (Figura 7), donde las más bajas temperaturas, salinidad y valores de biomasa zooplanctónica fueron registradas.

La segunda asociación de elementos caracterizada por concentraciones moderadas en el zooplancton estuvo formada por bario, bromo, circonio, estroncio, fierro y zinc. A la mayoría de los elementos (excepto Zr) se les conoce por tener implicaciones esenciales en el desarrollo de los organismos (desde los productores primarios hasta los niveles tróficos superiores). Las concentraciones más altas de Fe y Zn en el zooplancton fueron detectadas en la parte sur del área de estudio, cercana a la Cuenca de Guaymas y en menores valores que se extendieron a la parte norte y

alta del Golfo. Las distribuciones de bario y bromo fueron similares a los del Fe y Zn, pero con máximos valores en la parte sur de la región del archipiélago central y a lo largo de la costa del Golfo Norte (Figura 8). El resto de los elementos de esta asociación mostraron en general sus más altas concentraciones en el sur del área de estudio.

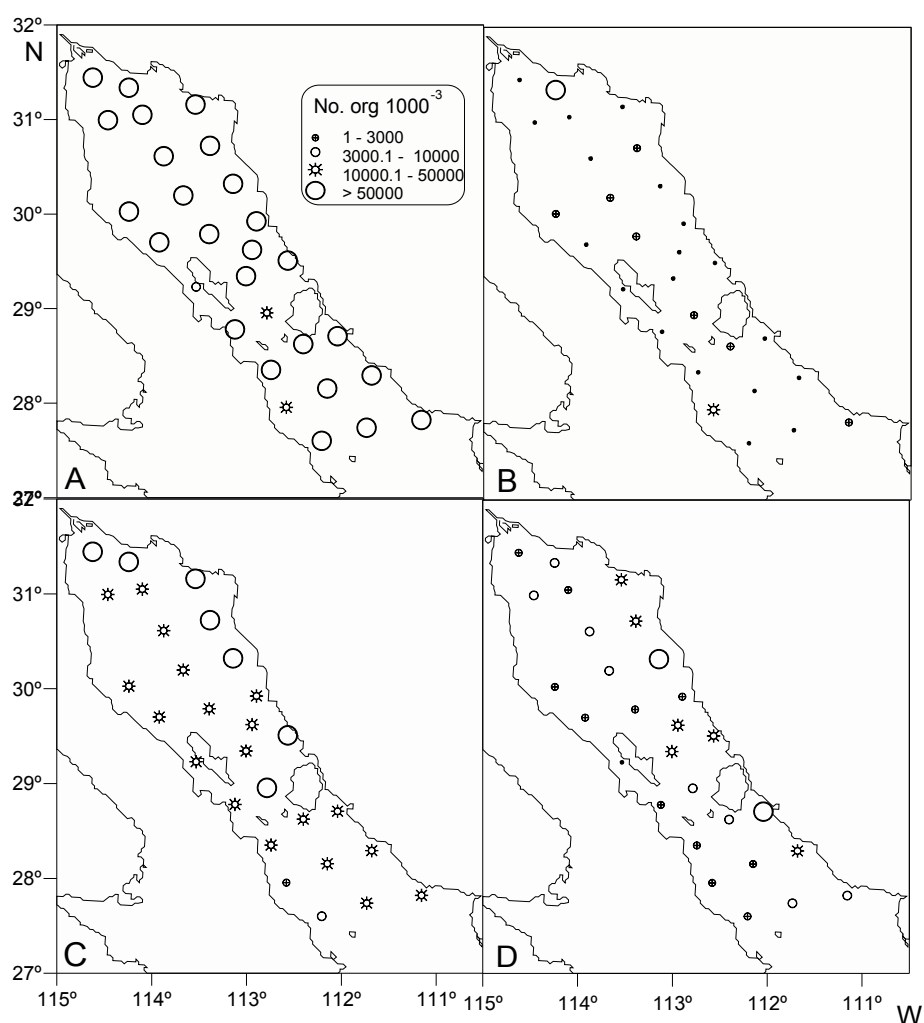


Figura 4. Distribución espacial de los grupos de zooplancton más abundantes, recolectados en la parte norte y central del GC, en agosto del 2003. A) Copepoda, B) Echinodermata, C) Chaetognata y D) Larvacea

Tabla 10. Número de estaciones positivas (total de estaciones 29), abundancia relativa, intervalo de abundancia, promedio de abundancia y desviación estándar de grupos de zooplancton identificados en el Golfo de California, durante agosto del 2003.

Taxon	Estaciones positivas	Abundancia %	min - max	$\bar{x}$ de abundancia $\pm$ desv.est.
Copepoda	29	52	8645-935372	208843 $\pm$ 233046
Echinodermata	9	24	37-2857898	319216 $\pm$ 952015
Chaetognatha	29	11	1322-179030	43399 $\pm$ 33637
Larvacea	28	4	94-205663	16180 $\pm$ 39592
Thaliacea	21	2	94-206753	11031 $\pm$ 44874
Larvas de peces	27	1	187-79020	6402 $\pm$ 15179
Cladocera	14	1	94-89543	9701 $\pm$ 23414
Euphausiacea	27	1	350 -26382	4600 $\pm$ 6320
Larvas de				
Decapoda	29	1	58-27155	3790 $\pm$ 6347
Huevos de peces	20	1	70 -18613	3016 $\pm$ 5380
Gastropoda	28	0.5	103-11531	2094 $\pm$ 2734
Siphonophora	29	0.5	21-8521	1911 $\pm$ 2004
Stomatopoda	25	0.3	76-10701	1352 $\pm$ 2485
Ostracoda	16	0.2	51-7623	1660 $\pm$ 2102
Scyphozoa	20	0.2	21-3713	1229 $\pm$ 1052
Poliqueta	24	0.2	47-6391	987 $\pm$ 1288
Pelecypoda	18	0.2	38-4722	1100 $\pm$ 1474
Amphipoda	23	0.1	21-2130	567 $\pm$ 574
Mysidacea	20	0.07	23-1417	419 $\pm$ 390
Foraminifera	7	0.02	37-1878	401 $\pm$ 663
Hydroida	5	0.02	101-752	365 $\pm$ 274
Cephalopoda	6	0.004	36-147	72 $\pm$ 41
Ctenophora	3	0.002	48-157	88 $\pm$ 60

La tercera asociación se subdividió en dos grupos. El primer subgrupo se constituye por los ET de origen terrígeno, los cuales están caracterizados también por sus bajas concentraciones en el agua de mar (cesio, escandio, hafnio, iterbio, lantano, lutecio, samario, selenio y torio). Los elementos de este grupo mostraron una distribución altamente heterogénea, pero en general la mayoría de ellos tuvieron sus más altas concentraciones en el área central del giro ciclónico observado en el

Golfo Norte, tal es el caso de Se y Hf; y en el límite sur del giro como el caso de La y Sc (Figura 9).

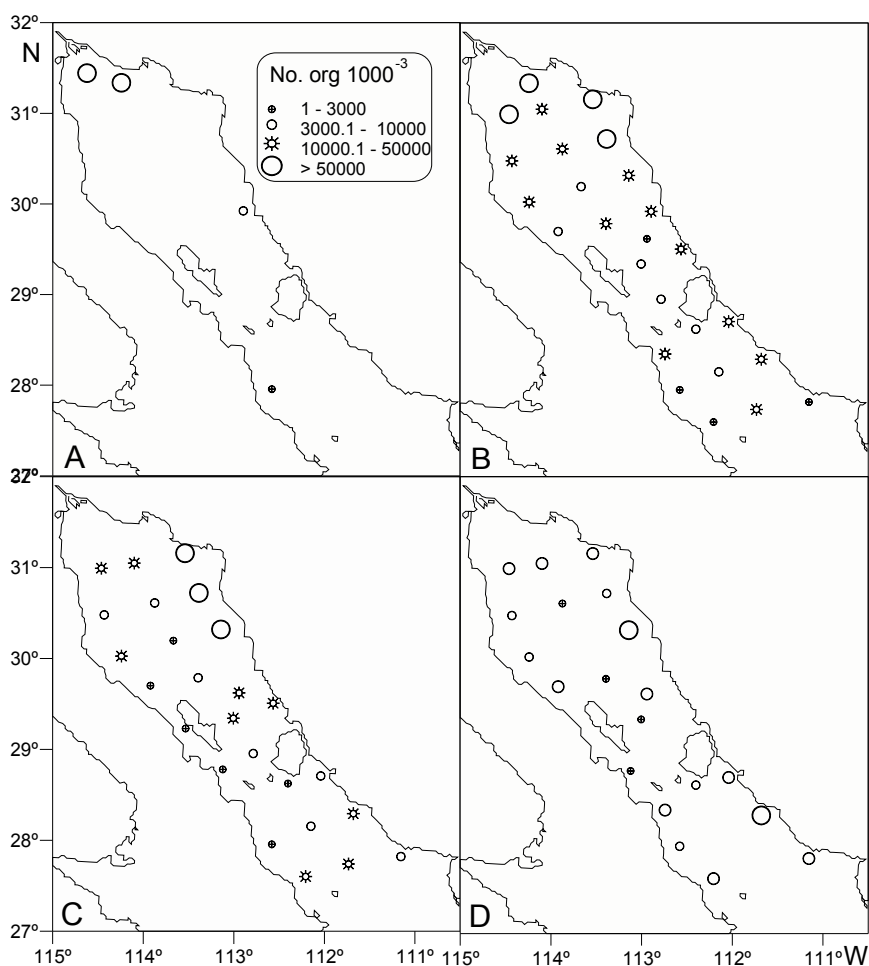


Figura 5. Distribución espacial de las especies más abundantes de copépodos, recolectadas en la parte norte y central del GC en agosto del 2003, A) *Acartia lilljeborgii*, B) *Centropages furcatus*, C) *Subeucalanus mucronatus* y D) *Canthocalanus pauper*

Tabla 11. Número de estaciones positivas (total de estaciones 29), abundancia relativa, intervalo de abundancia, promedio de abundancia y desviación estándar de especies de copépodos identificados en el Golfo de California, durante agosto del 2003.

Taxon	Estaciones positivas	Abundancia %	min - max	$\bar{x}$ de abundancia $\pm$ desv. Est.
<i>Acartia lilljeborgii</i>	4	7	469 - 751024	362189 $\pm$ 415710
<i>Centropages furcatus</i>	26	1	939 - 350266	34460 $\pm$ 70262
<i>Labidocera diandra</i>	9	1	77 - 215588	30528 $\pm$ 70233
<i>Clausocalanus furcatus</i>	17	1	939 - 176801	20750 $\pm$ 42426
<i>Canthocalanus pauper</i>	20	1	823 - 165031	21846 $\pm$ 38686
<i>Pontellopsis armata</i>	3	1	939 - 62787	21860 $\pm$ 35447
<i>Acartia clausi</i>	8	0,5	469 - 84801	17531 $\pm$ 29343
<i>Subeucalanus mucronatus</i>	25	0,4	781 - 96604	18781 $\pm$ 24898
<i>Temora discaudata</i>	19	0,3	781 - 68576	11636 $\pm$ 17113
<i>Oithona setigera</i>	18	0,3	939 - 52327	21415 $\pm$ 15326
<i>Undinula vulgaris</i>	22	0,2	412 - 67841	8334 $\pm$ 14246
<i>Pleuromama gracilis</i>	16	0,2	880 - 47640	12678 $\pm$ 13928
<i>Oithona rigida</i>	6	0,2	3478 - 30305	13047 $\pm$ 12160
<i>Calanus minor</i>	9	0,2	1174 - 29851	8814 $\pm$ 11253
<i>Acrocalanus gracilis</i>	16	0,2	781 - 45717	8078 $\pm$ 11148
<i>Rhincalanus nasutus</i>	16	0,2	132 - 42904	7802 $\pm$ 10628
<i>Candacia pectinata</i>	12	0,2	842 - 34288	6170 $\pm$ 9303
<i>Corycaeus catus</i>	6	0,1	587 - 22859	6402 $\pm$ 8936
<i>Subeucalanus subcrassus</i>	3	0,1	6777 - 18707	11978 $\pm$ 6110
<i>Corycaeus robustus</i>	9	0,1	469 - 14912	5723 $\pm$ 5909
<i>Acartia danae</i>	12	0,1	823 - 18707	4086 $\pm$ 5152
<i>Oncea venusta</i>	12	0,1	469 - 13322	4708 $\pm$ 4239
<i>Oithona fallax</i>	3	0,1	2331 - 10565	6496 $\pm$ 4118
<i>Corycaeus affinis</i>	18	0,1	587 - 14307	4347 $\pm$ 4089
<i>Copilia mirabilis</i>	7	0,1	36 - 8881	2333 $\pm$ 3026
<i>Calanus pacificus</i>	12	0,04	530 - 7154	2333 $\pm$ 2199
<i>Scolecithrix danae</i>	7	0,04	842 - 6391	3025 $\pm$ 2191
<i>Sapphirina scarlata</i>	6	0,02	1879 - 4441	2802 $\pm$ 1126
<i>Euchaeta longicornis</i>	7	0,02	587 - 3577	1777 $\pm$ 985
<i>Paracalanus parvus</i>	3	0,01	4068 - 4698	4428 $\pm$ 325

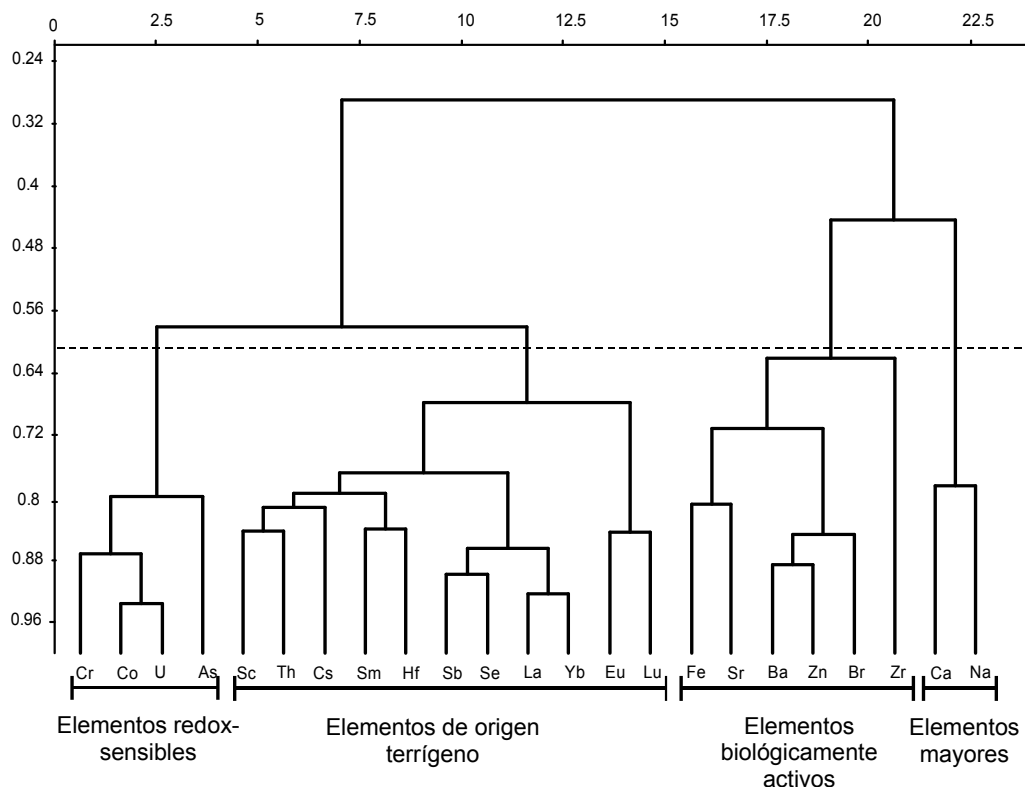


Figura 6. Asociaciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton del GC, obtenidos mediante el índice de disimilaridad de Bray-Curtis, para agosto del 2003

El segundo subgrupo (tercer grupo) lo formaron elementos redox-sensibles como arsénico, cobalto, cromo y uranio. La mayoría de estos elementos también tuvieron altas concentraciones en el Alto Golfo. El arsénico se distinguió del resto de los elementos debido a que mostró sus más altas concentraciones al Norte de Isla Tiburón y al sur del archipiélago central, coincidiendo con altas concentraciones de clorofila a (Figura 10).

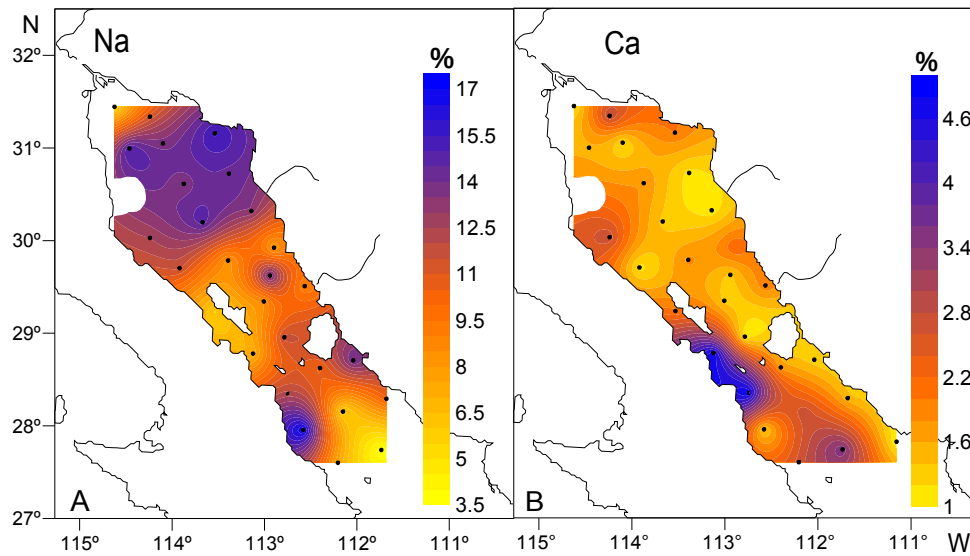


Figura 7. Distribución espacial de elementos mayores (asociación 1) contenidos en el zooplancton del GC, durante agosto del 2003. A) sodio y B) calcio

8.3.2. Campaña de junio del 2005

Distribución de indicadores ambientales

La temperatura superficial del mar mostró los valores más altos en el Norte del Golfo frente a la costa peninsular ($>25^{\circ}\text{C}$), mientras que los valores más bajos se localizaron al sur de la Isla Ángel de la Guarda ($<18^{\circ}\text{C}$) (Figura 11).

Los valores de salinidad superficial mostraron un intervalo estrecho de variación, registrándose los valores más altos en la parte Norte del Golfo (36.09) y los más bajos en la parte sureña del archipiélago (35.07), coincidiendo con la distribución mostrada por la temperatura (Figura 11).

La distribución observada para el oxígeno disuelto desplegó sus menores concentraciones en la región al sur del archipiélago central ($<4 \text{ ml l}^{-1}$), y sus concentraciones más altas se ubicaron en la parte Norte del Golfo frente a las costas de Sonora ($>5 \text{ ml l}^{-1}$) (Figura 11).

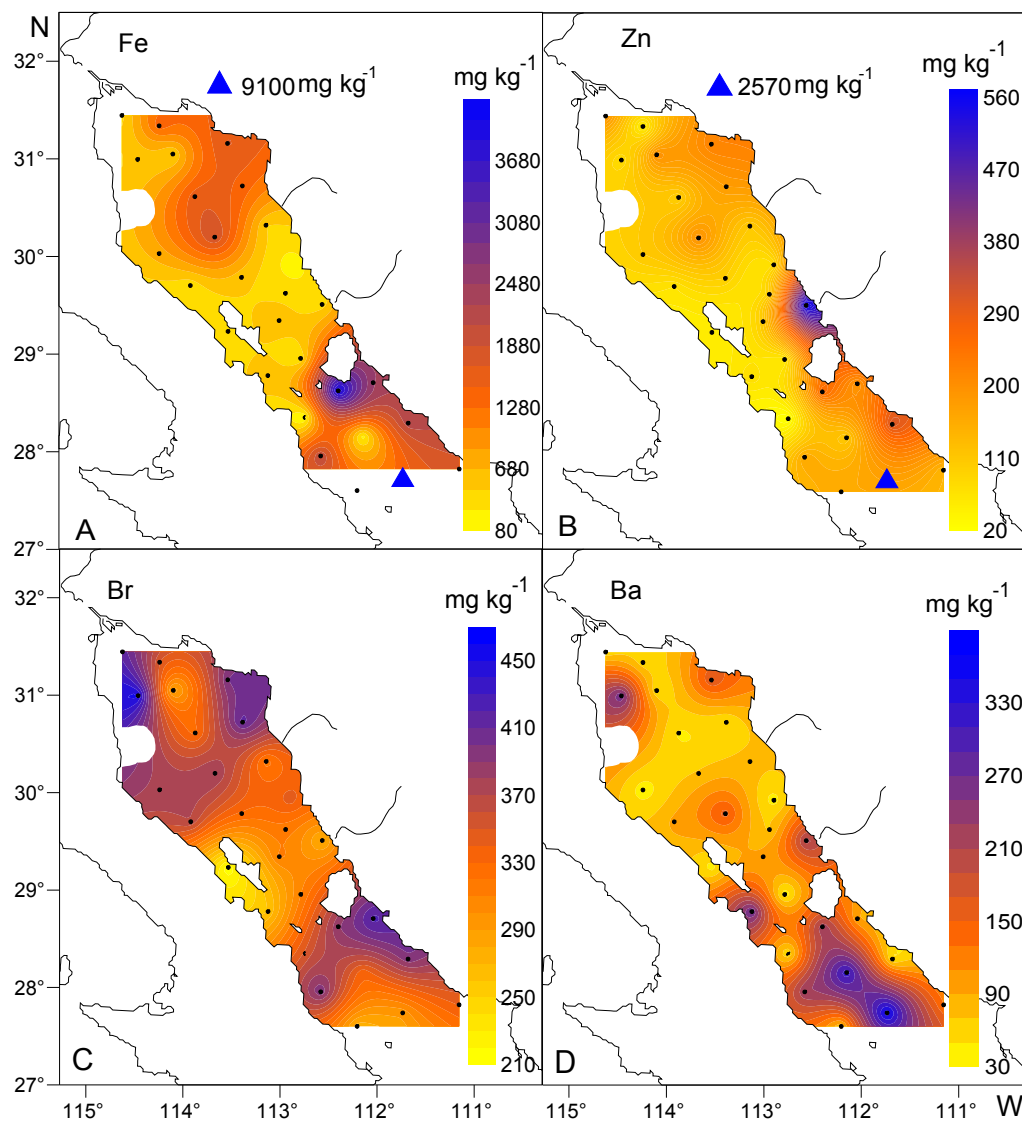


Figura 8. Distribución espacial de elementos biológicamente activos (asociación 2) contenidos en el zooplancton del GC, durante agosto del 2003. A) fierro, B) zinc, C) bromo y D) bario

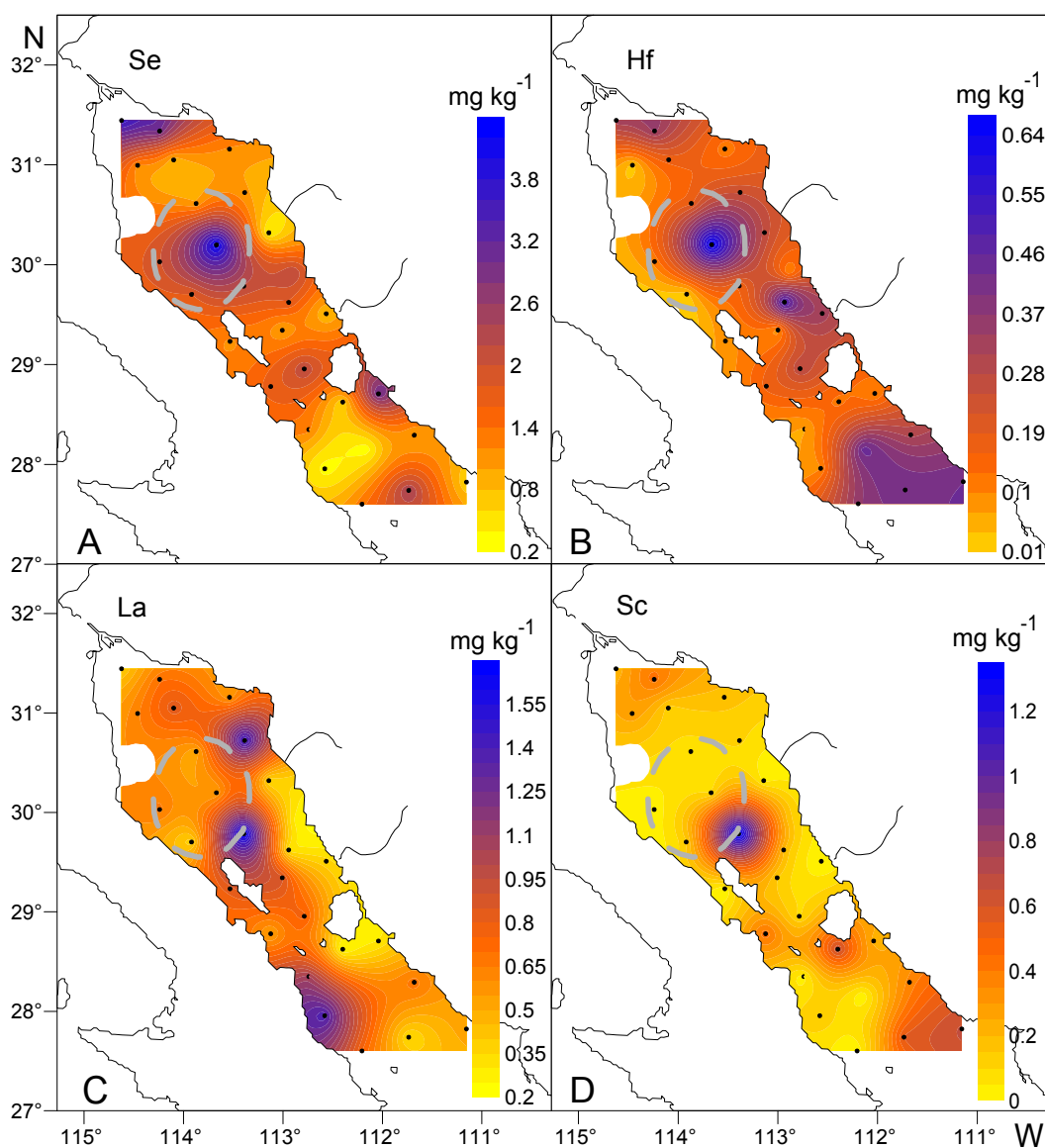


Figura 9. Distribución espacial de elementos de origen terrígeno (asociación 3 - subgrupo 1) contenidos en el zooplancton del GC durante agosto 2003. A) selenio, B) hafnio, C) lantano y D) escandio. El óvalo indica la posición del giro ciclónico

La biomasa del zooplancton presentó un patrón de distribución que se caracterizó las concentraciones medias y bajas, localizadas principalmente en la zona adyacente a la isla Ángel de la Guarda y a la costa peninsular, extendiéndose a la parte sur del archipiélago central. Los valores más altos de biomasa mostraron dos parches de alta concentración, uno de los cuales estuvo localizado en la parte

norte del Golfo, donde se registraron los valores más altos de la campaña (>4000 ml/1000 m³) y un segundo parche estuvo ubicado en la parte más sureña del área de estudio en el Golfo central (Figura 11).

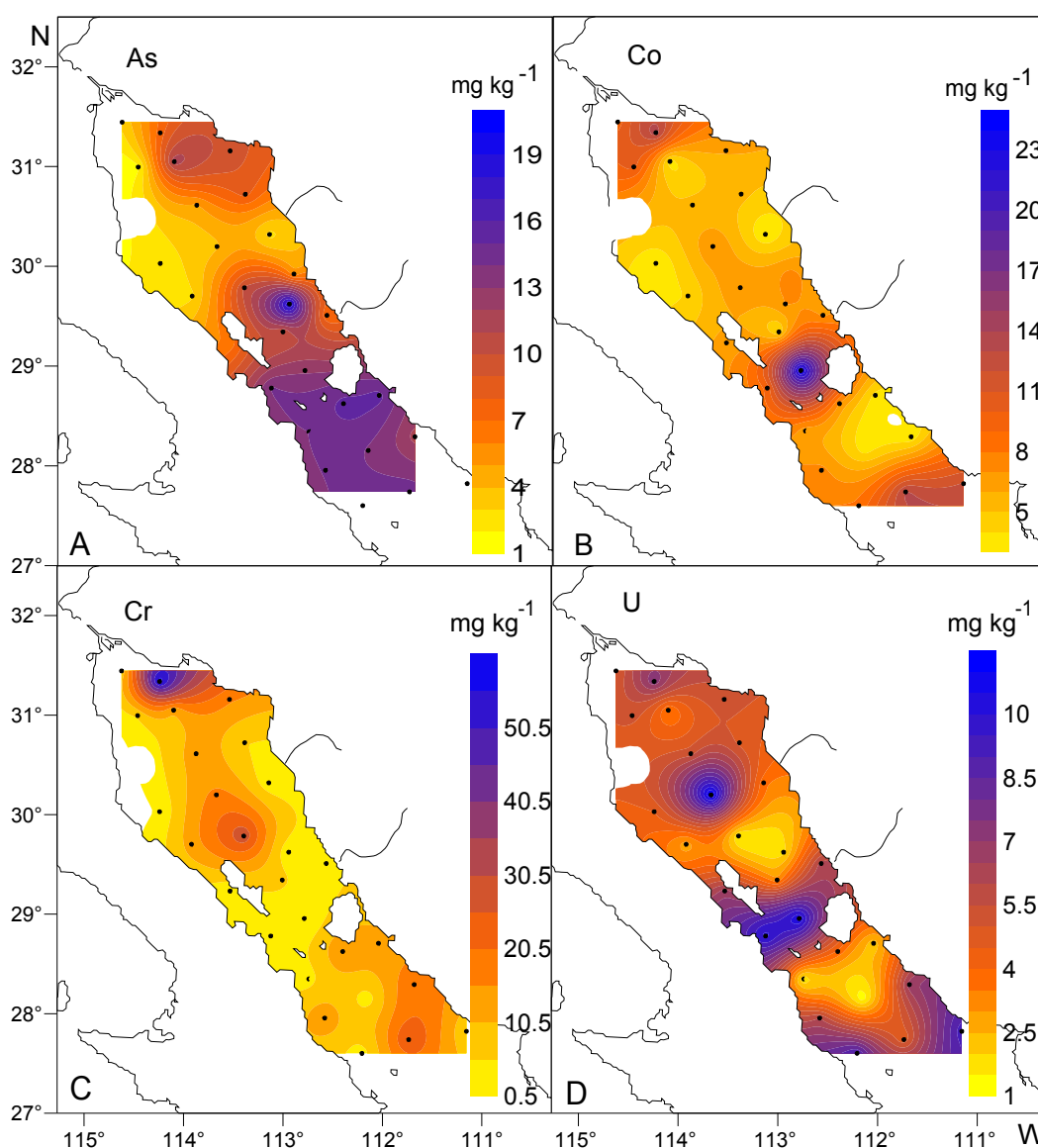


Figura 10. Distribución espacial de elementos redox-sensibles (asociación 3 – subgrupo) contenidos en el zooplancton del GC durante agosto 2003. A) arsénico, B) cobalto, C) cromo y D) uranio

Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton

En esta campaña, el índice de disimilaridad de Bray-Curtis en un nivel de corte de 0.64 formó a tres grupos de elementos (Figura 12). El primer grupo estuvo conformado por algunos ET biológicamente activos como bario y zinc, así como por níquel y circonio. El Ba mostró sus mayores niveles de concentración en zooplancton en la parte Norte del GC y en la región del archipiélago central, mientras que el Zn tuvo sus más altas concentraciones frente a la costa continental en la zona adyacente a Isla Tiburón (Figura 13).

El segundo grupo lo constituyeron los elementos entre los que destacan algunos componentes mayores, como sodio y calcio, además de estroncio, fierro y bromo. Éste grupo presentó una distribución heterogénea. El Ca en el zooplancton presentó sus máximas concentraciones en el Norte del Golfo de California (Figura 14), y a su vez el Na mostró sus valores máximos hacia el norte de la Isla Tiburón, frente a la costa de Sonora (Figura 14).

El tercer grupo estuvo dividido en dos subgrupos. El primer subgrupo lo formaron elementos de origen terrígeno como cesio, escandio, hafnio, torio, antimonio, uranio y algunos lantánidos. Este grupo de elementos se distribuyó principalmente en el área del Golfo Norte. Elementos como Eu, Hf y Cs entre otros presentaron sus niveles máximos en una única estación. Los elementos Th y Sc mostraron las más altas concentraciones frente a las costas de Sonora (Figura 15).

El segundo subgrupo estuvo formado principalmente por tres elementos redox-sensibles, arsénico, cobalto, cromo, además de selenio. Las mayores concentraciones de As, Co y Se, se distribuyeron en la parte Norte del GC, siguiendo el mismo patrón de los elementos del primer subgrupo (Figura 16). Particularmente el Cr mostró sus más altas concentraciones al sureste de la Isla Ángel de la Guarda.

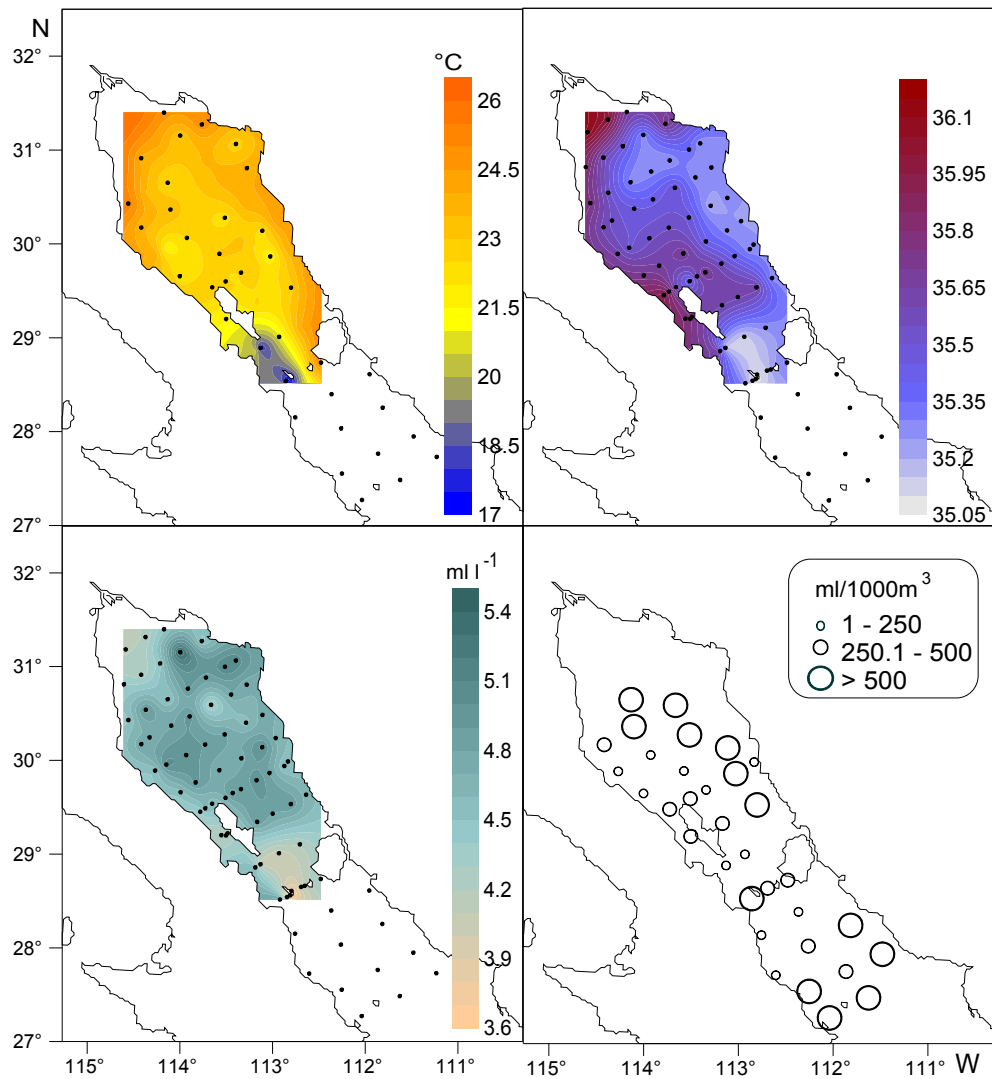


Figura 11. Distribución espacial de variables ambientales de la campaña oceanográfica de junio del 2005. A) temperatura, B) salinidad, C) oxígeno disuelto y D) biomasa del zooplancton

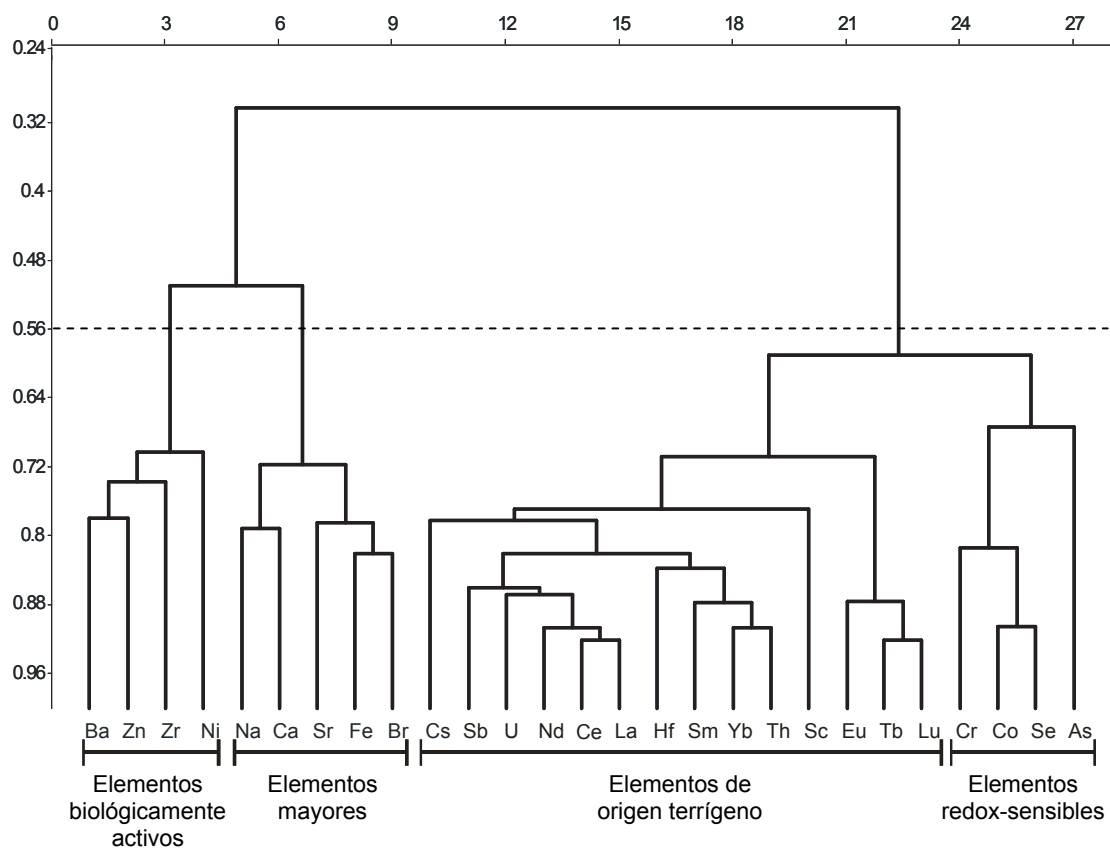


Figura 12. Asociaciones de elementos mayores y traza contenidos en el zooplancton, obtenidos mediante el índice de disimilaridad de Bray-Curtis en junio del 2005

8.3.3. Campaña de enero del 2007

Distribución de indicadores ambientales

La temperatura superficial del mar en esta temporada mostró los valores menores en la zona adyacente al archipiélago central, siendo frente a la costa peninsular donde se registró el valor más bajo ($<15.5^{\circ}\text{C}$). Los más altos valores fueron registrados al sur del área de estudio frente a la plataforma continental ($>18.5^{\circ}\text{C}$) (Figura 17).

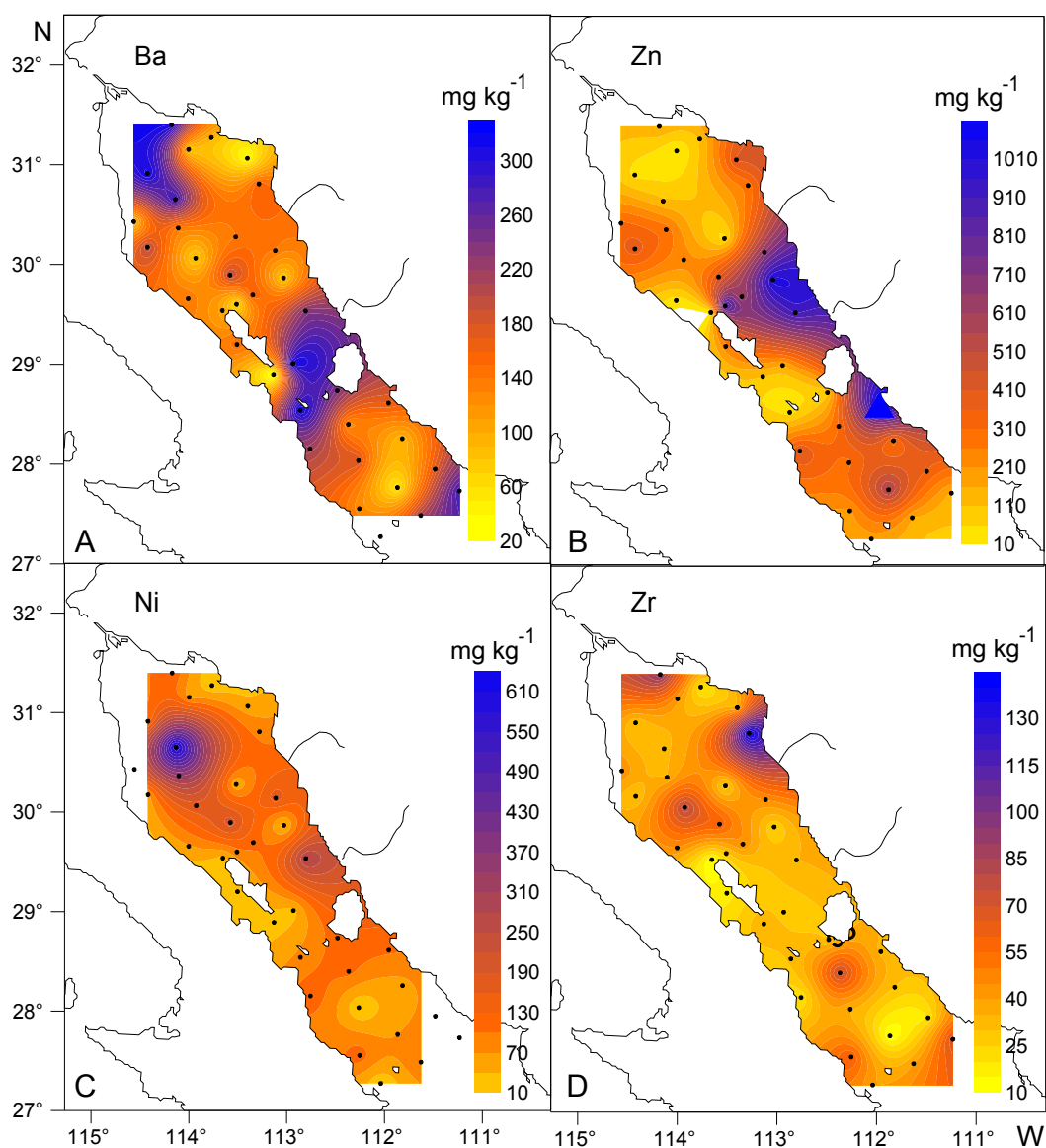


Figura 13. Distribución espacial de elementos biológicamente activos (asociación 1) contenidos en el zooplancton del GC durante junio del 2005. A) bario, B) zinc, C) níquel y D) circonio

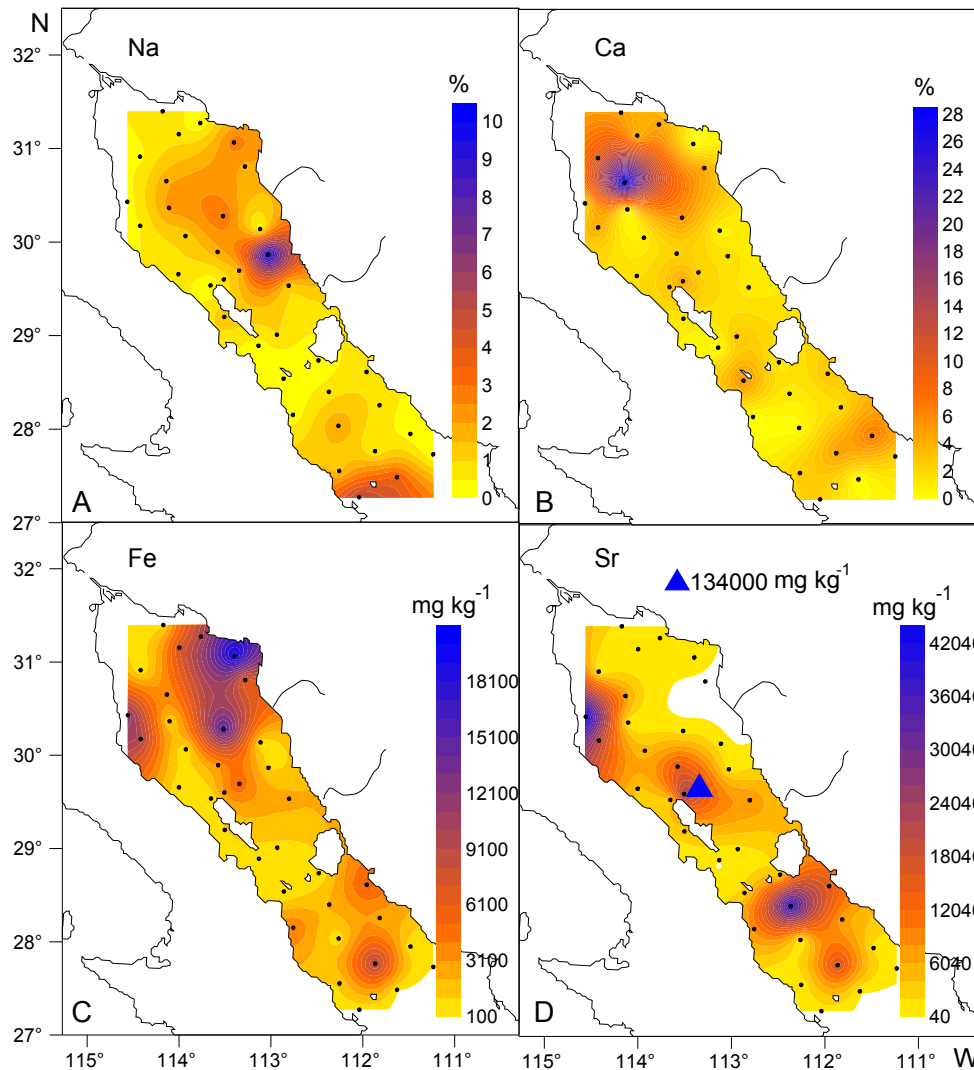


Figura 14. Distribución espacial de elementos mayores (asociación 2) contenidos en el zooplancton del GC, durante junio del 2005. A) sodio, B) calcio, C) estroncio y D) fierro

La salinidad mostró el gradiente latitudinal típico para el GC. Los valores más bajos en la región sur del área de estudio (35.2) adyacente a la costa peninsular y los valores más altos en el Norte del Golfo (35.95) frente a las costas de Sonora (Figura 17).

La densidad mostró el mismo gradiente presentada por la salinidad, con los valores más bajos en la región sur del área de estudio (25.5 kg m^{-3}) y las más altas

se distribuyeron en el Golfo Norte coincidiendo el valor más alto (26.4 kg m^{-3}) con el punto de mayor salinidad frente a la costa de Sonora.

La clorofila *a* mostró niveles de baja concentración tanto en la región Norte del Golfo cercano a la costa de la península como en la parte sur del área de estudio en el Golfo central ($<0.05 \text{ mg m}^{-3}$), mientras que núcleos de alta concentración se presentaron al sureste de Isla Ángel de la Guarda ($>1 \text{ mg m}^{-3}$), extendiéndose a la región norte en dirección a la plataforma de Sonora (Figura 17).

Las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron los niveles más bajos en la zona adyacente al archipiélago central particularmente al sur de Isla Tiburón ($<4 \text{ ml l}^{-1}$). Las más altas concentraciones de oxígeno disuelto se observaron en el límite norte del área de estudio ($>6 \text{ ml l}^{-1}$) (Figura 17).

La distribución de pH observada en esta campaña mostró que el área alrededor de las islas y particularmente al sur de la Isla Tiburón presentaron los menores valores (7.9), mientras que los valores altos se presentaron en la región Norte del GC bajo el mismo patrón de distribución que presentaron las concentraciones de oxígeno disuelto (>8) (Figura 17).

En esta campaña la biomasa del zooplancton mostró valores de magnitud de medianos a bajos con una distribución homogénea en casi toda el área de estudio. Las concentraciones de menor biomasa se registraron al sur de la Isla Tiburón frente a las costas de Sonora ($<30 \text{ ml/ } 1000 \text{ m}^3$) y las más altas concentraciones ($>500 \text{ ml/ } 1000 \text{ m}^3$) se registraron al sur del área de estudio frente a la costa peninsular (Figura 17).

Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton

En esta campaña el dendrograma obtenido con el Índice de Bray Curtis en un nivel de corte de 0.60 mostró la formación de tres grupos de elementos (Figura 18).

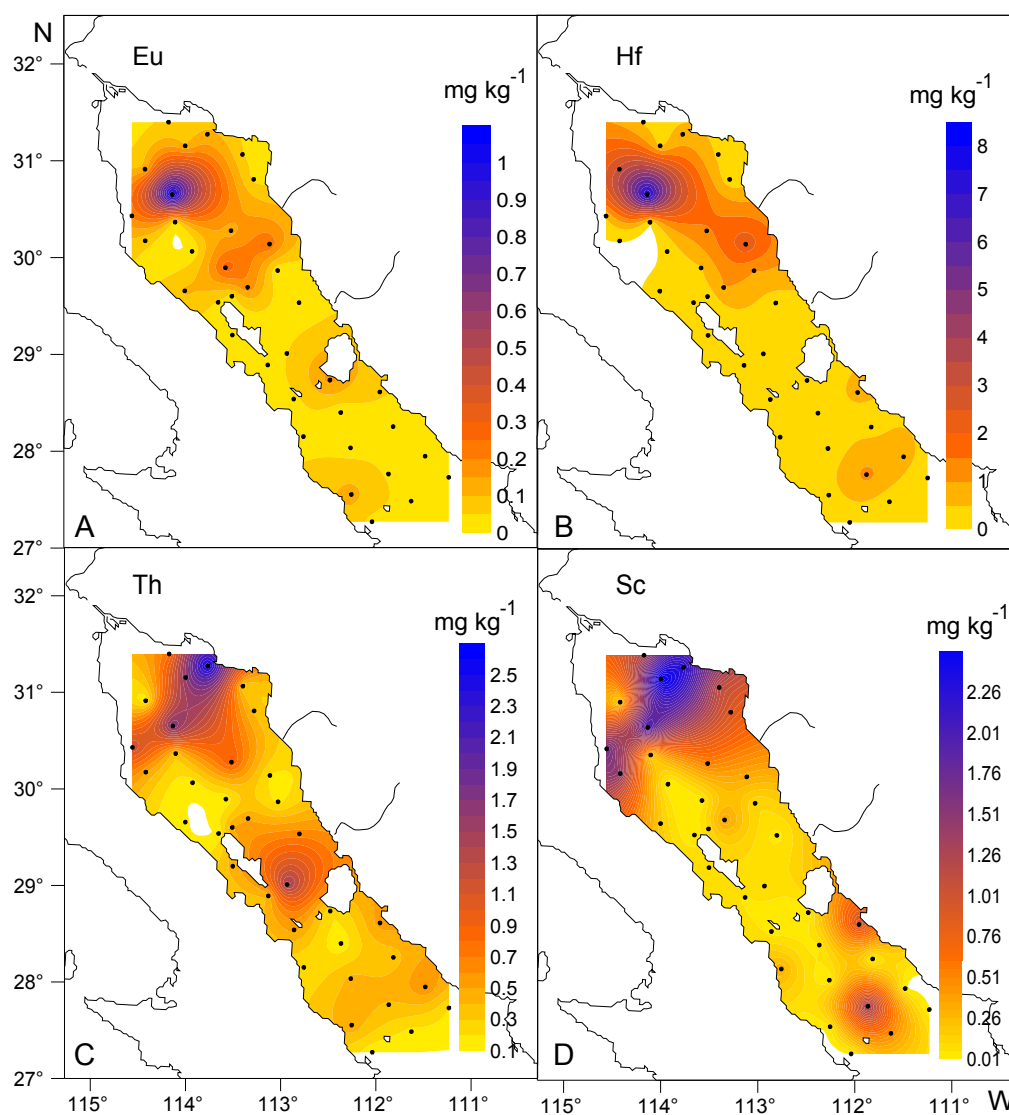


Figura 15. Distribución espacial de elementos de origen terrígeno (asociación 3-subgrupo 1) contenidos en el zooplancton del GC, durante junio del 2005. A) europio, B) hafnio, C) torio y D) escandio

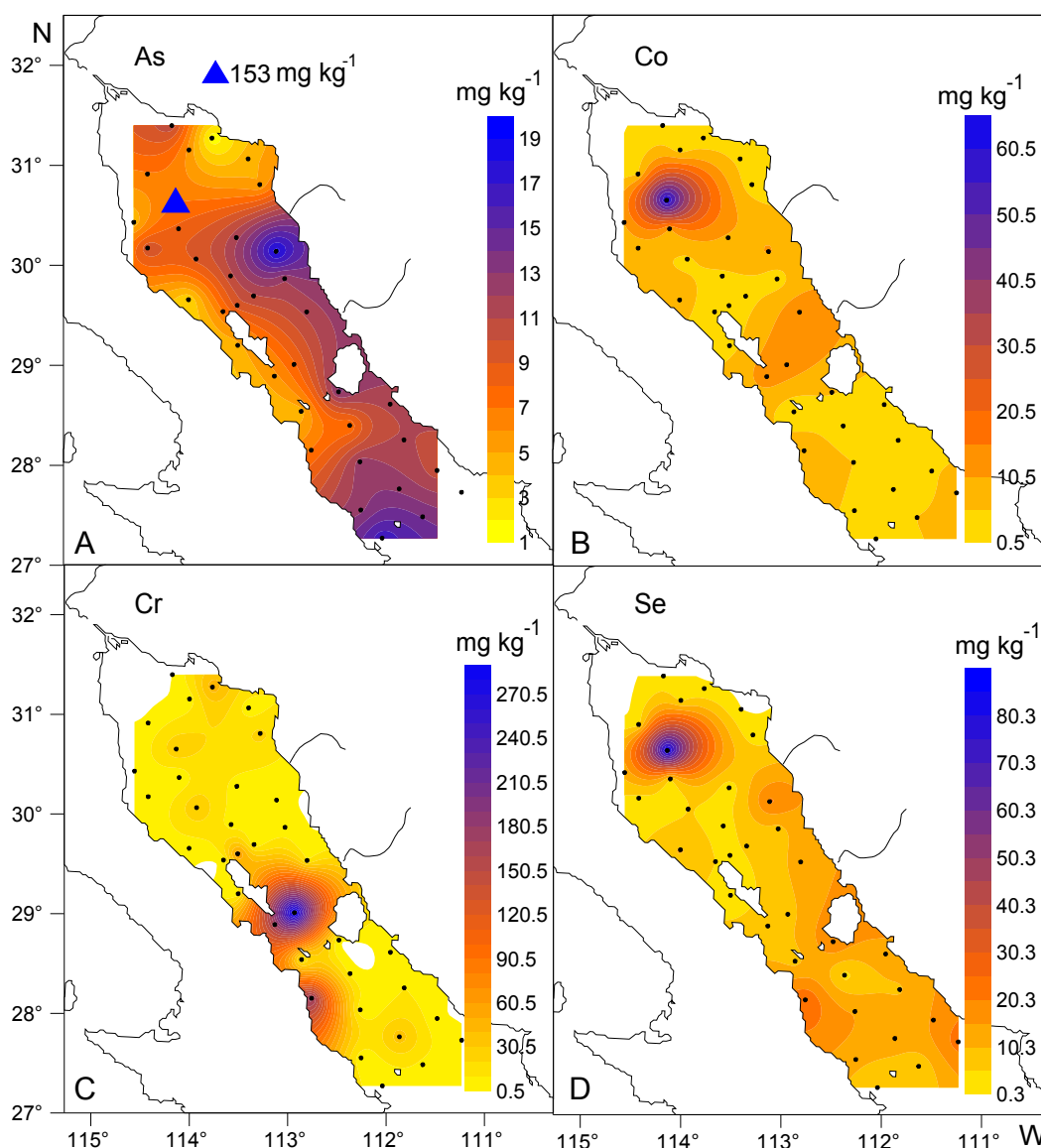


Figura 16. Distribución espacial de elementos redox-sensibles (asociación 3-subgrupo 2) contenidos en el zooplancton del GC, durante junio del 2005. A) arsénico, B) cobalto, C) cromo y D) selenio.

El primer grupo estuvo constituido por Ba, Cr, Rb y Zr. Cada uno de estos elementos mostró una distribución diferente. Como ejemplo Ba presentó sus máximas concentraciones en el zooplancton al sur del Canal de Ballenas, mientras que los niveles más altos de Cr se localizaron en la parte sur del archipiélago en la zona central del Golfo (Figura 19).

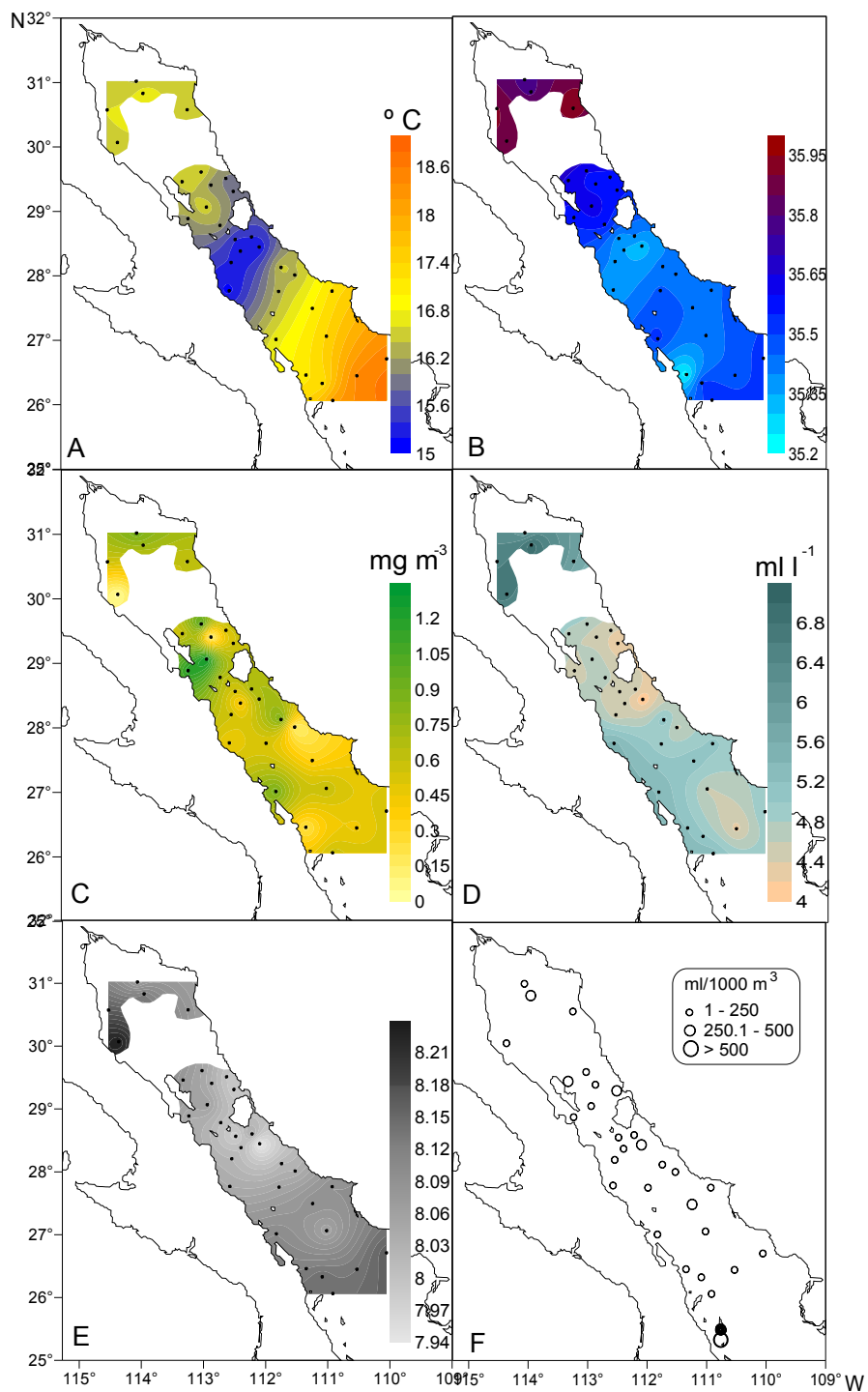


Figura 17. Distribución espacial de variables ambientales de la campaña oceanográfica de enero del 2007. A) temperatura, B) salinidad, C) clorofila *a* en estrato de 10m, D) oxígeno disuelto, E) pH y F) biomasa del zooplancton

El segundo grupo lo integraron los elementos de origen terrígeno (cesio, hafnio, antimonio, escandio, selenio, torio y algunos lantánidos) y elementos redox-sensibles (arsénico, cobalto y uranio). La distribución de este grupo mostró diferentes patrones. Lu, Th, U e Yb mostraron sus máximas concentraciones al Norte del GC frente a la península. Excepto el U, todos presentaron un segundo máximo frente a la costa de Sonora, también en el Golfo Norte (Figura 20). El Ce, La, Nd, Sb, Sc y Tb tuvieron sus máximos niveles en zooplancton en la parte más norteña del área de estudio, frente a la costa de la península. Co, Hf y Se tuvieron sus niveles más altos en zooplancton al sur de Canal de Ballenas. As y Eu no se asociaron a ninguno de los anteriores patrones. As presentó sus mayores concentraciones al sur del área de estudio y con un segundo máximo en el Canal de Ballenas. El Eu tuvo sus máximos valores al Norte del GC frente a la costa continental y un segundo máximo al sur de Isla Tiburón (Figura 20).

El tercer grupo estuvo formado por calcio y sodio, elementos mayores en el agua de mar, así como por algunos elementos biológicamente activos como el fierro, estroncio, zinc además de bromo. La distribución de los elementos de esta agrupación fue muy heterogénea por lo que no se observó un patrón bien definido. El Na mostró sus más altos niveles de concentración en el zooplancton en la parte más sureña del área de estudio frente a la costa peninsular. El Ca tuvo sus concentraciones mayores al norte de Isla Tiburón frente a la costa de Sonora. El Fe mostró las mayores concentraciones al norte del área de estudio, frente a la costa de la península de Baja California, así como al sur del Canal de Ballenas. El Sr tuvo sus mayores niveles de concentración en el zooplancton al sur del archipiélago central, adyacente a la península de Baja California (Figura 21).

8.3.4. Campaña de febrero del 2007

Distribución de indicadores ambientales

Los menores valores de temperatura durante esta campaña se localizaron al sur de la Isla San Lorenzo ($<15^{\circ}\text{C}$), frente a la costa de la península de Baja

California. Las mayores temperaturas fueron registradas en la región sureña del área de estudio ($>17.5^{\circ}\text{C}$) frente a las costas de Sonora (Figura 22).

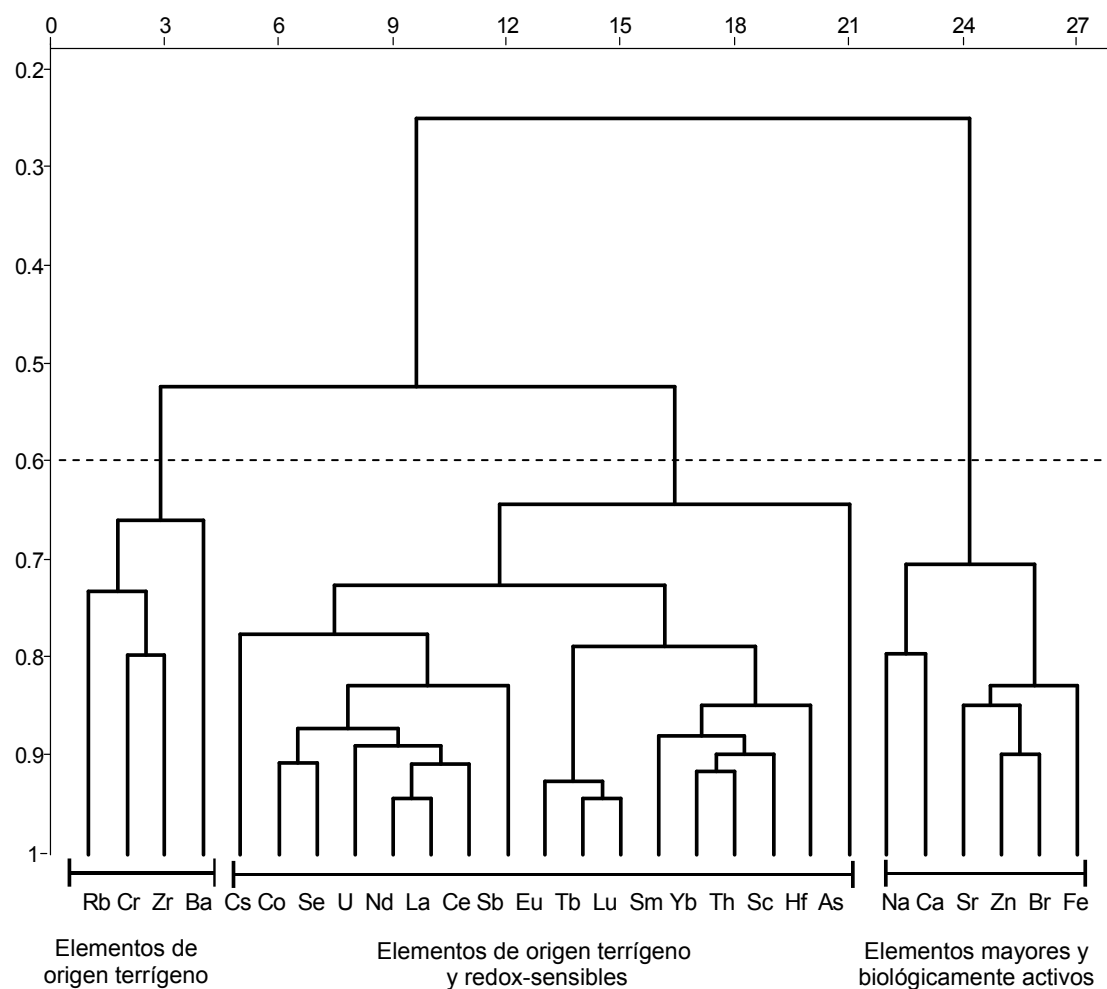


Figura 18. Asociaciones de elementos mayores y traza contenidos en el zooplancton, obtenidos mediante el índice de disimilaridad de Bray-Curtis en enero del 2007

Las menores concentraciones de salinidad (< 35.1) para éste período de estudio se ubicaron al sur de la Isla San Lorenzo coincidiendo con los valores más bajos de temperatura, mientras que las mayores salinidades se distribuyeron en el

Golfo Norte (>35.4). Cabe resaltar la presencia de un núcleo superficial de alta salinidad al noroeste de la Isla Tiburón (Figura 22).

El oxígeno disuelto presentó sus menores niveles al sur de la Isla San Lorenzo ($<3.5 \text{ ml l}^{-1}$) coincidiendo con los valores menores de temperatura y salinidad, mientras que los mayores niveles de oxígeno se registraron al noroeste de la Isla Ángel de la Guarda ($>5.5 \text{ ml l}^{-1}$) frente a la costa peninsular (Figura 22).

La clorofila *a* estimada con los datos de fluorescencia mostraron su menor nivel al sur de la Isla Tiburón ($<0.05 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$) frente a la costa continental, observándose los más altos niveles al sur del archipiélago en la parte central del Golfo ($>2 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$) (Figura 22).

Las menores concentraciones de clorofila *a* en el estrato de los 10 m, se localizaron en el suroeste de Isla Tiburón, con máximas concentraciones (0.5 mg m^{-3}) ubicadas frente a la costa de Sonora al sureste de dicha isla ($>5 \text{ mg m}^{-3}$) (Figura 23)

Las menores concentraciones de nitritos (NO_2^-) fueron observadas al sureste de Isla Tiburón ($<0.3 \text{ } \mu\text{g-at l}^{-1}$), frente a la costa continental, coincidiendo con los menores niveles de fluorescencia, mientras que las mayores concentraciones de este nutriente fueron observadas al noroeste de la misma isla ($> 1 \text{ } \mu\text{g-at l}^{-1}$) (Figura 23).

Las menores concentraciones de nitratos (NO_3^-) en el estrato de los 10m se distribuyeron al sureste de la Isla Tiburón ($< 3.5 \text{ } \mu\text{g-at l}^{-1}$) frente a la costa de Sonora, mientras que las mayores concentraciones de NO_3^- se distribuyeron al sur de esta isla y adyacente a la costa peninsular ($> 15 \text{ } \mu\text{g-at l}^{-1}$), a lo largo del área e estudio en la zona del archipiélago central (Figura 23).

La distribución de fosfatos (PO_4^{3-}) en el estrato de los 10 m presentó un gradiente similar al de los NO_3^- , con las menores concentraciones frente a la costa de Sonora ($< 1.2 \text{ } \mu\text{g-at l}^{-1}$), y las máximas concentraciones en el noroeste de Isla Tiburón ($> 2 \text{ } \mu\text{g-at l}^{-1}$) y zona aledaña a la Isla Ángel de la Guarda (Figura 23).

Las menores concentraciones de biomasa del zooplancton se distribuyeron en la zona sur de las Islas Ángel de la Guarda y Tiburón ($< 80 \text{ ml/1000 m}^3$), con las mayores concentraciones en la parte norte del área de estudio frente a las costas de Sonora ($> 3000 \text{ ml/1000 m}^3$) (Figura 23).

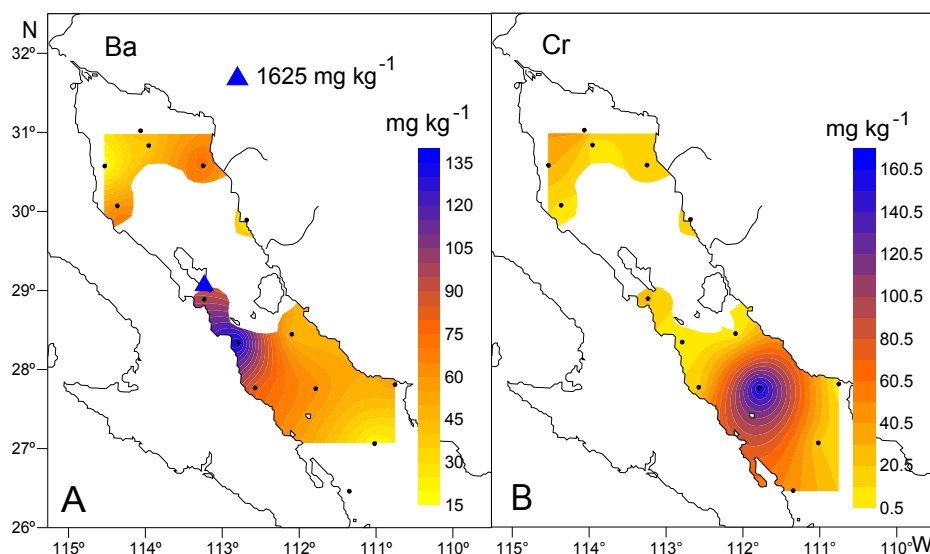


Figura 19. Distribución espacial de elementos de origen terrígeno (asociación 1) contenidos en el zooplancton del GC durante enero del 2007. A) bario y B) cromo

Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton

Para la campaña de febrero del 2007, el Índice de Bray-Curtis definió tres grupos de elementos en un nivel de corte de 0.55 (Figura 24). El primero de los grupos lo constituyeron los elementos mayores del agua de mar y algunos biológicamente activos, (bromo, calcio, estroncio, fierro, potasio y sodio). Las distribuciones de Fe y Ca mostraron un patrón de distribución muy similar, con altas concentraciones al sur de la isla Tiburón y al noroeste de ésta, así como al sur del Canal de Ballenas, adyacente a la costa de la península de Baja California (Figura 25). Las más altas concentraciones de Na fueron observadas en la parte sur del Canal de Ballenas. Para el caso del Sr, sus máximas concentraciones fueron registradas al sur de Isla Tiburón, así como en el límite sur del área de estudio (Figura 25).

El segundo grupo, estuvo formado por elementos biológicamente activos (bario, zinc, cadmio, fósforo y níquel), así como por elementos de origen terrígeno (circonio y plomo) y por elementos redox-sensibles (cromo y manganeso). El Ba, Pb

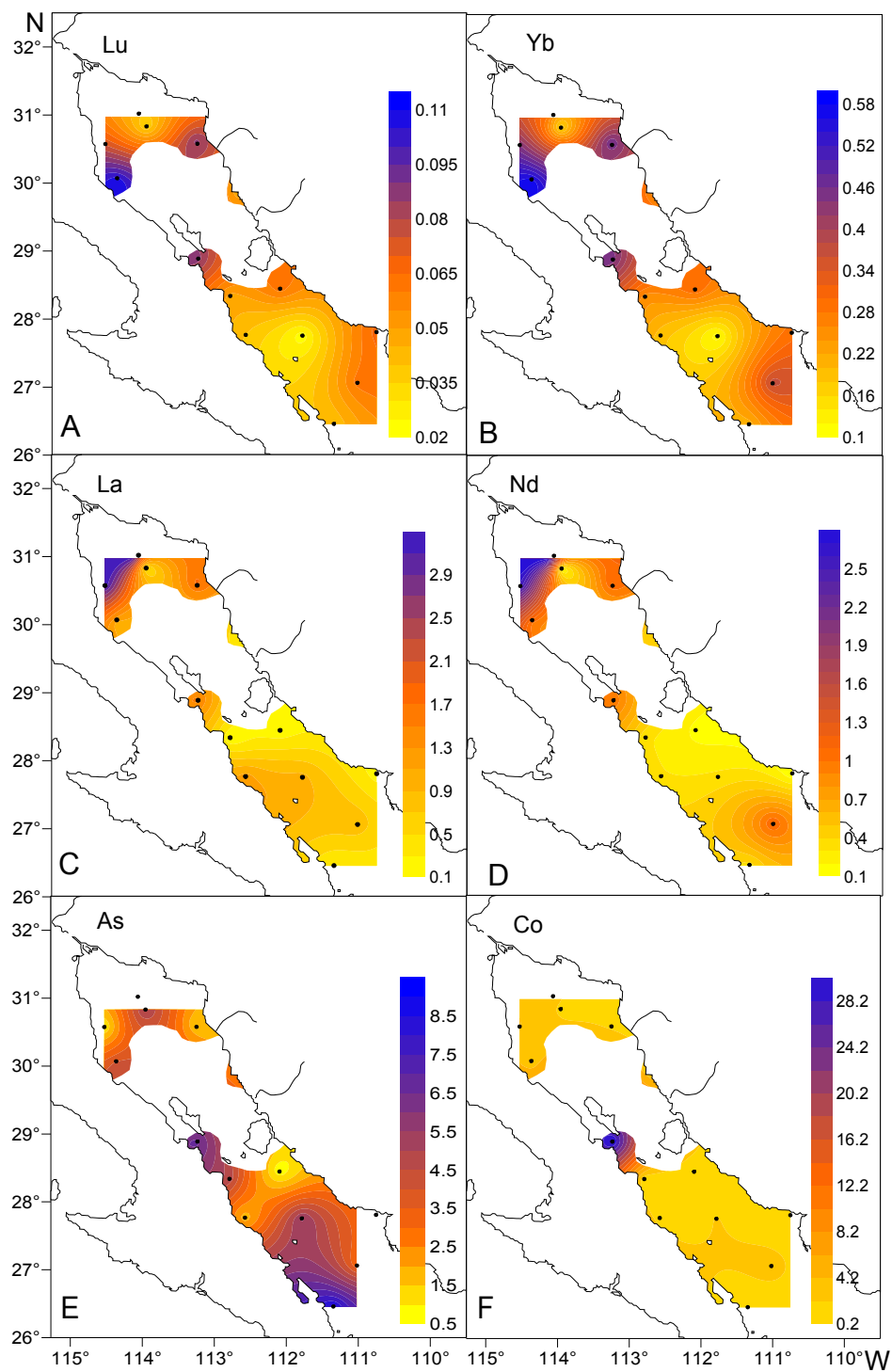


Figura 20. Distribución espacial de elementos de origen terrígeno y redox-sensibles (asociación 2) contenidos en el zooplancton del GC durante enero del 2007. A) lutecio, B) iterbio, C) lantano, D) neodimio, E) arsénico y F) cobalto

y Mn fueron elementos que presentaron distribuciones similares, con las mayores concentraciones en zooplancton al norte del archipiélago central, sin embargo mostraron otros núcleos al sur de Isla Tiburón frente a la costa continental, al sur del canal de Ballenas. El Ba y Pb también mostraron altos valores en el límite sur del área de estudio (Figura 26). El Cd mostró una distribución muy amplia, con sus mayores niveles de concentración al sur y oeste de Isla Tiburón, extendiendo sus altos niveles hacia el norte del área de estudio, adyacente a la costa de Sonora (Figura 26).

El tercer grupo lo conformaron en su mayoría elementos de origen terrígeno (antimonio, cesio, escandio, hafnio, torio y lantánidos) y algunos elementos redox-sensibles (arsénico, cobalto, selenio y uranio). Los elementos Cs, Th, Ce, La, Hf y Sc presentaron los niveles más altos de concentración al sur de Isla Tiburón (Figura 27), frente a la costa continental coincidiendo con los valores más altos de clorofila *a*. Los elementos As, Ce, Nd y Sm mostraron las máximas concentraciones en zooplancton al norte de la misma isla (Figura 27). Los elementos redox-sensibles uranio y selenio presentaron una distribución similar con niveles altos al sureste de Isla Tiburón y sur de Isla Ángel de la Guarda (Figura 27).

8.3.5. Campaña de julio del 2007

Los menores valores de temperatura se registraron al sur del Canal de Ballenas ($< 27.4^{\circ}\text{C}$) y en la zona adyacente a la Isla Ángel de la Guarda, registrándose los más altos valores frente a la costa de Sonora, en la parte más sureña del área de estudio ($>29.5^{\circ}\text{C}$) (Figura 28).

El menor nivel de salinidad se observó al sur de la Isla San Lorenzo frente a la costa peninsular (<31), presentándose el nivel más alto de salinidad al sureste de la Isla Ángel de la Guarda (>35.5) (Figura 28).

Los menores niveles de oxígeno disuelto fueron registrados en el Golfo Norte, frente a las costas de Sonora (4 ml l^{-1}), mientras que las máximas concentraciones se registraron al sur del Canal de Ballenas (7 ml l^{-1}) (Figura 28).

El patrón de distribución de la clorofila *a* estimada por con los datos de fluorescencia mostró los menores niveles al norte de la Isla Ángel de la Guarda ($< 1 \mu\text{g l}^{-1}$), mientras que los niveles más elevados se observaron al sur del Canal de Ballenas y la zona aledaña a la Isla Ángel de la Guarda ($> 4 \mu\text{g l}^{-1}$) (Figura 28).

Las menores concentraciones de clorofila *a* se presentaron en la zona sur del área de estudio, frente a la costa de Sonora ($< 1 \text{ mg m}^{-3}$), mientras que los niveles altos se presentaron en dos núcleos, el máximo en el Norte del GC adyacente a la costa de Sonora ($> 2.2 \text{ mg m}^{-3}$) y otro ubicado en la zona sur y sureste de la Isla Ángel de la Guarda (Figura 28).

Las menores concentraciones de biomasa del zooplancton fueron observadas al norte de la Isla San Lorenzo en la región central del Golfo ($< 55 \text{ ml}/1000 \text{ m}^3$), observándose las mayores concentraciones en estaciones ubicadas al sur del área de estudio ($> 800 \text{ ml}/1000 \text{ m}^3$) frente a la costa peninsular (Figura 28).

Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton

En julio del 2007, el Índice de Bray-Curtis definió tres grupos de elementos contenidos en el zooplancton (Figura 29). El primero estuvo constituido por elementos mayores (bromo, calcio, estroncio y sodio) y biológicamente activos (fierro y zinc). En esta agrupación no se observaron patrones de distribución de los elementos. El Na a diferencia de su distribución observada anteriormente, presentó sus mayores niveles de concentración en la zona adyacente a la Isla Tiburón, coincidiendo con las temperaturas más altas registradas (Figura 30). El Ca tuvo sus mayores concentraciones en el límite sur del área de estudio frente a la costa peninsular (Figura 30). Fe y Sr presentaron una distribución similar, con sus mayores concentraciones en el Norte del Golfo frente a la costa de península de Baja

California y con muy bajas concentraciones en el resto de las estaciones sureñas (Figura 30).

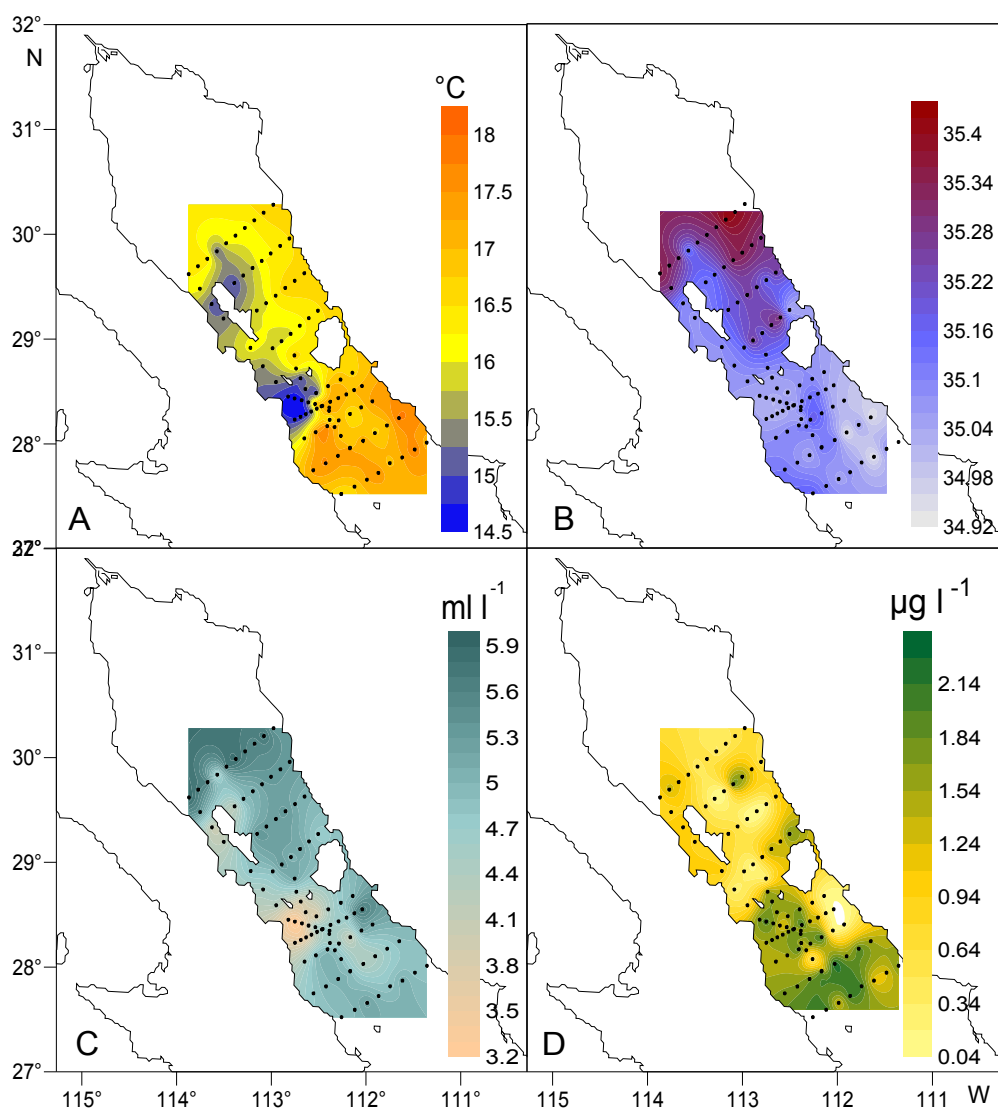


Figura 21. Distribución espacial de variables ambientales (físicas) de la campaña oceanográfica de febrero del 2007. A) temperatura, B) salinidad a 80 m de prof. C) oxígeno disuelto y D) fluorescencia

El segundo grupo estuvo formado el elemento biológicamente activo bario y algunos de origen terrígeno (cromo, níquel y circonio). El Ba se presentó en niveles

elevados en la costa peninsular, al norte de la Isla Ángel de la Guarda (Figura 31). El resto de las estaciones mostraron concentraciones bajas de este elemento. El Cr tuvo sus más altas concentraciones en el sur del archipiélago central (Figura 31). El Ni se localizó principalmente en el Golfo Norte coincidiendo con concentraciones elevadas de clorofila a en el área adyacente, mientras que el Zr mostró sus más altas concentraciones en el noroeste de la Isla Ángel de la Guarda (Figura 31).

El tercer grupo lo conformaron el resto de los elementos analizados, predominando los de origen terrígeno como antimonio, cesio, escandio, hafnio, selenio, tantalio, torio y lantánidos, además de elementos redox-sensibles (arsénico, cobalto y uranio). Varios de los elementos de este grupo presentaron un patrón de distribución muy similar. Tal es el caso de Co, Eu, Hf, La, Sc y Sm, que se distribuyeron al norte del archipiélago central frente a la costa de la península de Baja California, extendiendo sus altas concentraciones hacia la costa continental y una franja hacia la zona este de la Isla Ángel de la Guarda (Figura 32). Además estos elementos mostraron concentraciones bajas en la zona del archipiélago central, observándose nuevamente un aumento en sus concentraciones al sur del área de estudio.

8.3.6. Campaña de junio del 2008

Los menores valores de temperatura superficial durante esta campaña oceanográfica fueron registrados en la zona del archipiélago central, al suroeste de Isla Tiburón ($<15^{\circ}\text{C}$), mientras que los valores más altos se mostraron en el Norte del Golfo ($>25^{\circ}\text{C}$) (Figura 33).

La salinidad presentó los valores mínimos al suroeste de la Isla Tiburón (35), coincidiendo con los valores mínimos de temperatura, mientras que valores máximos de esta variable se distribuyeron en la parte más norteña del área de estudio (37) coincidiendo con los valores máximos de temperatura (Figura 33).

La concentración de oxígeno disuelto presentó las concentraciones mínimas en el suroeste de Isla Tiburón ($<3.5\text{ ml l}^{-1}$), donde se registraron las concentraciones

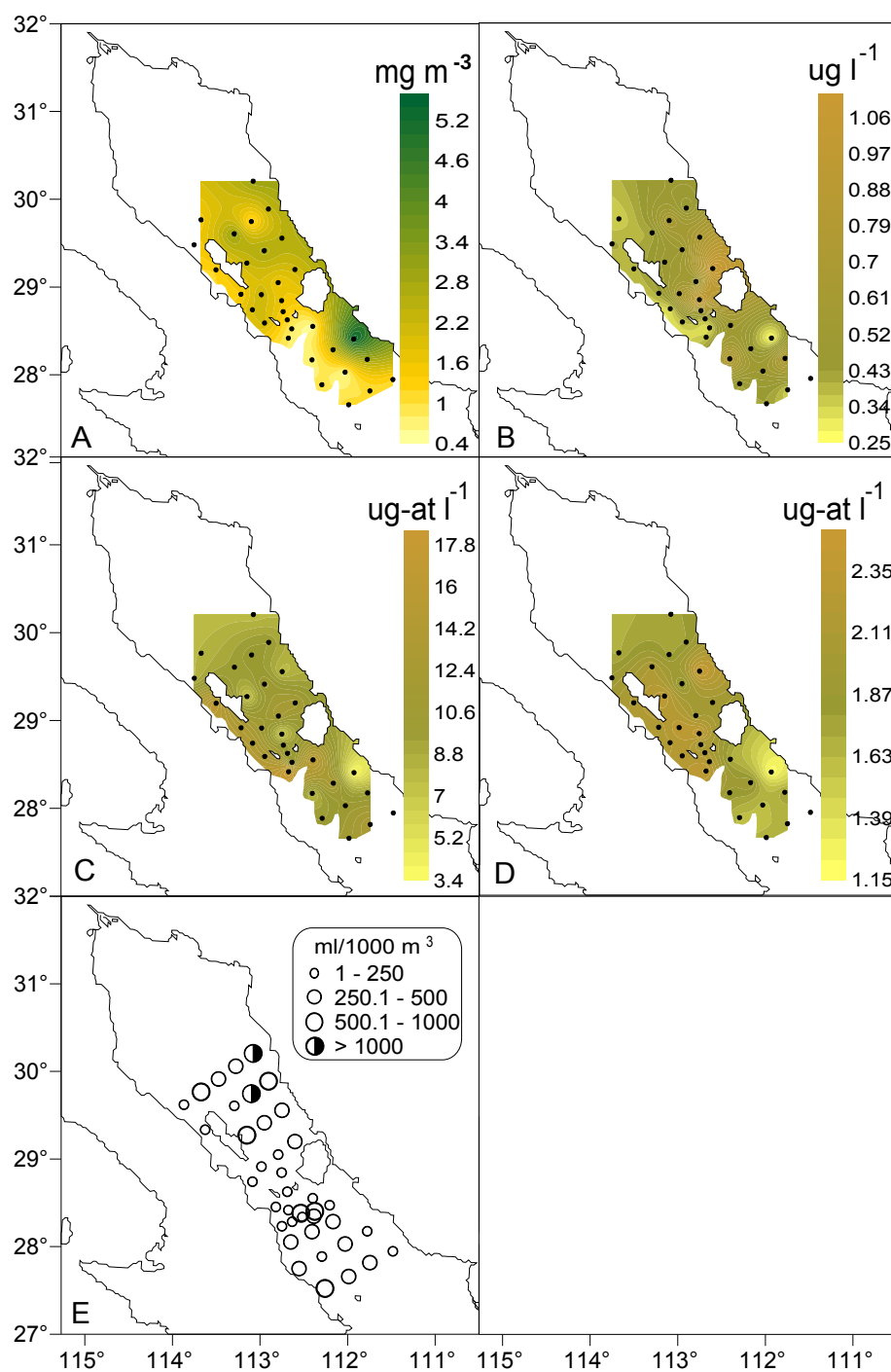


Figura 22. Distribución espacial de variables ambientales (biológicas) en febrero del 2007. A) clorofila a, B) nitritos, C) nitratos, D) fosfatos y E) biomasa del zooplancton

más bajas de salinidad. Al noroeste de la misma isla fueron observados los valores máximos de oxígeno ($>6.5 \text{ ml l}^{-1}$) (Figura 33).

La clorofila *a* obtenida a partir de los datos de fluorescencia presentó las menores concentraciones en la zona Norte del Golfo ($< 1 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$) registrando las mayores concentraciones al noroeste de Isla Tiburón frente a la costa de Sonora ($< 2 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$) (Figura 33).

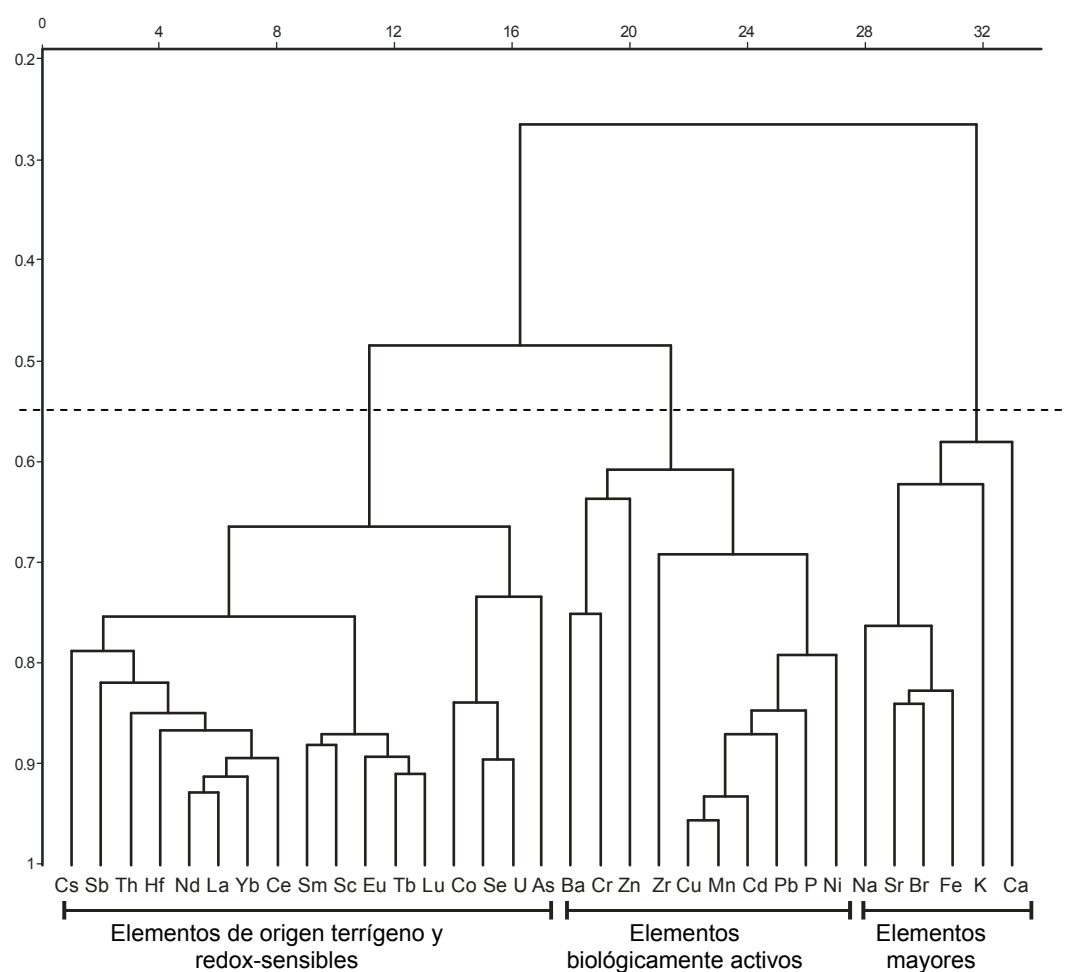


Figura 23. Asociaciones de elementos mayores y traza contenidos en el zooplancton, obtenidos mediante el índice de disimilaridad de Bray-Curtis en febrero del 2007

La biomasa zooplanctónica en general mostró concentraciones de medias a bajas. Los menores valores de biomasa se distribuyeron casi de manera homogénea en la zona Norte del Golfo ($<10 \text{ ml}/1000 \text{ m}^3$) y la región del archipiélago central,

observándose algunos núcleos importantes frente a la costa de Sonora (>800 ml/1000 m³) (Figura 33).

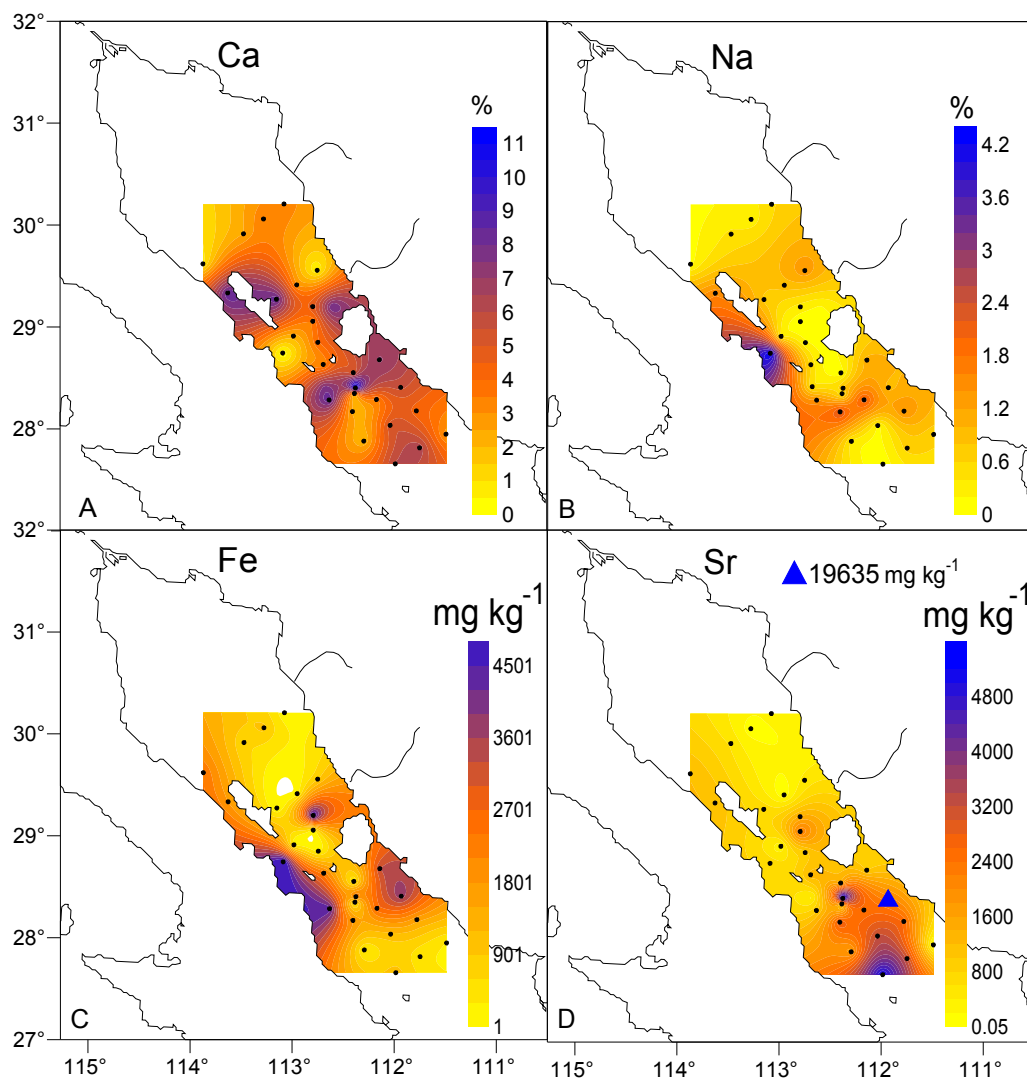


Figura 24. Distribución espacial de elementos mayores (asociación 1) contenidos en el zooplancton del GC, durante febrero del 2007. A) calcio, B) sodio C) fierro y D) estroncio

Asociaciones y distribuciones de elementos mayores y traza contenidos en zooplancton: Análisis de componentes principales

Los resultados del ACP mostraron que cuatro principales factores controlan la mayor parte de la varianza de las concentraciones de elementos contenidos en el zooplancton de este periodo (Tabla 12).

El factor 1 mostró cargas altas (>0.5) para los elementos de origen terrígeno (Be, Co, Fe, Mn, Sc, Ti y lantánidos). La mayoría de los elementos que constituyeron este grupo mostraron un mismo patrón de distribución, con altas concentraciones en el Golfo Norte, adyacentes a la costa peninsular frente a Puertecitos, extendiéndose hacia el norte. Este patrón, además muestra enriquecimiento en la Bahía San Jorge, en la costa de Sonora (Figura 34). Un segundo patrón observado en este factor fue el presentado por Ge, Tl e Y, los que mostraron sus más altas concentraciones en Bahía San Jorge y en el extremo norte del área de estudio (Figura 34). Los elementos Mn y V, tuvieron sus niveles más altos frente a Puertecitos, pero en este caso no hubo un enriquecimiento tan alto en la costa de Sonora (Figura 34).

El factor 2 permite observar dos subgrupos de los elementos en los que se tuvieron cargas altas. El subgrupo 2A estuvo constituido por Ag, Ba, Cr, Ni, Te y Zr con cargas negativas altas, mientras que el subgrupo B contiene a Ca y Ta con una alta carga positiva. Cr y Ni, mostraron una distribución homogénea en el GN, con un incremento en sus concentraciones en la parte sureña del archipiélago (Figura 35). Ca y Ta, se distribuyeron de forma similar al Tl (factor 1), con elevados niveles de concentración en Bahía San Jorge y en el extremo sur nuestra área de estudio. Los elementos Ag, Te y Zr, presentaron el enriquecimiento observado frente a Puertecitos, extendiendo su distribución hacia la parte central del NG. El Ba mostró los valores más elevados al norte de la Isla Ángel de la Guarda y con su distribución clásica con altas concentraciones en la zona del archipiélago (Figura 35).

El factor 3 también estuvo subdividido en dos subgrupos. El subgrupo 3A lo formaron Pb, Sb, Se y U con altas cargas positivas; mientras que el subgrupo 3B solo fue importante para el componente mayor Na con una alta carga negativa. Los

Tabla 12. Análisis de componentes principales aplicado a la matriz de contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton del Golfo de California, durante junio del 2008.

Elemento	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Elemento	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Ag	-0.446	0.557	-0.074	0.515	Mg	-0.329	-0.446	-0.269	-0.460
As	0.082	-0.040	0.269	0.087	Mn	-0.700	0.059	0.090	0.273
Au	-0.129	0.027	0.070	0.341	Mo	0.300	0.457	-0.340	-0.495
B	-0.313	0.446	-0.438	-0.070	Na	0.089	0.191	-0.668	-0.537
Ba	-0.066	0.675	0.233	-0.081	Nb	-0.954	-0.201	0.081	-0.057
Be	-0.966	-0.114	0.041	-0.009	Nd	-0.959	-0.192	0.095	0.008
Ca	-0.046	-0.627	0.121	0.215	Ni	-0.276	0.691	-0.034	0.398
Bi	-0.294	0.352	-0.073	0.151	Pb	0.033	0.485	0.680	-0.220
Cd	0.340	0.044	0.589	-0.180	Pr	-0.947	-0.126	0.050	0.002
Ce	-0.673	0.479	-0.160	-0.052	Rb	-0.654	0.446	-0.138	-0.215
Co	-0.896	0.182	-0.008	0.108	Re	-0.273	0.079	-0.339	-0.391
Cr	-0.349	0.620	0.045	0.342	Sb	0.026	0.425	0.708	-0.280
Cs	-0.782	-0.048	-0.081	-0.119	Sc	-0.967	-0.166	0.049	-0.019
Cu	-0.015	0.239	-0.074	-0.188	Se	0.270	0.116	0.719	-0.329
Dy	-0.970	-0.149	0.088	0.013	Sn	0.023	0.251	-0.183	-0.367
Er	-0.971	-0.145	0.089	0.002	Sr	-0.053	0.184	0.558	-0.590
Eu	-0.860	-0.052	0.185	-0.081	Ta	-0.106	-0.661	0.191	0.194
Fe	-0.968	-0.054	0.048	-0.045	Tb	-0.966	-0.176	0.091	0.003
Ga	-0.964	-0.193	0.078	-0.018	Te	-0.150	0.693	-0.338	0.322
Gd	-0.965	-0.169	0.110	0.020	Th	-0.912	-0.044	-0.037	-0.062
Ge	-0.750	0.367	-0.231	0.121	Ti	-0.952	-0.204	0.099	-0.063
Hf	-0.907	0.109	0.000	0.087	Tl	-0.967	-0.094	0.084	0.057
Hg	0.000	0.302	0.473	0.445	Tm	-0.973	-0.117	0.088	0.002
Ho	-0.970	-0.150	0.089	0.005	U	-0.061	0.432	0.683	-0.391
In	-0.219	0.256	-0.193	-0.333	V	-0.898	0.009	-0.068	-0.143
K	-0.692	-0.134	-0.341	-0.482	W	-0.893	0.121	0.051	0.066
La	-0.687	0.364	-0.168	-0.057	Y	-0.811	0.212	-0.119	0.025
Li	-0.941	-0.236	-0.002	-0.136	Yb	-0.965	-0.117	0.103	0.000
Lu	-0.947	-0.047	0.126	0.011	Zn	-0.211	0.346	0.538	-0.043
					Zr	-0.444	0.593	-0.268	0.019

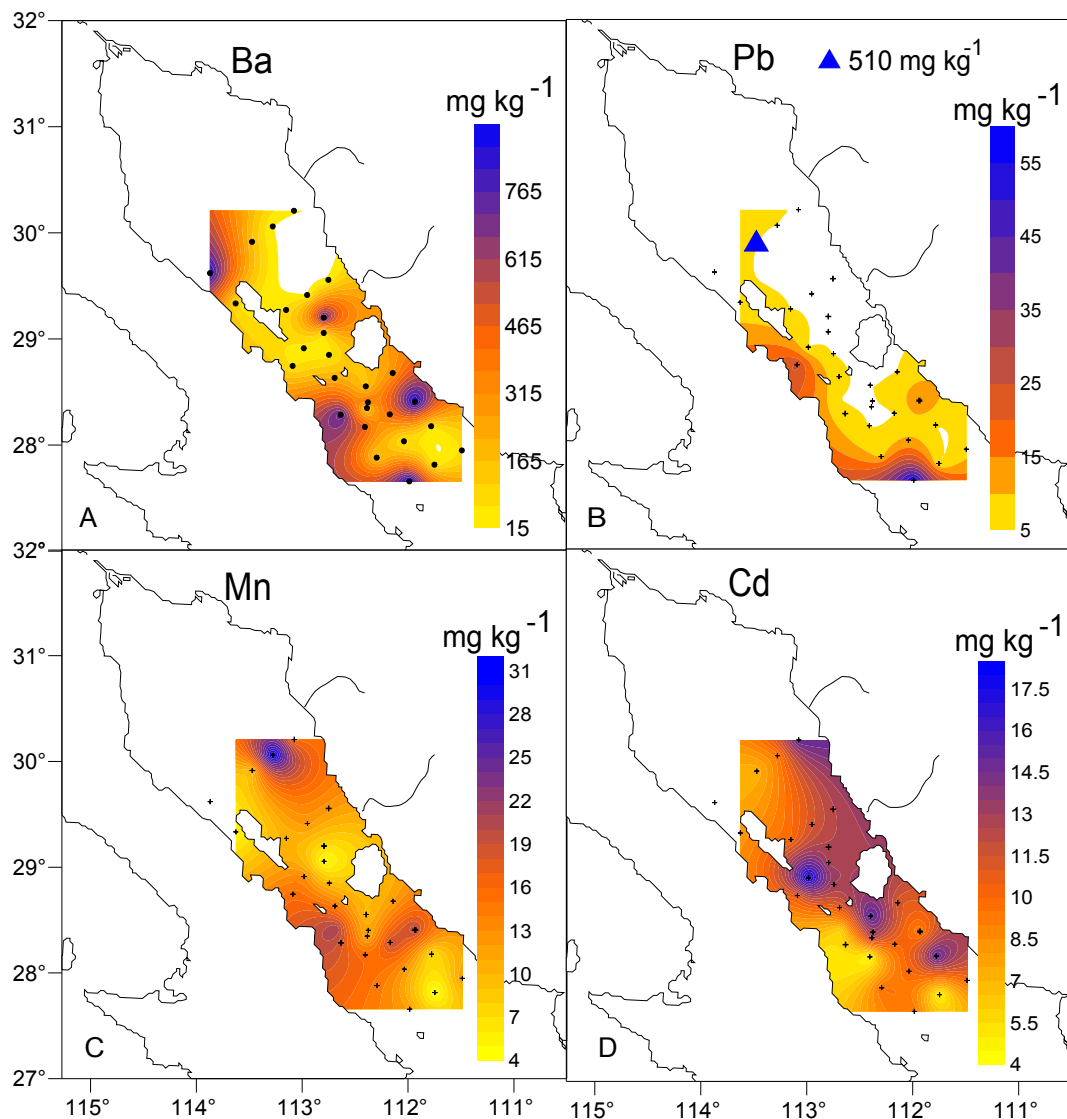


Figura 25. Distribución de elementos biológicamente activos (asociación 2) contenidos en el zooplancton del GC durante febrero del 2007. A) bario, B) plomo C) manganeso y D) cadmio

elementos Pb, Sb, Se, U y Cd, se distribuyeron de manera homogénea en la zona Norte del GC con valores intermedios, mientras que se observó un incremento en sus concentraciones en la región del archipiélago central. El elemento mayor Na se distribuyó en varios núcleos de alta concentración en la parte Norte del GC, extendiendo sus concentraciones hacia la parte central de esta misma región (Figura 36).

El factor 4 afectó con altas cargas, principalmente la varianza de Ag, Sr, nuevamente al Na y en menor grado a la varianza de K y Mg. Ag tuvo sus concentraciones más elevadas frente a la zona de Puertecitos, mientras que en el resto del área de estudio sus niveles fueron homogéneos. El Sr, que es considerado de importancia, se distribuyó homogéneamente en casi toda el área de estudio, elevando sus concentraciones en la zona del archipiélago central. Los elementos K y Mg, mostraron una distribución muy similar a la presentada por el Na, con varios núcleos de alta concentración provenientes del Alto Golfo (Figura 36).

8.4. Relación entre los indicadores del ambiente y los contenidos de elementos mayores y traza en el zooplancton colectado en diferentes campañas

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) aplicado al conjunto de datos de elementos contenidos en zooplancton y las variables ambientales de cinco de las campañas oceanográficas: agosto del 2003 (verano), junio del 2005 (primavera), enero y febrero del 2007 (invierno-primavera) y julio del 2007 (verano), presentó un valor de estrés final de 16.64 y una estabilidad final de 0.0007. Las variables categóricas definidas para este análisis fueron a) cruceros oceanográficos; b) épocas del año (primavera, verano e invierno) y c) regionalización del área de estudio, las que fueron utilizadas para determinar si existen diferencias significativas en la composición de elementos en el zooplancton, a lo largo de los gradientes ambientales delimitados por cada grupo de variables categóricas.

En este análisis, las correlaciones de Pearson y Kendall de las variables ambientales con los ejes de ordenación mostraron que la temperatura fue la variable con mayor influencia en la distribución y concentración de los elementos contenidos en el zooplancton, con una contribución en el eje 1 ($r = -0.360$) y en el eje 3 ($r = -0.526$). La salinidad fue la segunda variable de mayor contribución de correlación en el primer ($r = -0.137$) y segundo ($r = -0.277$) eje. La concentración de clorofila *a* mostró también una contribución significativa de la variabilidad en el tercer eje ($r = 0.226$). En conjunto, estas variables mostraron una varianza explicada acumulada de 80% (Tabla 13).

Tabla 13. Resultados del análisis multivariable de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), que muestra la varianza explicada (r^2) y correlaciones de Pearson y Kendall (r) en los ejes de ordenación, para el contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton y variables ambientales del GC, para el conjunto de datos de las campañas oceanográficas: agosto del 2003, junio del 2005, enero, febrero y julio del 2007.

	$r^2= 0.317$	$r^2= 0.525$	$r^2= 0.726$
	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Factor	r	R	R
Clorofila a	0.06	0.043	-0.226
Temperatura	-0.360	-0.112	-0.526
Oxígeno	0.095	-0.111	0.034
Salinidad	-0.137	-0.277	-0.113
Profundidad de la estación	0.035	0.139	-0.061

Con la técnica del procedimiento permutacional de multirespuesta (MRPP) se pudo observar que a pesar del traslape de datos de elementos mayores y traza presentados por algunos cruceros, existen diferencias estadísticamente significativas entre las campañas de muestreo analizadas y entre las diferentes épocas del año ($p < 0.000$). La regionalización definida a priori no mostró diferencias significativas, lo que sugiere que los elementos asociados a determinadas regiones pudieran tener una captación constante del zooplancton a partir de diferentes fuentes de entrada (Tabla 14).

Con la primera variable categórica (cruceros oceanográficos) se pudo observar la formación de tres grupos de estaciones bien definidos. Agosto del 2003 y julio del 2007 tuvieron una cercanía asociada a elevadas temperaturas, sin embargo no existió un traslape considerable en la concentración de elementos de ambos cruceros. En febrero del 2007 las unidades de muestreo se agruparon en el

Tabla 14. Resultados del procedimiento permutacional de multirespuesta (MRPP) para la comparación de variables categóricas definidas, para el conjunto de datos de las campañas oceanográficas: agosto del 2003, junio del 2005, enero, febrero y julio del 2007.

Variables categóricas	Estadístico de prueba		
	T	A	p
Temporada de muestreo	-25.618927	0.06103308	0.000
Regionalización del golfo	-2.6761943	0.00637825	0.013
Diferencia entre cruceros	-33.983127	0.11568961	0.000

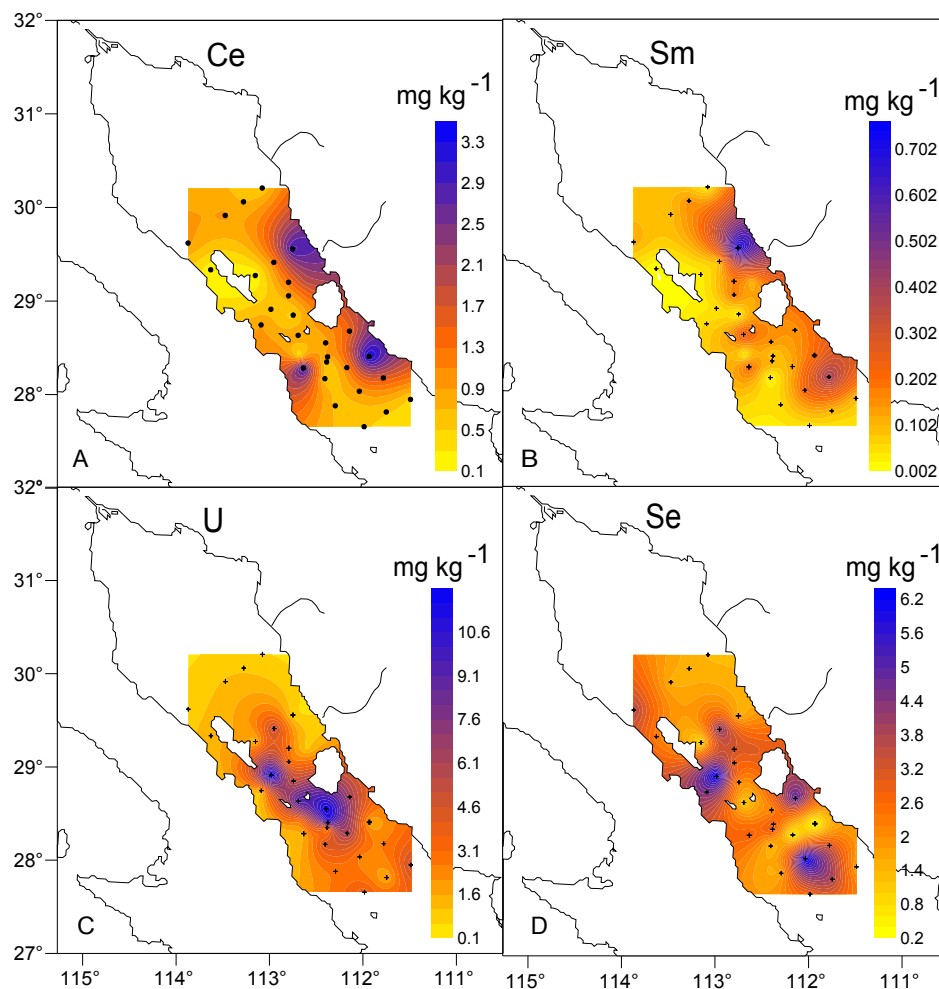


Figura 26. Distribución espacial de elementos biológicamente activos (asociación 3) contenidos en el zooplancton del GC en febrero del 2007. A) cerio, B) samario C) uranio y D) selenio

cuadrante opuesto de agosto del 2003. Los cruceros de junio del 2005 y enero del 2007 mostraron una amplia dispersión de sus datos (Figura 37).

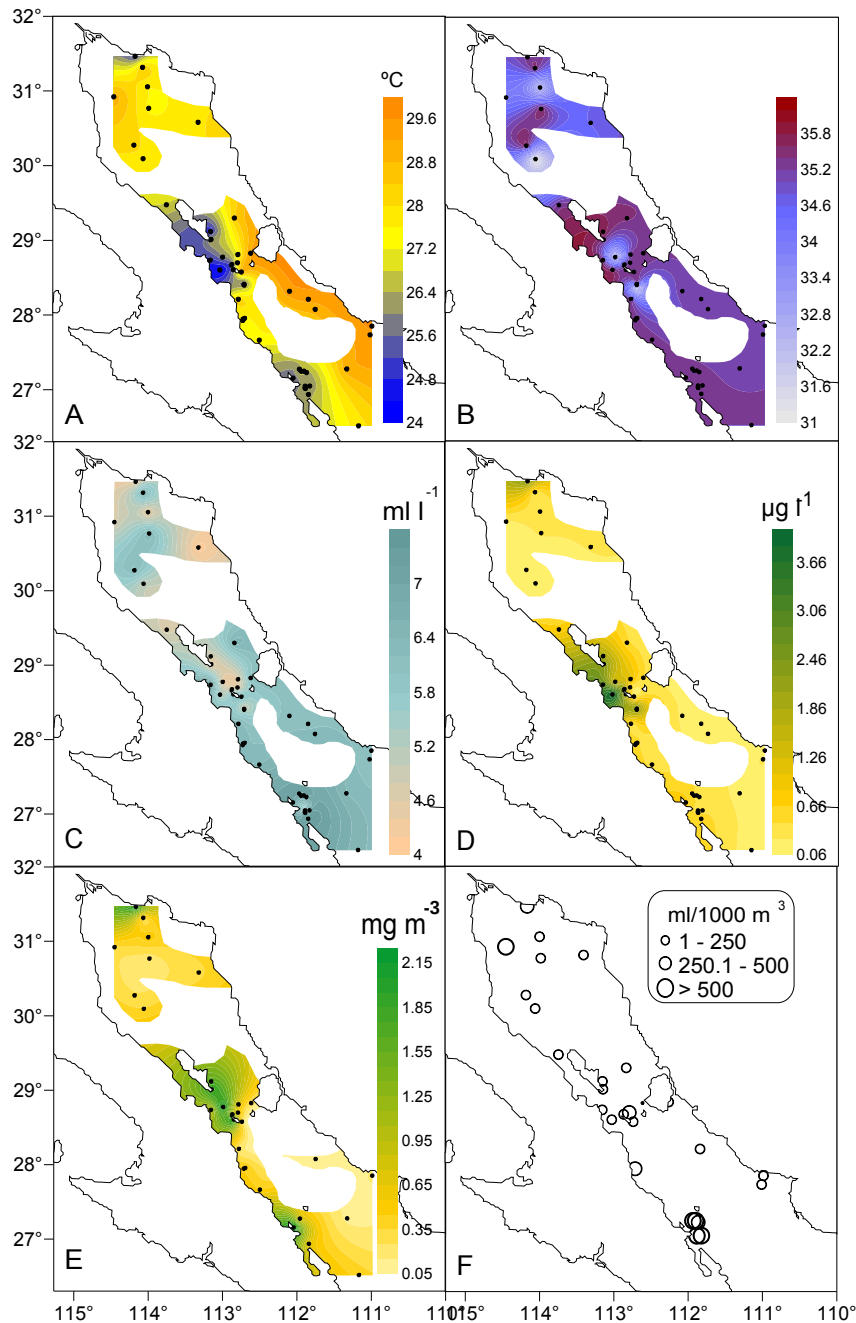


Figura 27. Distribución espacial de variables ambientales de la campaña oceanográfica de julio del 2007. A) temperatura, B) salinidad, C) oxígeno disuelto, D) fluorescencia E) Clorofila a y F) biomasa del zooplancton

La segunda variable categórica, con la que se buscaron diferencias significativas entre las distintas épocas del año, mostró que los elementos contenidos en el zooplancton en los cruceros realizados en las épocas de verano (agosto del 2003 y julio del 2007) e invierno (enero y febrero 2007) fueron separados por el análisis en dos agrupaciones bien definidas, coincidiendo con las épocas extremas en el GC; temperaturas altas en julio y agosto con fuerte estratificación y temperaturas bajas en enero y febrero con una columna mezclada. Los datos del crucero realizado en junio del 2005 al final de la primavera, tuvo una amplia dispersión de sus datos traslapándose con las épocas de verano y de invierno, indicando una época de transición térmica de las menores a mayores temperaturas en el GC.

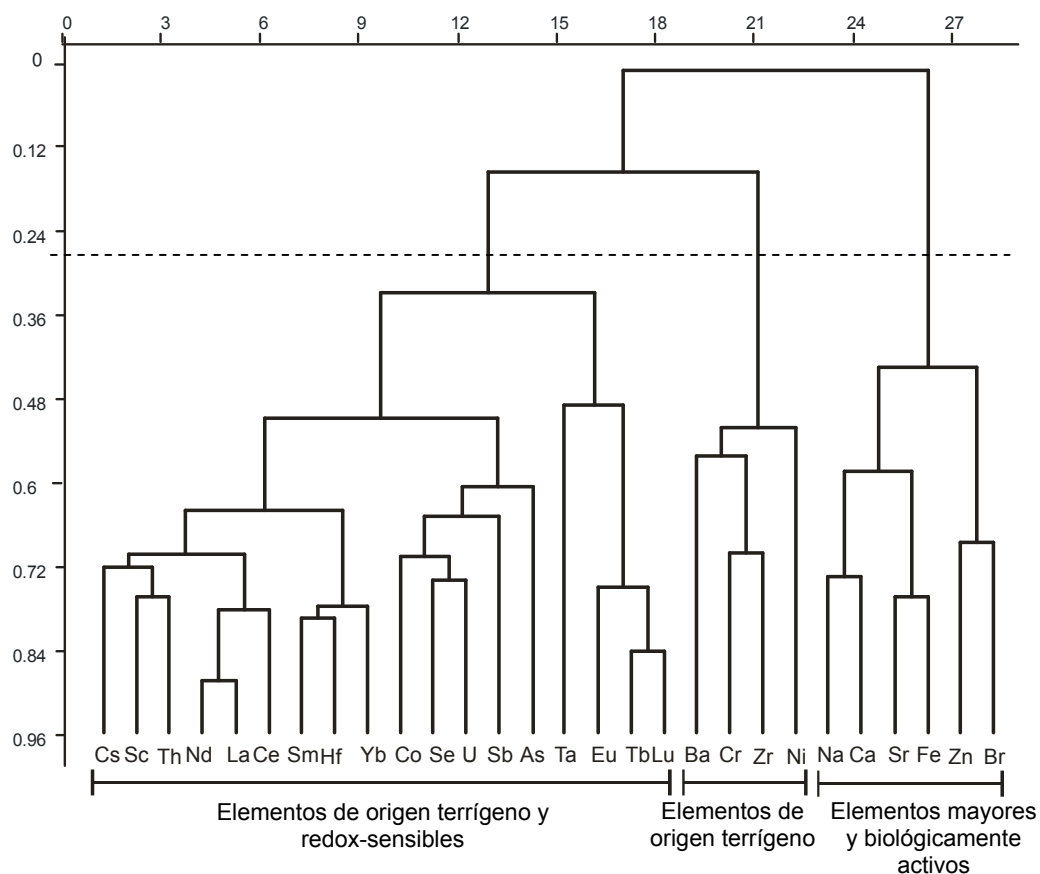


Figura 28. Asociaciones de elementos mayores y traza contenidos en el zooplancton, obtenidos mediante el índice de disimilaridad de Bray-Curtis en julio del 2007

De acuerdo con el análisis indicador de elementos (AIE) aplicado al conjunto de cruceros oceanográficos, se observó que para agosto del 2003, de acuerdo a su abundancia y frecuencia el elemento mayor Na fue el indicador con el criterio categórico de la campaña ($IV = 65$), además de U ($IV = 36$). Durante junio del 2005, Se fue el elemento de mayor frecuencia y abundancia ($IV = 54$). En julio del 2007 los elementos Sb, Fe, Sr, Zn y Br fueron los que mostraron los valores indicadores más altos de esta campaña ($IV = 29-56$) (Tabla 15).

El AIE aplicado por épocas del año, mostró que para la época transicional de finales de primavera, los elementos de origen terrígeno Se, La, Co y Br fueron los que tuvieron valores indicadores más altos ($IV = 29-56$). En el verano fueron Na, Sb y U con valores indicadores de $IV = 43-75$). El AIE no mostró elementos indicadores estadísticamente significativos para la época de invierno (Tabla 15).

En cuanto a los elementos indicadores por regiones, el AIE señaló que Eu, Sm y Sc fueron elementos indicadores significativamente del Golfo Norte, donde se presenta una alta resuspensión, mientras que las otras dos regiones definidas no mostraron elementos indicadores (Tabla 15).

Debido a las diferencias mostradas con los análisis anteriores entre las épocas de muestreo, se aplicaron las mismas pruebas de forma independiente a cada una de las campañas oceanográficas analizadas en este trabajo (excepto junio del 2008), para observar de manera más precisa, cuáles fueron las variables ambientales con mayor influencia en cada una de las temporadas.

8.4.1. Relación entre indicadores ambientales y el contenido de elementos en el zooplancton en cada una de las campañas oceanográficas

En los presentes análisis de datos se utilizaron diversas variables categóricas para la comprobación de posibles hipótesis. Dichas variables fueron: la regionalización del área de estudio, diferencias entre estaciones neríticas y oceánicas, muestreos tomados de día o noche y las estaciones de colecta ubicadas dentro o fuera de alguna estructura oceanográfica (giro, surgencia o fuera de cualquier estructura).

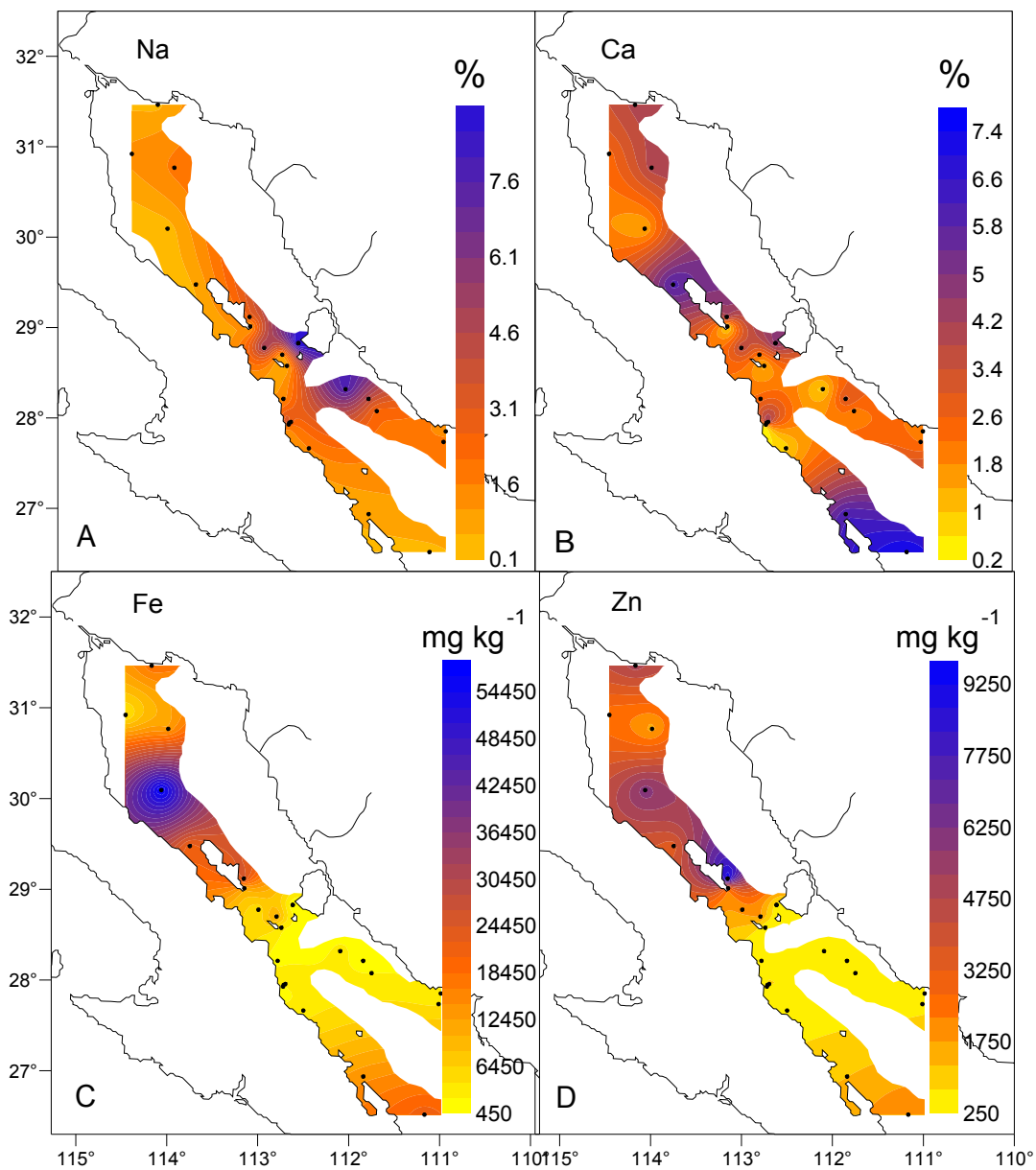


Figura 29. Distribución espacial de elementos mayores y biológicamente activos (asociación 1) contenidos en el zooplancton del GC durante julio del 2007. A) sodio, B) calcio, C) fierro y D) zinc

Tabla 15. Prueba de significancia de Monte Carlo del valor de indicador máximo observado (IV) para los elementos mayores y traza, de acuerdo a las variables categóricas definidas: Diferencia entre cruceros; Regionalización del Golfo de California: Golfo Norte (GN), archipiélago central (Ar) y sur del archipiélago (*SAr); y Diferencias entre épocas del año: invierno, primavera (época transicional) y verano.

Elemento	Diferencia entre crucero			Diferencia entre regiones			Diferencia entre épocas		
	Crucero	IV	Valor de Monte Carlo p	Región	IV	Valor de Monte Carlo p	Temporada	IV	Valor de Monte Carlo p
As	Agosto 2003	23.2	0.692	NG	33.6	0.495	Primavera	31.7	0.655
Ba	Febrero, 2007	27.4	0.492	NG	34.5	0.908	Invierno	40.6	0.353
Br	Julio, 2007	29.1	0.004	Ar	39.4	0.073	Primavera	42	0.006
Ca	Febrero, 2007	28.3	0.119	Ar	34.9	0.921	Invierno	41.9	0.096
Co	Agosto 2003	29.1	0.257	NG	41.7	0.263	Primavera	45.4	0.041
Cr	Febrero, 2007	30.5	0.335	Ar	39.7	0.608	Invierno	45.4	0.196
Cs	Junio, 2005	27.9	0.453	NG	41.2	0.19	Primavera	43.3	0.122
Eu	Junio, 2005	29.2	0.454	NG	52.6	0.015	Primavera	44.9	0.23
Fe	Julio, 2007	51.6	0.001	NG	40	0.485	Verano	45.3	0.148
Hf	Junio, 2005	32.6	0.312	NG	38.4	0.705	Primavera	49	0.055
La	Junio, 2005	34.4	0.211	NG	45.4	0.271	Primavera	53	0.035
Lu	Febrero, 2007	24.3	0.259	Ar	36.4	0.378	Primavera	38.8	0.07
Na	Agosto 2003	64.9	0.001	NG	43.8	0.091	Verano	74.8	0.001
Sb	Julio, 2007	56.3	0.009	Ar	51.5	0.252	Verano	62.8	0.005
Sc	Julio, 2007	30.8	0.135	NG	53.2	0.005	Primavera	42.2	0.195
Se	Junio, 2005	53.8	0.001	NG	37.2	0.91	Primavera	70.2	0.001
Sm	Junio, 2005	25.4	0.367	NG	45.3	0.015	Primavera	41.5	0.09
Sr	Julio, 2007	44.3	0.039	NG	50.1	0.144	Primavera	46.9	0.254

Th	Julio, 2007	30.7	0.063	Ar	37.6	0.412	Primavera	38.3	0.348
U	Agosto 2003	35.9	0.001	Ar	35.7	0.808	Verano	43.1	0.044
Yb	Agosto 2003	23.7	0.242	NG	35.1	0.67	Primavera	34.5	0.847
Zn	Julio, 2007	43.5	0.011	Ar	37.8	0.607	Verano	48.7	0.069
Zr	Agosto 2003	30.7	0.085	NG	37.7	0.218	Verano	41.2	0.053

* No hubo elementos indicadores

Tabla 16. Resultados del análisis multivariable de escalamiento multidimensional no métrico, que muestra la varianza explicada (r^2) y correlaciones de Pearson y Kendall (r) en los ejes de ordenación, para el contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton y variables ambientales del Golfo de California, durante agosto del 2003.

	$r^2 = 0.169$	$r^2 = 0.444$	$r^2 = 0.212$
	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Factores	r	r	r
Clorofila <i>a</i> superficial	-0.216	-0.107	0.011
Clorofila <i>a</i> en nivel máximo de fluorescencia	-0.341	-0.129	-0.324
Temperatura	0.182	-0.279	-0.174
Oxígeno	0.153	-0.122	0.106
Salinidad	-0.178	-0.013	0.052
Fluorescencia	-0.430	0.006	0.390
Profundidad de la estación	-0.053	-0.351	0.185

8.4.1.1. Agosto 2003

En la campaña de agosto 2003, el NMDS mostró una varianza explicada acumulada de 61% para los primeros 2 ejes, siendo en el eje 1 la fluorescencia ($r = -0.430$) y la clorofila *a* en la profundidad de máxima fluorescencia ($r = -0.341$) las variables ambientales con mayor influencia en la distribución de los elementos mayores y traza en el zooplancton, mientras que en el eje 2 fue la profundidad de la estación de muestreo la que tuvo una mayor influencia ($r = 0.123$) en la distribución de los elementos (Tabla 16), sugiriendo un origen de elementos de tipo biogénico. El diagrama NMDS obtenido (no mostrado) presentó una amplia distribución en el espacio multidimensional de los datos de concentraciones de elementos. Con el análisis MRPP se observó que no hubo diferencias significativas para ninguna de las variables categóricas usadas. El AIE aplicado a los datos de esta campaña oceanográfica, sólo mostró al elemento La como indicador de estaciones oceánicas ($IV > 60$), sin mostrar a otros elementos como indicadores en ninguna otra de las variables categóricas probadas (Tabla 17).

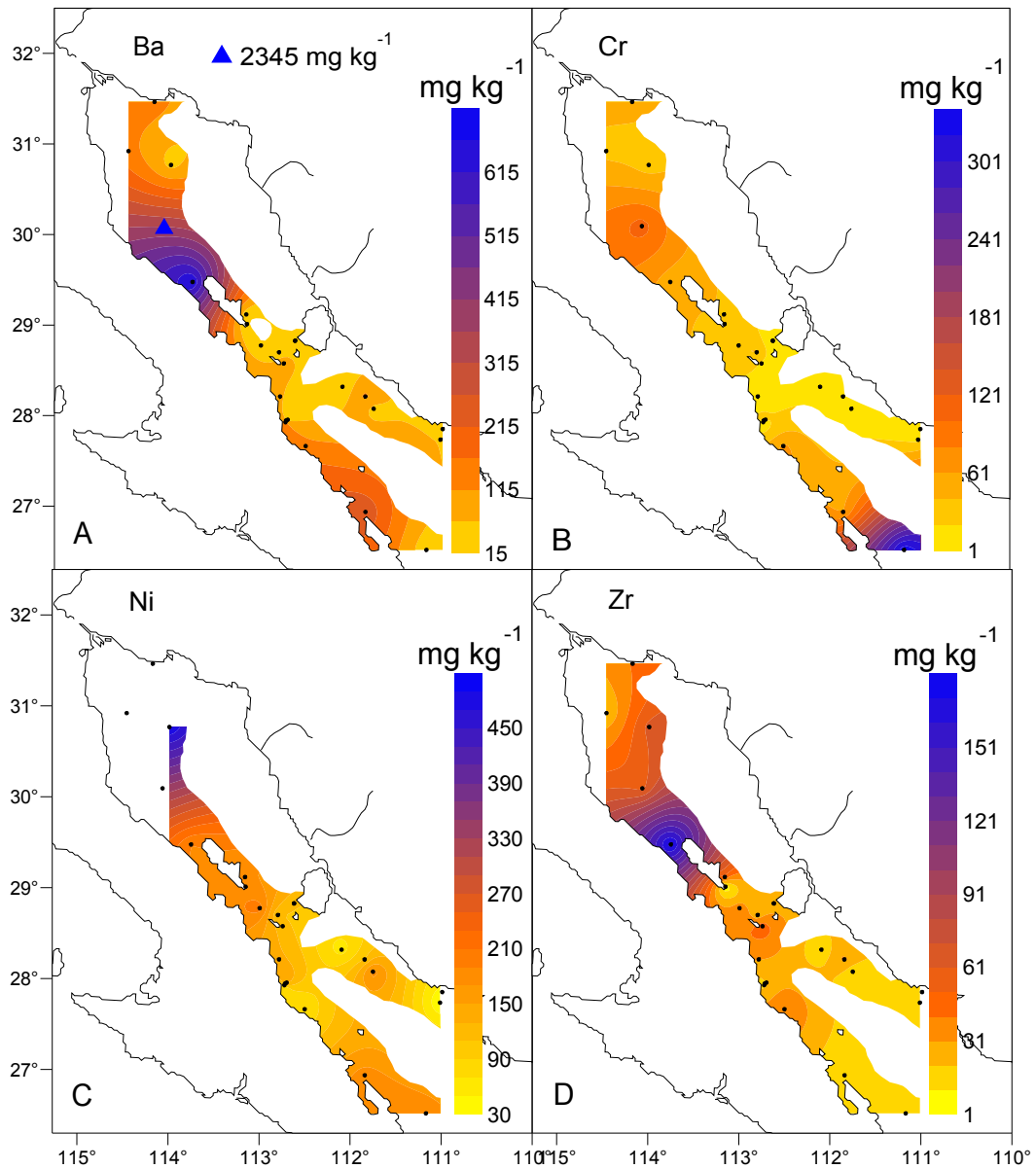


Figura 30. Distribución espacial de elementos de origen terrígeno (asociación 2, subgrupo 1) contenidos en el zooplancton del GC durante julio del 2007. A) bario, B) cromo, C) níquel y D) circonio

Tabla 17. Prueba de significancia de Monte Carlo del valor de indicador máximo observado (IV) para los elementos mayores y traza, de acuerdo a las variables categóricas definidas: Diferencia entre el día (D) y la noche (N); Regionalización del Golfo de California: Golfo Norte (GN), archipiélago central (Ar) y sur del archipiélago (SAr); diferencias entre estaciones neríticas (N) y oceánicas (O) y estaciones ubicadas dentro del giro ciclónico (G) o fuera (Fg), en agosto del 2003.

Elemento	Día/ Noche	Valor de Monte Carlo		Región	Valor de Monte Carlo		Nerítica/ Oceánica	Valor de Monte Carlo		Dentro de giro/ Fuera del giro	Valor de Monte Carlo	
		IV	p		IV	p		IV	p		IV	p
As	N	54.3	0.175	Ar	47.6	0.053	N	43	0.822	Fg	50.3	0.415
Ba	N	53.5	0.666	SAr	44.7	0.259	O	56.4	0.406	Fg	62.1	0.171
Br	D	50.1	0.967	NG	35	0.462	N	52.8	0.084	G	50.4	0.821
Ca	N	50.3	0.954	Ar	43.9	0.068	O	54	0.453	Fg	55.4	0.397
Co	N	50	1	Ar	43.5	0.155	O	58.6	0.143	Fg	62.3	0.051
Cr	D	57.9	0.525	NG	41.9	0.655	N	53.5	0.792	G	54.5	0.754
Cs	N	54.6	0.283	NG	37.6	0.607	O	50.1	0.515	Fg	39.8	0.987
Eu	N	54.3	0.651	SAr	41	0.648	O	54.8	0.637	Fg	59.7	0.443
Fe	N	58.2	0.356	SAr	50.2	0.275	O	47.4	0.866	Fg	57.3	0.482
Hf	N	44	0.888	SAr	36.6	0.629	O	54.5	0.247	Fg	44	0.896
La	D	55.2	0.317	Ar	33.9	0.988	O	61.4	0.028	G	51	0.89
Lu	N	52.4	0.74	NG	39.4	0.713	N	65.8	0.063	Fg	60.8	0.296
Na	D	52.5	0.419	NG	37.9	0.221	N	54.8	0.109	G	54	0.294
Rb	N	26.6	0.731	Ar	27.8	0.488	N	30.9	0.491	Fg	35.6	0.393
Sb	N	53.5	0.655	NG	45	0.272	N	55.6	0.519	G	58.8	0.393
Sc	D	51.9	0.872	SAr	37.8	0.922	O	56.5	0.629	G	55.5	0.712
Se	N	58.4	0.189	NG	39.7	0.5	N	50.9	0.885	G	56.3	0.425
Sm	N	54.6	0.3	SAr	36.3	0.716	O	54.4	0.333	Fg	64.7	0.087
Sr	N	60.4	0.255	NG	44.9	0.348	O	59.8	0.289	G	65.1	0.189
Th	N	46.6	0.987	Ar	50.7	0.254	O	68.4	0.087	G	60.2	0.368
U	N	53.8	0.44	Ar	39.3	0.432	O	55.4	0.312	Fg	52.4	0.714

Yb	N	52.4	0.509	SAr	34.6	0.912	O	54.6	0.247	Fg	51.6	0.731
Zn	N	62.8	0.736	SAr	68.6	0.086	O	60	0.838	Fg	66.6	0.382
Zr	N	36.3	0.946	SAr	33.9	0.642	O	37	0.922	Fg	42.6	0.69

8.4.1.2. Junio del 2005

Para junio del 2005, el NMDS mostró que la temperatura fue el factor que tuvo la mayor influencia en la distribución de los elementos en zooplancton en el eje 1 ($r = 0.477$) y eje 2 ($r = -0.401$), con una varianza explicada de 80% (Tabla 18). El análisis de MRPP no mostró diferencias significativas de las variables categóricas utilizadas.

El AIE mostró que en junio 2005, Hf se caracterizó por ser un elemento indicador ($IV > 75$) para las estaciones en que las muestras se recolectaron durante los muestreos de noche. En cuanto a la regionalización, los elementos Eu, Fe y Sc fueron indicadores de la región del Golfo Norte ($IV > 40$), mientras los elementos de origen terrígeno Eu y La fueron indicadores en estaciones neríticas mostrando posiblemente asociación con procesos de enriquecimiento costero ($IV > 80$) (Tabla 19).

Tabla 18. Resultados del análisis multivariable de escalamiento multidimensional no métrico, que muestra la varianza explicada (r^2) y correlaciones de Pearson y Kendall (r) en los ejes de ordenación, para el contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton y variables ambientales del Golfo de California, durante junio del 2005.

Factores	$r^2 = 0.59$	$r^2 = 0.212$
	Eje 1	Eje 2
	r	r
Temperatura	0.477	-0.401
Salinidad	0.276	-0.277
Oxígeno	-0.360	0.297
Profundidad de la estación	-0.169	0.293

8.4.1.3. Enero del 2007

En la campaña oceanográfica de enero del 2007 las variables ambientales estuvieron constituidas además de las variables físicas por datos de pigmentos fotosintéticos y pigmentos accesorios. En el eje 1, la profundidad de la estación (r

=0.500), el pigmento aloxantina ($r=0.421$), violaxantina ($r=0.400$) y 19'butanoiloxifucoxantina (19'BF, de silicoflagelados) ($r = 0.395$) fueron las variables ambientales que contribuyeron principalmente en la distribución de elementos contenidos en zooplancton con una varianza explicada acumulada en los primeros dos ejes de 83% (Tabla 20). El análisis de MRPP no mostró diferencias significativas con ninguna de las variables categóricas analizadas.

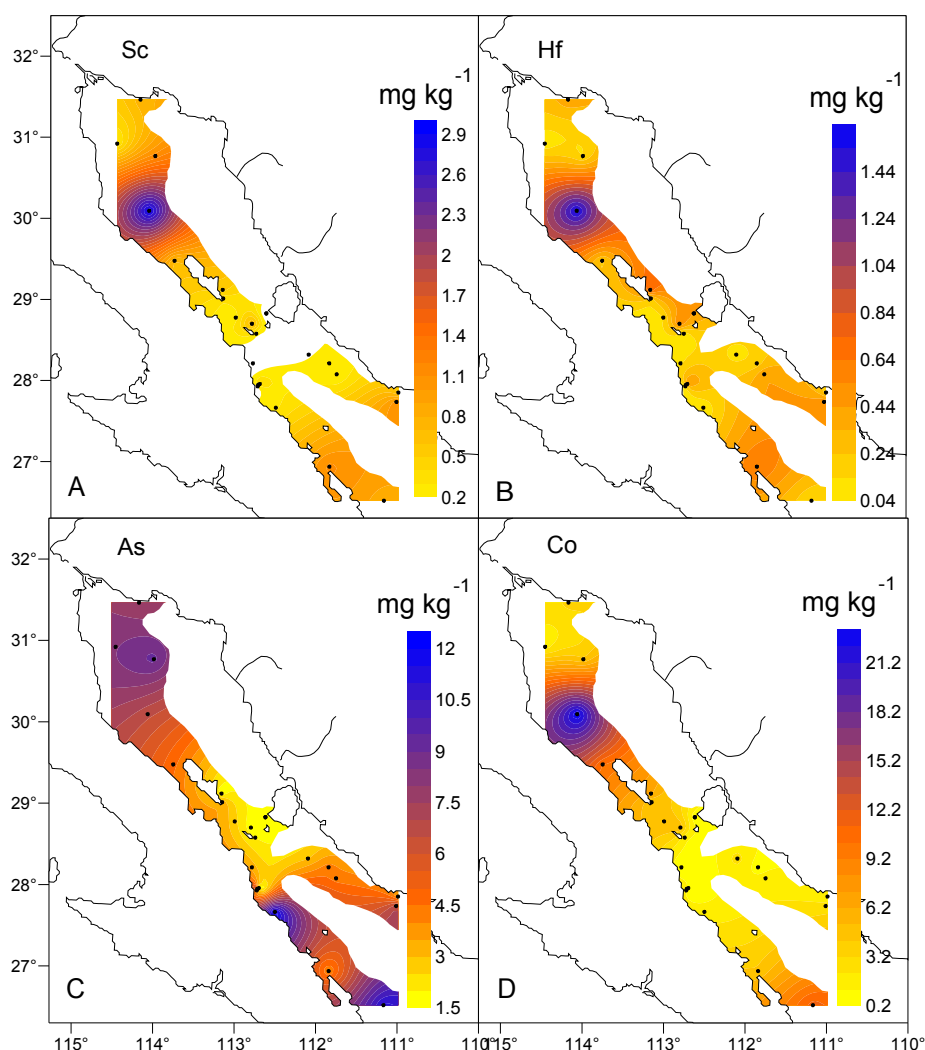


Figura 31. Distribución espacial de elementos de origen terrígeno y redox-sensibles (asociación 2, subgrupo 2) contenidos en el zooplancton del GC durante julio del 2007. A) escandio, B) hafnio, C) arsénico y D) cobalto

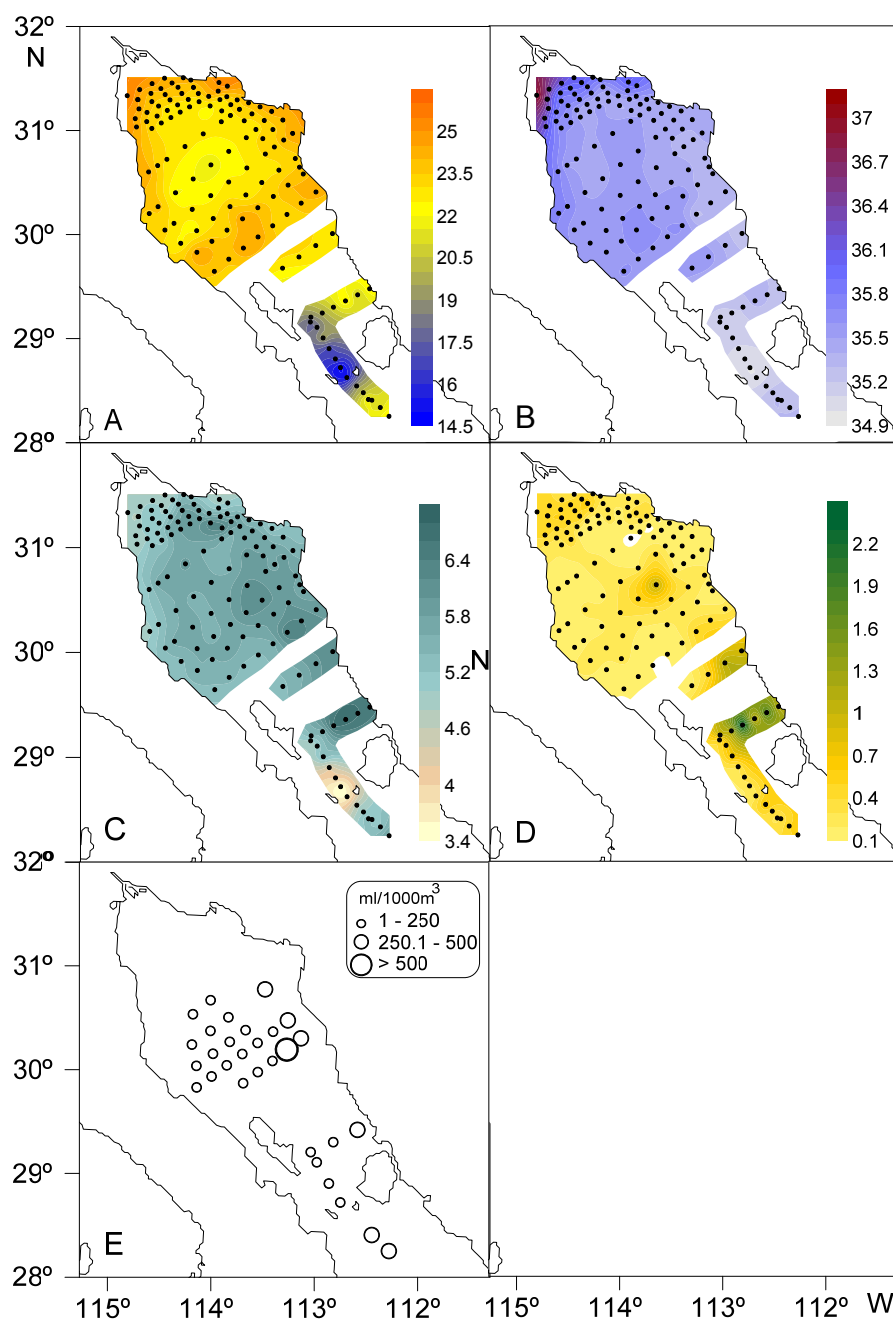


Figura 32. Distribución espacial de variables ambientales de la campaña oceanográfica de junio del 2008. A) temperatura, B) salinidad, C) oxígeno disuelto, D) fluorescencia y E) biomasa del zooplancton

De acuerdo con el AIE, los elementos indicadores de las regiones definidas fueron Ba ($IV > 90$) y Ca ($IV > 65$) para el caso de la zona del archipiélago central. Los

elementos de origen terrígeno Sb y Sc ($IV > 70$) fueron elementos indicadores significativos en la región del Norte del GC, pues fue donde tuvieron mayores niveles. En cuanto a las estaciones ubicadas en zonas neríticas, los elementos Cs y Zr fueron los indicadores significativos de la zona costera (Tabla 21).

8.4.1.4. Febrero del 2007

En febrero del 2007 el resultado de NMDS presentó como variables ambientales de mayor influencia en la distribución de los elementos en zooplancton a la fluorescencia en los ejes 1 ($r = 0.216$), fosfatos ($r = -0.192$) y nitratos ($r = -0.172$) en el primer eje. En el segundo eje la fluorescencia fue nuevamente la variable con mayor influencia ($r = -0.275$), seguida de la profundidad ($r = -0.249$) y del oxígeno disuelto ($r = 0.172$) con una varianza explicada acumulada en estos dos primeros ejes de 67% (Tabla 22). Para este crucero, al igual que en los anteriores casos, el análisis de MRPP no mostró diferencias significativas para ninguna de las variables categóricas probadas.

El AIE mostró que Hf y Sr ($IV > 50$) fueron elementos indicadores de la región sur del archipiélago central. Elementos como Eu y Co ($IV > 65$) fueron indicadores de estaciones que se muestrearon de día; mientras que Pb ($IV > 90$), Cd, Cu, Mn y Zn ($IV > 60$) fueron elementos que se obtuvieron principalmente a partir de muestreos realizados durante la noche, lo que se relaciona posiblemente con la migración vertical de cierto grupo de organismos del zooplancton hacia la superficie. Finalmente U ($IV > 65$) estuvo principalmente asociado a las estaciones oceánicas siendo el elemento indicador de éstas en la presente temporada (Tabla 23).

Tabla 19. Prueba de significancia de Monte Carlo del valor de indicador máximo observado (IV) para los elementos mayores y traza, de acuerdo a las variables categóricas definidas: Diferencia entre el día (D) y la noche (N); Regionalización del Golfo de California: Golfo Norte (GN), archipiélago central (Ar) y sur del archipiélago (SAr) y diferencias entre estaciones neríticas (N) y oceánicas (O), en junio del 2005.

Elemento	Dia/Noch	Valor de Montecarlo			Valor de Montecarlo			Valor de Montecarlo	
		IV	p	Región	IV	p	Nerítica/Oceánica	IV	p
As	N	38.6	0.78	GN	36.7	0.558	3	39.7	0.651
Ba	N	50.3	0.401	GN	39.5	0.268	3	49.8	0.528
Br	D	54.1	0.452	SAr	39.1	0.395	4	51.4	0.829
Ca	N	55.4	0.801	GN	46.7	0.487	3	56.6	0.649
Ce	N	73.9	0.112	GN	51.4	0.368	3	78.6	0.07
Co	N	57.6	0.775	GN	48.5	0.444	3	70.6	0.095
Cr	D	74.6	0.257	Ar	68.8	0.126	3	60.1	0.822
Cs	N	65.4	0.108	GN	42	0.65	3	61.1	0.217
Eu	N	69.3	0.172	GN	63.6	0.036	3	80.2	0.009
Fe	N	51.1	0.836	GN	60.6	0.018	3	65.7	0.228
Hf	N	77.5	0.013	GN	49.4	0.558	3	65.4	0.346
La	N	80.3	0.089	Ar	46.8	0.621	3	85.4	0.036
Lu	N	52	0.789	GN	36.6	0.828	4	52.3	0.776
Na	N	54.7	0.717	GN	45.8	0.449	3	52.7	0.863
Nd	N	61.4	0.367	GN	56.6	0.083	3	63.6	0.371
Ni	N	45	0.459	GN	37.9	0.412	3	45	0.526
Sb	N	58.7	0.829	GN	44.9	0.823	3	53.9	0.865
Sc	N	47.7	0.96	GN	66.1	0.006	3	77.9	0.053
Se	N	61.7	0.367	SAr	36	0.987	3	61.2	0.414
Sm	N	54.9	0.637	GN	55.1	0.064	3	55.8	0.629
Sr	D	63.7	0.556	GN	46.4	0.788	3	53.1	0.867
Tb	D	51.4	0.892	GN	42.8	0.429	4	56.9	0.509
Th	N	54.9	0.477	GN	41.4	0.493	3	61.4	0.247
U	N	63.5	0.653	GN	48.4	0.719	3	63.3	0.467
Yb	N	52.1	0.799	GN	38.2	0.716	4	50.8	0.916
Zn	D	56.7	0.315	SAr	39.9	0.54	4	52.3	0.713
Zr	D	55.4	0.162	GN	41.5	0.205	4	47.4	0.883

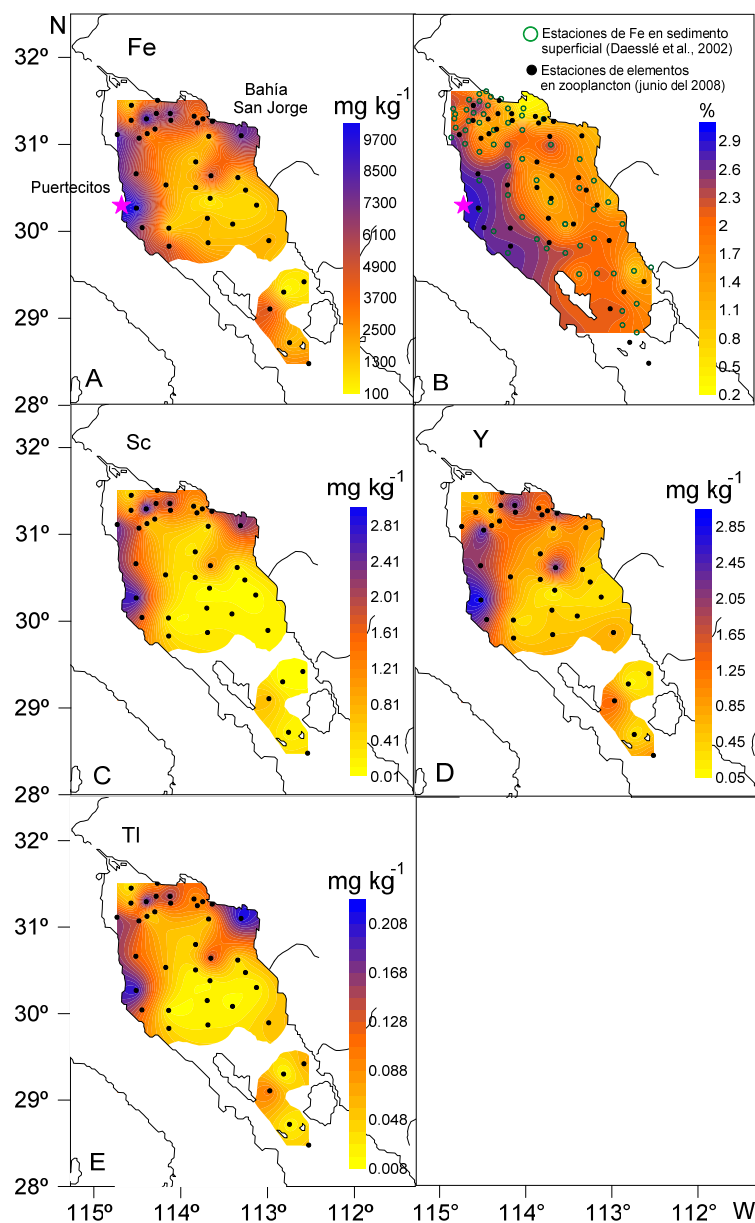


Figura 33. Distribución espacial de elementos de origen terrígeno (factor 1) contenidos en el zooplancton del GC durante junio del 2008 y de Fe en sedimentos superficiales del Norte del GC (Daesslé et al., 2002). A) fierro, B) fierro en sedimentos superficiales, C) escandio, D) itrio y E) talio

8.4.1.5. Julio del 2007

Durante la campaña de julio 2007 los resultados obtenidos mediante el NMDS mostraron que la temperatura ($r = 0.396$), el pigmento 19`hexanoylofucoxantina (19`HF, de cocolitofóridos) ($r = 0.346$) en el eje 1 y profundidad de la estación ($r = 0.379$, $r = 0.432$) en los ejes 1 y 2 respectivamente fueron las variables de mayor contribución en la distribución de elementos en zooplancton, con una varianza explicada de 49% (Tabla 24). El análisis de MRPP no mostró diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a las variables categóricas utilizadas.

En esta campaña el AIE señaló que los elementos de origen terrígeno Eu, Sc y Sr fueron los elementos indicadores ($IV > 60$) en la región del Golfo Norte. Para la variable categórica relacionada con los horarios de muestreo, se observó que Ce, Eu, La y Lu tuvieron altos valores ($IV > 80$) que los señalaron como elementos indicadores de muestreos de día, junto con Yb con un menor valor ($IV > 60$), mientras que Ca ($IV > 65$) fue un elemento indicador de los muestreos nocturnos. También fue observado que los elementos Hf, Sb y Th fueron elementos indicadores de estaciones oceánicas (Tabla 25).

8.4.1.6. Junio del 2008

Durante la campaña de junio 2008, el análisis NMDS mostró que en el eje 1, concentración de oxígeno disuelto y la fluorescencia ($r = -0.435$ y $r = -0.435$ respectivamente) fueron las variables con mayor influencia en la distribución de elementos en zooplancton, mientras la temperatura y la salinidad fueron las variables de mayor influencia en el eje 2 ($r = -0.619$ y $r = -0.590$), con una varianza explicada acumulada de 89% (Tabla 26). El análisis de MRPP no mostró diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las variables categóricas utilizadas.

El AIE señaló que en la región del Golfo Norte los elementos de origen terrígeno Be, Cs, Dy, Ga, K, Li, Mg, Nb, Sc, Sm, Tb, Th y V fueron los elementos indicadores ($IV > 55$). Los elementos Cd, Hg, Pb, Sb y Se mostraron altas

concentraciones y frecuencias principalmente en la región del archipiélago central ($IV \geq 60$). En el caso de la variable categórica relacionada con los horarios de muestreo (día o noche), se observó que los elementos Be, Co, Cr, Fe, Ge, K, Mn, Na, Ni, Sc, Te, V se ($IV > 60$) presentaron con mayor concentración y frecuencia en los muestreos obtenidos durante los horarios diurnos, mientras que en los nocturnos fueron As, Cd y Se ($IV > 55$). Este mismo índice señaló que elementos como Be, Cs, Dy, Er, Fe, Ga, Gd, Hf, Ho, Li, Nb, Nd, Pr, Sm, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, V e Yb presentaron una mayor frecuencia y concentración en la zona nerítica ($IV > 65$), mientras que Cd, Pb, Sb, Se y U presentaron sus mayores frecuencias y concentraciones en zonas oceánicas ($IV > 60$) (Tabla 27).

Tabla 20. Resultados del análisis multivariable de escalamiento multidimensional no métrico, que muestra la varianza explicada (r^2) y correlaciones de Pearson y Kendall (r) en los ejes de ordenación, para el contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton y variables ambientales del Golfo de California, durante enero del 2007.

Factores	$r^2 = 0.243$	$r^2 = 0.591$
	Eje 1	Eje 2
	r	r
Temperatura	0.362	0.257
Salinidad	0.354	0.256
Densidad	0.353	0.255
Oxígeno (nivel de 10m)	0.341	0.163
pH10 (nivel de 10m)	0.363	0.181
Clorofila máxima	0.002	-0.006
Profundidad de la capa de mezcla	0.358	-0.066
Clorofila <i>a</i>	0.229	0.227
Clorofila <i>b</i>	0.377	-0.133
Peridinina	0.247	-0.260
Fucoxantina	0.189	0.265
19'HF	0.388	-0.163
Violoxantina	0.400	-0.247
Diadinoxantina	0.154	0.152
Aloxantina	0.421	-0.163
Zeaxantina	0.220	-0.274
β -caroteno	0.267	0.106
Clorofila <i>c</i>	0.233	0.141
19'BF	0.395	-0.289
Profundidad de la estación	0.500	0.110

Tabla 21. Prueba de significancia de Monte Carlo del valor de indicador máximo observado (IV) para los elementos mayores y traza, de acuerdo a las variables categóricas definidas: Diferencia entre el día (D) y la noche (N); Regionalización del Golfo de California: Golfo Norte (GN), archipiélago central (Ar) y sur del archipiélago (SAr) y diferencias entre estaciones neríticas (N) y oceánicas (O), enero del 2007.

Elemento	Región	Valor de Montecarlo		Día/Noche	Valor de Montecarlo		Nerítico/Oceánico	Valor de Montecarlo	
		IV	P		IV	P		IV	P
As	Ar	50.4	0.22	N	66.1	0.1	N	48.2	0.852
Ba	Ar	90.6	0.006	N	72.5	0.647	N	72.1	0.592
Br	GN	42.9	0.422	D	51.7	0.867	O	51.1	0.899
Ca	Ar	68.4	0.024	N	55.6	0.734	N	74.8	0.237
Ce	GN	58.2	0.115	D	52.8	0.847	N	56	0.806
Co	Ar	77.8	0.153	N	71.2	0.786	N	66.4	0.689
Cr	SAr	55.9	0.579	D	75.2	0.241	N	61	0.635
Cs	GN	33.4	0.832	N	50.2	0.563	N	90.9	0.037
Eu	Ar	44	0.452	N	62.8	0.247	N	66.5	0.26
Fe	GN	42.1	0.84	D	60.9	0.441	O	56.1	0.819
Hf	Ar	78.1	0.108	N	57	0.85	N	69.5	0.483
La	GN	57.1	0.112	D	54.2	0.752	N	53.5	0.923
Lu	GN	37.5	0.718	N	59.2	0.123	N	54.7	0.546
Na	Ar	50	0.455	N	59.7	0.539	O	58.5	0.698
Nd	GN	58.8	0.118	D	52.3	0.828	N	55.7	0.852
Rb	Ar	42.3	0.505	N	44.5	0.665	N	71.4	0.169
Sb	GN	71.9	0.046	D	53.6	0.733	N	64.2	0.664
Sc	GN	72.8	0.03	D	53	0.869	N	76.5	0.263
Se	Ar	39.6	0.624	D	50.2	0.984	N	53.3	0.674
Sm	GN	57.2	0.173	D	52.3	0.858	N	52.9	0.961
Sr	SAr	51.7	0.64	D	70.9	0.405	O	84.7	0.166
Tb	GN	48.9	0.221	N	54.3	0.671	N	51.2	0.917
Th	GN	57.5	0.109	N	66.6	0.212	N	64.8	0.502

U	Ar	38.5	0.448	N	57.6	0.15	N	54.1	0.535
Yb	GN	39.2	0.516	N	59	0.145	N	53.4	0.725
Zn	SAr	44.8	0.875	D	70.7	0.305	N	67.8	0.51
Zr	GN	37.3	0.743	N	57.5	0.324	N	90.9	0.037

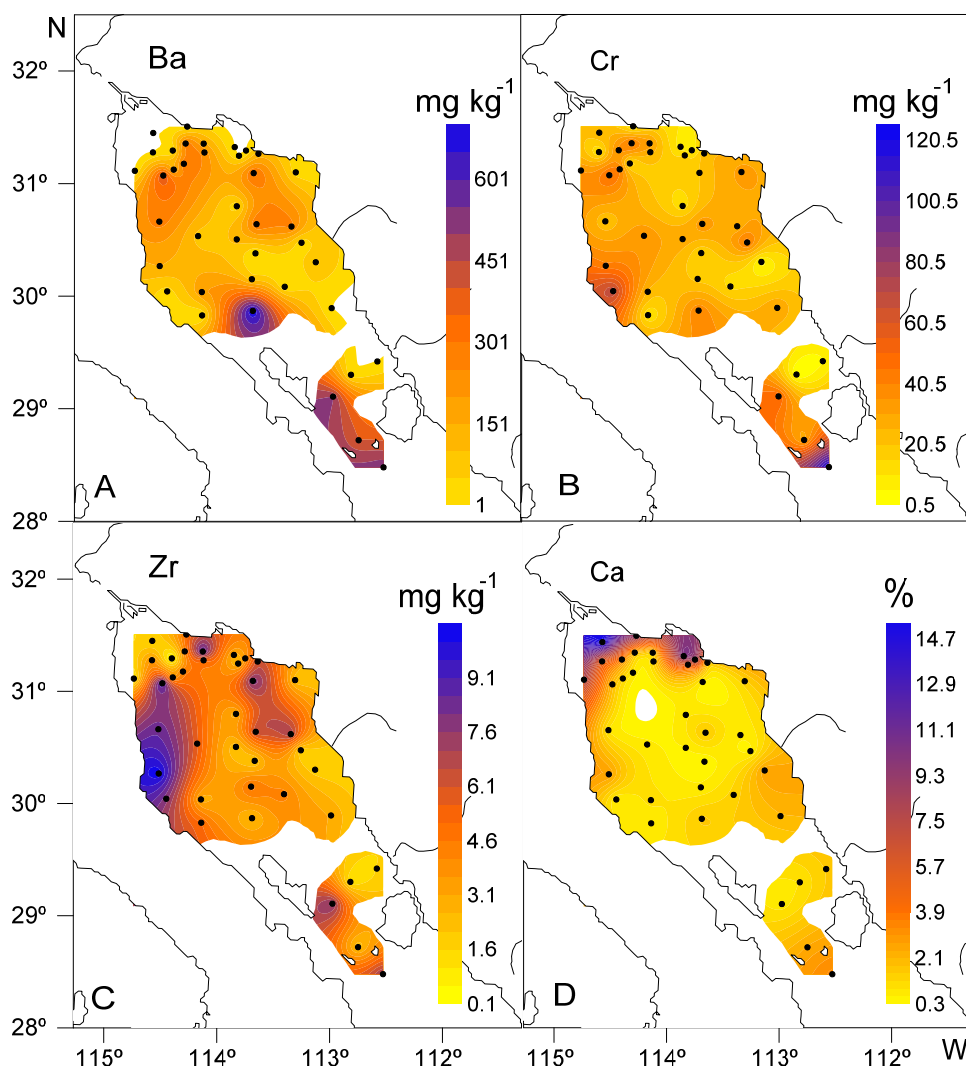


Figura 34. Distribución espacial de elementos biológicamente activos (factor 2) contenidos en el zooplancton del GC durante junio del 2008. A) bario, B) cromo, C) circonio y D) calcio

9. DISCUSIÓN

9.1. Variación estacional de la distribución y concentración de elementos mayores y traza y su relación con las variables ambientales

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el análisis NMDS para los datos de las concentraciones de elementos en el zooplancton, en función de las

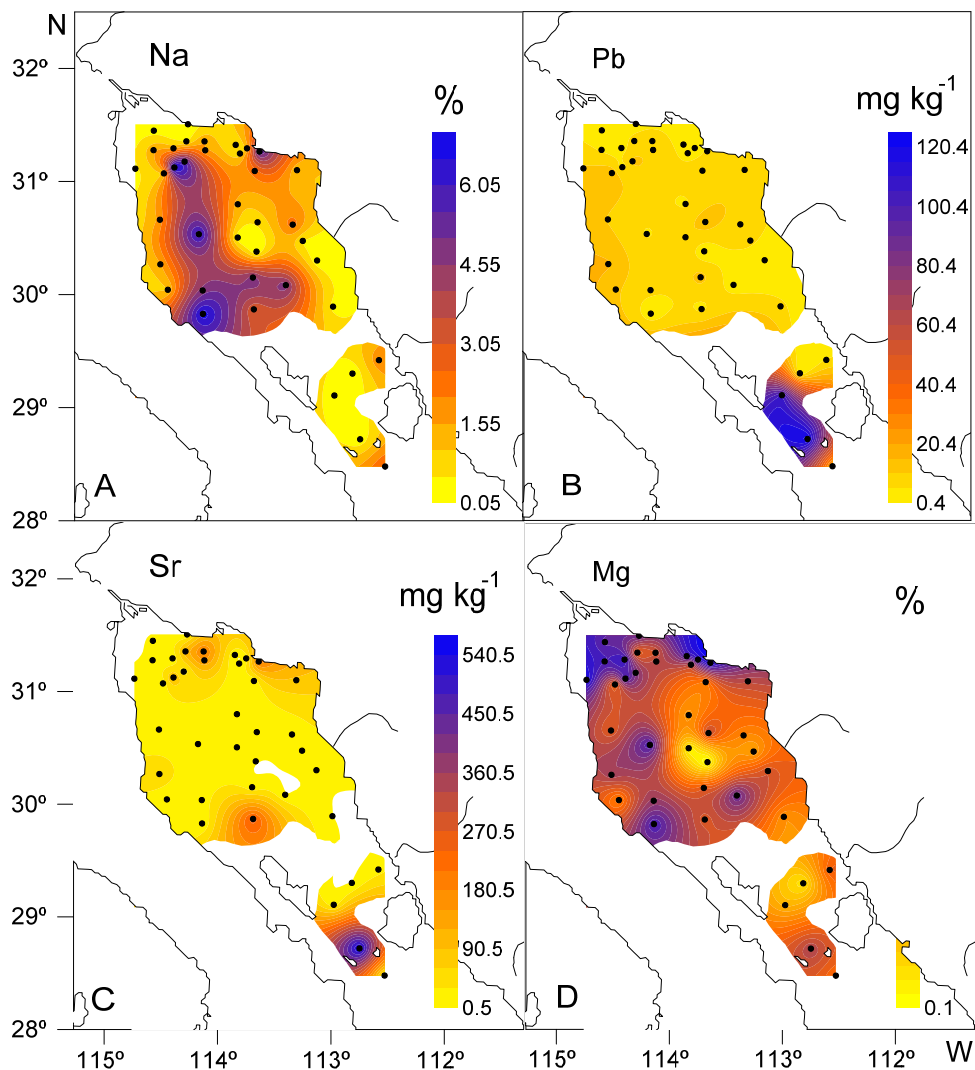


Figura 35. Distribución de elementos biológicamente activos (factores 3 y 4) contenidos en el zooplancton del GC, durante junio del 2008. A) sodio, B) plomo, C) estroncio y D) magnesio

variables ambientales medidas en las temporadas analizadas, fue posible observar una diferencia estacional en la distribución de los elementos mayores y traza contenidos en el zooplancton (Tablas 13 y 14). La temperatura y la salinidad fueron las variables con mayor influencia en la distribución de los elementos (reflejando parcialmente el efecto de la radiación solar y la circulación), continuando con la clorofila *a* como un indicador de alimento del zooplancton herbívoro y omnívoro.

Agosto del 2003 (verano avanzado), fue la temporada que marcó principalmente las diferencias estacionales de la época cálida, con altas temperaturas ($>31^{\circ}\text{C}$) y salinidades (36.7) en el Alto Golfo y Norte del GC, así como clorofila *a* ($>10\text{ mg m}^{-3}$) en la zona sur del archipiélago central (Figura 37). Cabe resaltar, que a pesar de que en julio del 2007 las variables ambientales presentaron una distribución similar a las de agosto de 2003, los valores de estas variables ambientales en julio del 2007 fueron de menor magnitud a los detectados en agosto del 2003 (temperatura $24\text{-}30^{\circ}\text{C}$) y salinidad (31-36) en el Alto y Golfo Norte de California, así como clorofila *a* ($0.07 - 2.3\text{ mg m}^{-3}$).

De acuerdo con varios autores las temperaturas y salinidades más elevadas en el GC se presentan típicamente durante el verano, particularmente en la zona norteña debido a lo somero de la zona y a las altas tasas de evaporación (Paden *et al.*, 1991; Lavín *et al.*, 1997). Un rasgo hidrológico importante adicional en el NG durante el verano es un giro ciclónico y una corriente costera hacia el NW del lado continental, sobre la plataforma continental (Lavín *et al.*, 1997; Sánchez-Velasco *et al.*, 2009). Con respecto a esto, Carrillo *et al.* (2002) menciona que los promedios de velocidad geostrófica son mayores durante esta época del año (en esta fase ciclónica), por lo que se esperaría una influencia de enriquecimiento de ET, desde el fondo hacia la columna. Al sur del archipiélago central de igual modo se presenta una circulación ciclónica, con entrada de agua hacia la región norte a través de los canales entre las islas del archipiélago, que posiblemente puede funcionar como mecanismo de transporte de elementos, provenientes de la cuenca Guaymas, a regiones más norteñas.

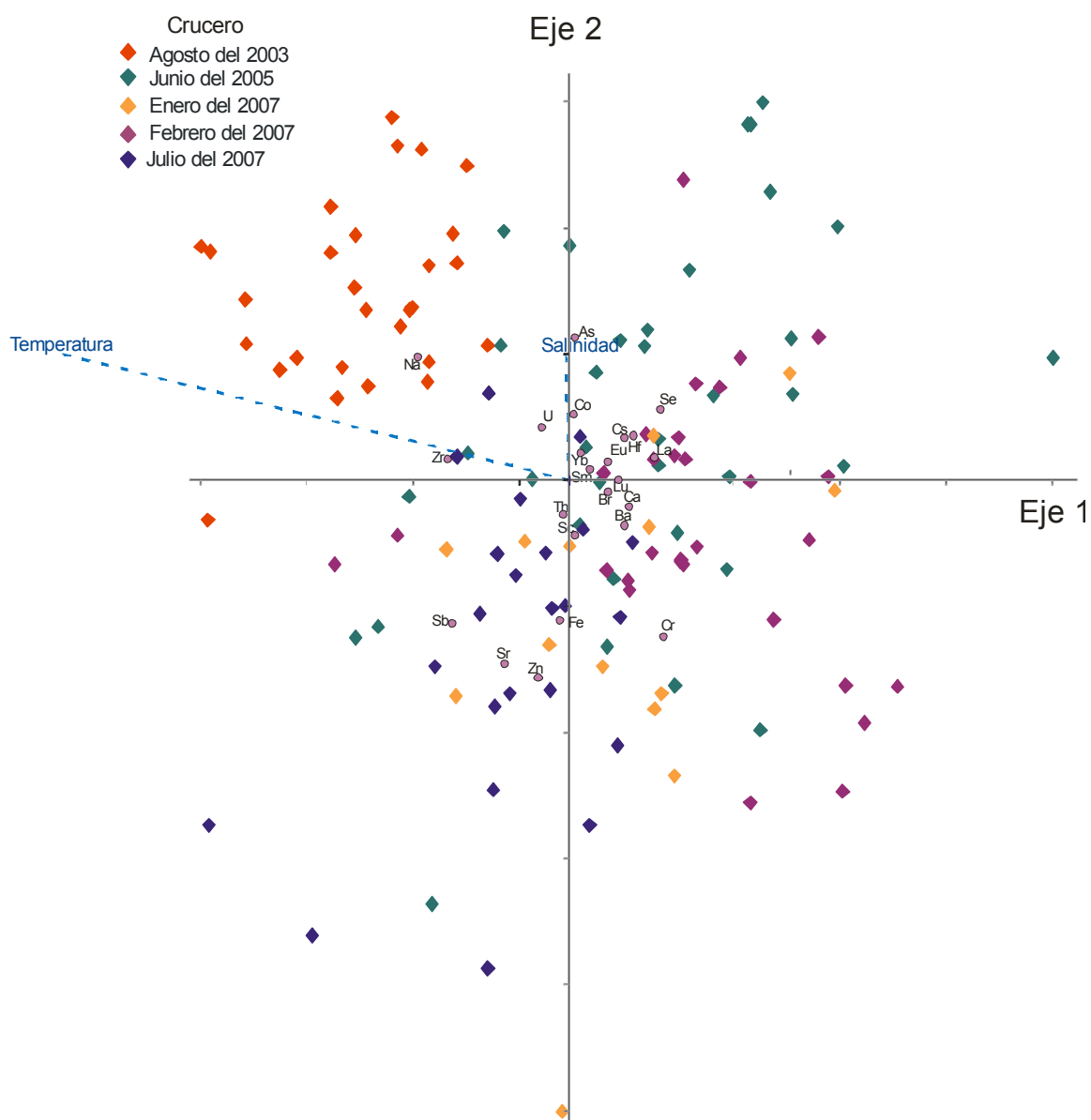


Figura 36. Diagrama del análisis NMDS aplicado a las matrices de contenido de elementos contra variables ambientales. Temporadas de agosto del 2003, junio del 2005, enero, febrero y julio del 2007

La temporada de invierno, estuvo representada por los muestreos de enero y febrero del 2007, cuando se registraron las menores temperaturas (14.5°C) y también las salinidades más bajas del área de estudio (35), las cuales fueron localizadas al sur del archipiélago central frente a la costa peninsular. Los valores de clorofila a fueron

menores en enero del 2007 (0.02-1.3 mg m⁻³) y para febrero del 2007 se incrementaron (0.5 - 5.45 mg m⁻³).

Tabla 22. Resultados del análisis multivariable de escalamiento multidimensional no métrico, que muestra la varianza explicada (r^2) y correlaciones de Pearson y Kendall (r) en los ejes de ordenación, para el contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton y variables ambientales del Golfo de California, durante febrero del 2007.

	$r^2 = 0.430$	$r^2 = 0.244$	$r^2 = 0.205$
	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Factores	r	r	r
Temperatura	0.049	-0.051	0.109
Salinidad	-0.057	0.113	0.284
Oxígeno	-0.112	0.172	0.348
Fluorescencia	0.216	-0.275	-0.439
NO ₂	-0.025	0.047	-0.059
NO ₃	-0.172	-0.138	0
PO ₄	-0.192	-0.02	0.005
Clorofila a	-0.006	-0.123	0.327
Profundidad de la estación	0.106	-0.249	-0.058

De acuerdo con Paden *et al.* (1991) invierno es la temporada del año en que se registran las menores temperaturas en el Golfo Norte y central, observándose aguas de temperaturas bajas cerca de la punta sur de Isla Tiburón, siendo advectadas hacia la costa peninsular y hacia el límite norte de la Cuenca Guaymas, lo que pudo haber sido el efecto de lo observado en el presente trabajo, en enero del 2007. Lavín *et al.* (1997) mencionaron que durante esta época la circulación se encuentra en su fase anticiclónica en todo el Golfo, y que en el Golfo Norte se puede llegar a presentar un giro en esta misma dirección. Sin embargo la presencia de esta estructura no fue confirmada en estos muestreos del 2007. Cabe resaltar que los vientos en el invierno son los más intensos del año (Bordoni *et al.*, 2004), lo que es favorable para surgencias en el lado este del Golfo, provocando el enriquecimiento de nutrientes hacia la superficie (Badán-Dangón *et al.*, 1985).

Tabla 23. Prueba de significancia de Monte Carlo del valor de indicador máximo observado (IV) para los elementos mayores y traza, de acuerdo a las variables categóricas definidas: Diferencia entre el día (D) y la noche (N); Regionalización del Golfo de California: Golfo Norte (GN), archipiélago central (Ar) y sur del archipiélago (SAr) y diferencias entre estaciones neríticas (N) y oceánicas (O), en febrero del 2007.

Elemento	Región	Valor de Monte Carlo		Día/Noche	Valor de Monte Carlo		Nerítico/ Oceánico	Valor de Monte Carlo	
		IV	p		IV	p		IV	p
La	SAr	41.2	0.556	D	62.8	0.139	N	63.6	0.141
Ce	GN	42.5	0.351	D	61.6	0.129	N	63.6	0.099
Nd	GN	46.3	0.215	D	60.6	0.238	N	65.5	0.083
Sm	GN	47.2	0.267	D	60.3	0.331	N	66.4	0.116
Eu	GN	50.6	0.209	D	69.7	0.041	N	59	0.491
Yb	Ar	37.5	0.327	N	53.3	0.36	N	53.7	0.322
Lu	Ar	41.3	0.059	N	55.3	0.194	N	52.8	0.516
Na	Ar	45.3	0.38	N	53.3	0.776	O	56.8	0.54
K	GN	36.6	0.262	N	36.8	0.508	N	41.4	0.32
Rb	GN	33.9	0.311	N	31.7	0.706	O	40.3	0.307
Cs	SAr	29.9	0.952	N	56.4	0.147	N	50.5	0.386
Ca	Ar	41.3	0.197	D	50.2	0.971	O	52.6	0.673
Sr	SAr	69.9	0.006	D	68.2	0.293	N	59.7	0.731
Ba	SAr	51.6	0.141	D	65.2	0.132	O	52	0.755
Sc	SAr	55.4	0.112	D	64.2	0.273	N	66.1	0.22
Cr	Ar	41	0.767	D	71.4	0.108	O	68.5	0.215
Fe	SAr	39.2	0.695	D	62.9	0.157	N	48.2	0.975
Co	SAr	43.2	0.511	D	70.4	0.034	O	55.6	0.576
Se	Ar	34.9	0.928	N	54.9	0.373	O	55.2	0.38
As	GN	33.7	0.577	D	45.5	0.395	O	35.7	0.986
Sb	SAr	44.5	0.447	D	52.3	0.613	O	56.3	0.513
Th	GN	36.2	0.792	D	48.9	0.802	N	56.9	0.269
U	Ar	43.6	0.351	N	57.9	0.346	O	69.8	0.018
Br	Ar	38.5	0.439	N	52.5	0.611	N	53	0.567
Hf	SAr	54.5	0.02	D	61.5	0.228	N	53.2	0.781
Zr	SAr	39.4	0.438	D	45.4	0.717	N	54.2	0.309
Cu	Ar	34.1	0.535	N	60.5	0.031	N	42.2	0.674
Zn	Ar	39.1	0.316	N	67.7	0.006	O	39.7	0.863
Mn	Ar	31	0.737	N	66	0.004	N	48.4	0.324
Ni	Ar	51.6	0.307	N	60	0.263	O	40.1	0.95
Pb	GN	50.2	0.838	N	92.2	0.002	N	70	0.326
Cd	Ar	33.2	0.562	N	67.7	0.002	N	41.9	0.677
P	Ar	35.2	0.35	N	53.8	0.079	N	40.6	0.57

Aunque en el presente trabajo se consideró a junio como un mes transicional de primavera a verano para definir la temporalidad como variable categórica en los

análisis multivariados, en otros trabajos (Lavín *et al.*, 1997) se menciona que es cuando se empieza a revertir la circulación de invierno a la circulación típica de verano (ciclónica). En junio del 2005 los valores de temperaturas mostraron un amplio rango (17 - 26°C) aunque ya con una distribución algo homogénea como es característico del verano, mientras que salinidad tuvo un intervalo estrecho, como es observado en el verano avanzado (35-36).

En conjunto, las características hidrográficas tan marcadas que se presentan en las épocas extremas de verano e invierno influyen como mecanismo de concentración y dispersión elementos mayores y traza en el GC. No obstante, resalta el hecho de que a pesar de las diferencias encontradas en las concentraciones de elementos entre las diferentes temporadas, el análisis multivariado indicó que no existen diferencias significativas entre las regiones definidas (Golfo Norte, archipiélago central y sur del archipiélago). Esto puede deberse a la dinámica hidrológica tan activa que se presenta en toda el área de estudio, llevando consigo un intercambio entre las diferentes regiones, permitiendo una dispersión de material tanto particulado como disuelto, posiblemente en sentido de la circulación general del Golfo, como se ha mencionado para nutrientes por autores como Gaxiola-Castro *et al.* (1999) y Sánchez-Velasco *et al.* (2009).

9.2.1. Norte Golfo de California

En el Norte del GC los, elementos mayores y biológicamente activos Br, Na, Sr, Ba, Fe y Zn desplegaron altas concentraciones, especialmente durante los muestreos del inicio de verano (junio del 2005 y 2008) y verano avanzado (agosto del 2003 y julio del 2007). Destacan los niveles elevados de Ca (27%) con respecto a agosto del 2003 y julio del 2007 (2%), así como la distribución similar que este presentó en los dos muestreos de junio (2005 y 2008) en la parte central del GN. Los elementos de origen terrígeno, como Sc, Zr y lantánidos (Cs, Nd, Eu) presentaron una amplia distribución en la zona, sin embargo como es normal para estos elementos, sus órdenes de magnitud en sus concentraciones fueron varias veces

menores que las de los elementos mayores y biológicamente activos. A parte del Na y Sr en junio del 2008 también se distribuyeron en esta zona K y Mg. Estos cuatro elementos mayores se encuentran en el agua de mar en forma de cationes. Es posible esperar que penetren al interior de los organismos zooplanctónicos a través de los canales iónicos de las membranas celulares mediante la bomba de sodio y potasio.

Tabla 24. Resultados del análisis multivariable de escalamiento multidimensional no métrico, que muestra la varianza explicada (r^2) y correlaciones de Pearson y Kendall (r) en los ejes de ordenación, para el contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton y variables ambientales del Golfo de California, durante julio del 2007.

	$r^2 = 0.196$	$r^2 = 0.298$	$r^2 = 0.471$
	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Factores	r	r	r
Salinidad	0.046	0.061	-0.504
Temperatura	0.396	-0.187	-0.023
Fluorescencia	-0.206	0.191	-0.063
Oxígeno	0.172	-0.226	-0.51
Densidad	-0.116	0.132	-0.448
Profundidad de Cl a máxima	-0.058	-0.077	0.027
Profundidad de la capa de mezcla	0.255	-0.277	-0.298
pH (nivel de 10m)	0.294	-0.004	-0.167
Clorofila a	-0.175	0.199	0.115
Clorofila b	-0.296	0.117	0.306
Fucoxantina	-0.203	0.28	0.085
19°HF	0.346	-0.041	-0.141
Diadinoxantina	0.069	0.292	-0.136
Alloxantina	-0.175	-0.047	0.482
Zeaxantina	0.245	0.049	0.255
Bcaroteno	-0.071	0.217	0.25
Clorofila c	-0.296	0.117	0.306
Profundidad de la estación	0.379	0.432	-0.28

Tabla 25. Prueba de significancia de Monte Carlo del valor de indicador máximo observado (IV) para los elementos mayores y traza, de acuerdo a las variables categóricas definidas: Diferencia entre el día (D) y la noche (N); Regionalización del Golfo de California: Golfo Norte (GN), archipiélago central (Ar) y sur del archipiélago (SAr) y diferencias entre estaciones neríticas (N) y oceánicas (O), en julio del 2007.

Elemento	Región	Valor de Monte Carlo		Día/Noche	Valor de Monte Carlo		Nerítico/Oceánico	Valor de Monte Carlo	
		IV	p		IV	p		IV	p
As	SAr	41.2	0.279	N	43.1	0.49	O	31.6	0.938
Ba	GN	76.9	0.264	D	80.3	0.621	O	80.5	0.616
Br	Ar	39.1	0.496	D	55.5	0.454	N	50.9	0.92
Ca	SAr	36.2	0.899	N	66.6	0.045	N	57.5	0.4
Ce	GN	63.1	0.168	D	80	0.03	O	70.7	0.405
Co	GN	49.3	0.415	D	61.7	0.504	O	71.6	0.159
Cr	SAr	50.8	0.712	N	61.8	0.717	O	70.3	0.355
Cs	GN	45.3	0.354	D	55	0.435	O	50.3	0.682
Eu	GN	74.2	0.044	D	83.7	0.041	O	65.5	0.817
Fe	GN	56.1	0.185	D	66.9	0.292	O	72.9	0.149
Hf	GN	55.2	0.284	D	72	0.14	O	80.8	0.041
La	GN	64.7	0.157	D	81.4	0.016	O	71.8	0.407
Lu	Ar	42.9	0.295	D	67.3	0.007	O	54.1	0.659
Na	Ar	48.3	0.476	N	69.3	0.247	N	75.2	0.106
Nd	GN	57.6	0.213	D	76.1	0.097	O	68.3	0.35
Ni	SAr	26.7	0.823	N	51.8	0.272	N	30.5	0.978
Rb	GN	36.8	0.626	D	59.9	0.151	N	37.2	0.855
Sb	Ar	64.5	0.5	N	55.6	0.917	O	90.1	0.014
Sc	GN	63.2	0.025	D	61.3	0.573	O	58.6	0.648
Se	GN	44.5	0.256	N	62.6	0.147	N	59.8	0.287
Sm	GN	55.3	0.237	D	74.6	0.122	O	67.6	0.329
Sr	GN	72.5	0.014	N	52.8	0.924	N	66.6	0.495
Ta	GN	21.3	0.823	N	29.2	0.585	O	32.9	0.586
Tb	GN	47.9	0.306	D	71.5	0.051	O	62	0.428
Th	Ar	41.9	0.926	D	79.7	0.065	O	82.6	0.045
U	Ar	43.1	0.331	N	53.8	0.67	O	51.4	0.9
Yb	Ar	41	0.496	D	68.1	0.005	O	55	0.616

Zn	GN	51.1	0.292	D	66.1	0.308	O	68.9	0.229
Zr	Ar	45.2	0.567	N	57.8	0.502	O	52.4	0.68

9.2. Comparación de patrones de distribución espacial de las concentraciones de los elementos en diferentes partes del Golfo de California

Durante las campañas de invierno (enero y febrero del 2007) el elemento mayor Ca mostró un rango amplio en sus niveles, sin embargo sus concentraciones en esta zona fueron similares a las del julio del 2007 y agosto del 2003. En esta temporada las concentraciones de Na fueron menores a las registradas para el verano. Ambos elementos mayores tuvieron una distribución homogénea en comparación a lo observado durante el verano. Los elementos biológicamente activos (Ba, Fe) y de origen terrígeno como Sc, U y algunos lantánidos (Ce, Cs, Eu, Nd, Sb) presentaron altas concentraciones, sin embargo Fe y Sc mostraron niveles más elevados con respecto al verano.

Ha sido reconocido que la temporada de verano es cuando se presentan las más altas salinidades en el NGC. Este efecto está relacionado con las condiciones de estuario inverso (Argote *et al.*, 1995; Lavín *et al.*, 1998) que caracterizan a esta zona, incrementando consecuentemente las concentraciones de Na, lo que es causado por una alta tasa de evaporación y el casi nulo aporte pluvial y fluvial, en particular del Río Colorado después de la construcción de presas en Estados Unidos en los años 1930's-1950's (Lavín & Sánchez, 1998; Lavín *et al.*, 1999; Hernández-Ayón *et al.* 1993; Carriquiry *et al.*, 2001).

Tabla 26. Resultados del análisis multivariable de escalamiento multidimensional no métrico, que muestra la varianza explicada (r^2) y correlaciones de Pearson y Kendall (r) en los ejes de ordenación, para el contenido de elementos mayores y traza en el zooplancton y variables ambientales del Golfo de California, de junio del 2008.

	$r^2 = 0.685$	$r^2 = 0.204$
	Eje 1	Eje 2
Factores	r	r
Temperatura	0.145	-0.619
Salinidad	0.299	-0.59
Oxígeno	-0.435	-0.236
Fluorescencia	-0.475	-0.096

Las altas concentraciones de Ca pueden ser resultado de la baja solubilidad de los carbonatos de calcio en agua y a que es un componente estructural importante de varios organismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos (ej. pterópodos y foraminíferos) (Martin & Knauer, 1973; Wollast, 1981). También sobresalen altos contenidos de Sr en algunos sitios del Norte del GC. Esto puede ser relacionado a la existencia de organismos específicos (Acantharia y radiolarios), los cuales construyen sus esqueletos inorgánicos de sulfato de estroncio (mineral celestita) (Brass, 1980; Deckker, 2004). Estos organismos acumulan en su citoplasma los iones Sr^{2+} y SO_4^{2-} hasta que el producto de las concentraciones en ellos sobrepasa el producto de la solubilidad de SrSO_4 , lo que no se observa en el agua del mar a causa de las bajas concentraciones de estroncio (Millero, 1996).

El Fe, Sb y U son elementos que históricamente han sido depositados al fondo del Alto y Norte GC con el aporte de sedimentos, principalmente por el Río Colorado antes de la construcción de las presas (Daesslé *et al.*, 2002; 2004; Shumilin *et al.*, 2002), los que pueden ser introducidos a la columna de agua a causa de resuspensión por las corrientes de marea (Carriquiry *et al.*, 2001). A diferencia de éstos, el Zr posiblemente proviene de la erosión de rocas volcánicas en las cuencas de drenaje que suministran sedimentos al Alto GC, además de la entrada de las arenas de los depósitos costeros de la Mesa de Sonora y el aporte eólico del desierto. En el presente trabajo esto es observado para toda la costa continental del área de estudio, coincidiendo con la distribución señalada por Shumilin *et al.* (2002) para sedimentos del Alto Golfo.

Un rasgo específico de los elementos terrígenos es que varios de ellos, desplegaron altas concentraciones en la parte central del Norte del GC durante la temporada de verano, coincidiendo en general con la posición del giro ciclónico observado mediante datos de satélite en el periodo de la campaña de agosto del 2003 (Sánchez-Velasco *et al.*, 2009).

La temperatura superficial del mar y las concentraciones de clorofila a superficial fueron menores que las áreas de alrededor, quizás debido a que el giro

Tabla 27. Prueba de significancia de Monte Carlo del valor de indicador máximo observado (IV) para los elementos mayores y traza, de acuerdo a las variables categóricas definidas: Diferencia entre el día (D) y la noche (N); Regionalización del Golfo de California: Golfo Norte (GN), archipiélago central (Ar) y sur del archipiélago (SAr) y diferencias entre estaciones neríticas (N) y oceánicas (O), en junio del 2008.

Elemento	Región	Valor de Monte Carlo		Día/Noche	Valor de Monte Carlo		Nerítico/Oceánico	Valor de Monte Carlo	
		IV	p		IV	p		IV	p
Ag	2	52.7	0.7	1	57.9	0.108	1	58.2	0.27
As	2	51.8	0.707	2	58.8	0.01	1	51.2	0.8
Au	1	52.5	0.825	2	50.1	0.987	1	52.3	0.83
B	1	55.5	0.424	1	58.4	0.06	1	55.2	0.44
Ba	2	69.7	0.186	1	51.1	0.92	2	75.9	0.09
Be	1	75.4	0.024	1	66.4	0.041	1	77.5	0.01
Ca	1	61.5	0.527	2	55.9	0.593	1	68.9	0.21
Bi	1	55.1	0.693	1	58.8	0.307	1	54.1	0.75
Cd	2	66.1	0.014	2	63.1	0.005	2	63.6	0.04
Ce	1	63.2	0.414	1	69.6	0.053	1	67.2	0.29
Co	1	53.3	0.657	1	61.7	0.025	1	63.8	0.05
Cr	2	60.9	0.235	1	63.8	0.017	2	50.8	0.9
Cs	1	77.6	0.034	1	52.5	0.744	1	78.2	0.03
Cu	2	63.4	0.136	1	54.4	0.566	1	51.7	0.87
Dy	1	74.2	0.046	1	64	0.087	1	77.1	0.02
Er	1	72.6	0.052	1	62.5	0.104	1	75.1	0.03
Eu	1	60.5	0.227	1	58.6	0.16	1	55.4	0.56
Fe	1	66.2	0.088	1	63.6	0.033	1	68.6	0.04
Ga	1	78.3	0.031	1	66.1	0.055	1	80.8	0.02
Gd	1	72.9	0.067	1	65.2	0.069	1	76.6	0.03
Ge	1	58.7	0.194	1	62.4	0.008	1	62.8	0.06
Hf	1	61.4	0.131	1	60.3	0.057	1	67	0.02
Hg	2	59.9	0.013	1	50.4	0.923	2	54.9	0.23
Ho	1	73	0.054	1	63	0.095	1	75.8	0.03
In	1	56.9	0.583	1	58.1	0.398	1	63.4	0.27
K	1	71.1	0.016	1	62.4	0.015	1	62.8	0.09
La	1	65.7	0.231	1	64	0.103	1	68.8	0.15

Li	1	82.3	0.012	1	61.7	0.147	1	78.9	0.02
Lu	1	60	0.265	1	60.8	0.072	1	64.1	0.12
Mg	1	60.5	0.043	1	55.8	0.098	1	57	0.16
Mn	2	50.4	0.957	1	67.8	0.001	1	57.8	0.34
Mo	1	54.3	0.734	1	55.2	0.514	2	65.1	0.21
Na	1	67.6	0.218	1	68.1	0.037	1	55.7	0.61
Nb	1	75.5	0.029	1	58.9	0.221	1	76.2	0.02
Nd	1	78.3	0.036	1	65.4	0.073	1	80.9	0.02
Ni	2	61.5	0.217	1	63.9	0.031	2	55.1	0.6
Pb	2	87.8	0.006	2	54.1	0.776	2	86.7	0
Pr	1	77.6	0.034	1	63.8	0.095	1	80.3	0.02
Rb	1	62.8	0.396	1	66.1	0.094	1	62	0.45
Re	2	84.6	0.872	2	57.8	0.999	2	84.5	0.93
Sb	2	88	0.004	2	56.3	0.684	2	87.1	0
Sc	1	78.6	0.029	1	66.9	0.042	1	80	0.02
Se	2	73.8	0.007	2	66.7	0.012	2	75.9	0
Sm	1	78.1	0.034	1	65.5	0.067	1	80.3	0.02
Sn	1	51.7	0.933	1	54.3	0.796	1	58.7	0.73
Sr	2	77.3	0.404	2	69.3	0.359	2	86	0.17
Ta	1	69.5	0.2	2	62.5	0.229	1	68.7	0.22
Tb	1	76.2	0.034	1	64.3	0.086	1	77.9	0.02
Te	2	52.8	0.762	1	66.3	0.008	1	57.9	0.38
Th	1	77.9	0.027	1	59.8	0.202	1	79.5	0.01
Ti	1	72.6	0.053	1	58.4	0.26	1	75.3	0.03
Tl	1	62	0.199	1	59.3	0.152	1	71	0.03
Tm	1	69.7	0.076	1	61.9	0.107	1	72.9	0.03
U	2	62.1	0.09	2	56.6	0.199	2	63.4	0.04
V	1	75.8	0.013	1	64.5	0.049	1	75.9	0.01
W	1	56.2	0.336	1	56.6	0.17	1	60	0.15
Y	1	64.3	0.117	1	56	0.323	1	67.8	0.05
Yb	1	66.4	0.105	1	61	0.107	1	69.7	0.05
Zn	2	59.3	0.116	2	54.8	0.244	2	57.3	0.24
Zr	1	51.8	0.826	1	57.4	0.141	1	57.4	0.33

está formado por una circulación completa del Golfo en vez de bombeo de Ekman (Beier y Ripa, 1999; Sánchez-Velasco *et al.*, 2009), pudiendo influenciar un transporte de material en su fases disueltas y particuladas desde el Alto Golfo y la plataforma del continente. Aparte de la transferencia horizontal de las partículas sedimentarias hacia la capa superficial en el centro de giro, es posible que la acumulación de ET en el zooplancton de esta área pueda ser influenciada por la migración vertical diurna de los organismos planctónicos. Muhling *et al.* (2007) reportaron para giros ciclónicos en aguas costeras australianas, que los efectos de giro no son limitados a un esquema de surgencia, pudiendo ser influenciados por la estructura física del giro y por procesos de abordamiento de masas de agua en la etapa de formación del giro.

Los procesos litodinámicos activos antes mencionados, así como la exportación de sedimentos por corrientes de gravedad profundas (Álvarez y Jones, 2002) pueden ser el principal mecanismo que incremente la disponibilidad de ET en la columna de agua, y a consecuencia de esto en el fitoplancton y zooplancton a través de la trama trófica. También por la cercanía de las costas desérticas de Sonora y Baja California, en esta zona es importante la entrada de partículas atmosféricas transportadas por mecanismos eólicos (Segovia-Zavala *et al.*, 2009).

La influencia episódica de aporte fluvial del Río Colorado en el Alto Golfo puede también ser considerada sólo para los períodos de fuertes lluvias (Lavín *et al.*, 1998; Carriquiry *et al.*, 2001) y no debe ser de gran importancia.

9.2.2. Archipiélago central (Grandes Islas)

En esta zona de alta productividad, elementos mayores (Ca, Sr), biológicamente activos (Ba, Cd, Fe, Zn) y de origen terrígeno (As, Cu, Sc, Zr y algunos lantánidos) presentaron en su mayoría altas concentraciones, tanto para la época de verano como para la de invierno. Sin embargo en casos como los micronutrientes Ba, Fe y Zn se observaron diferencias importantes, registrándose niveles más elevados durante invierno (enero y febrero del 2007). Estos elementos y

As mostraron coincidencias en algunos muestreos con la distribución de la clorofila *a* (agosto del 2003, enero y julio del 2007).

De acuerdo con Álvarez-Borrego (2008) una de las características hidrográficas más notables del Canal de Ballenas son sus altas concentraciones de oxígeno disuelto y altas salinidades a grandes profundidades. Debido al patrón de circulación que prevalece en dicho canal, se provoca un efecto permanente de tipo surgencia, siendo transportada a la superficie agua con alta salinidad (López *et al.*, 2006). Álvarez-Borrego (2008) mencionó que las condiciones hidrográficas de la Cuenca Tiburón, zona cercana a las estaciones, donde se registraron altas concentraciones de Na, son muy similares a las del Canal de Ballenas con valores de salinidad y temperatura similares a las mismas profundidades, por lo que se puede explicar también altos niveles del Ca (otro elemento mayor), registrados durante nuestras observaciones en estas regiones.

Las altas concentraciones de Ca registradas en el Canal de Ballenas durante las campañas de agosto del 2003 y julio del 2007, donde fueron observados los menores valores de temperatura y salinidad con respecto a otras zonas, pueden ser explicadas por la sobresaturación de los minerales calcita y aragonita (CaCO_3), favorecidos por los altos valores de pH, que ahí se encuentran (Álvarez-Borrego, 2008). Dichos minerales son el principal compuesto de diferentes organismos planctónicos (cocolitofóridos, foraminíferos y pterópodos), los cuales toman nutrientes disponibles en esta zona y altas concentraciones de calcio disuelto de la columna para la construcción de sus exoesqueletos (Martin & Knauer, 1973). Así las altas proporciones de tales grupos pueden incrementar las concentraciones de Ca en la biomasa del zooplancton. Aunado a esto, es posible que corrientes de gravedad enriquezcan esta zona con el transporte de partículas desde la región Norte del GC (Daesslé *et al.*, 2002). Este rasgo fue observado en febrero del 2007, ya que la salinidad mostró un filamento de mayor concentración proveniente del GN a una profundidad de 80m, registrado al noroeste de Isla Tiburón. En este caso se sugiere por tanto, la ocurrencia del transporte de material disuelto y particulado a la zona del archipiélago desde el GN.

Es conocido que el Ba se encuentra empobrecido en aguas del mar con alta productividad, debido a que es usado como nutriente esencial (Anónimo, 2006; Chester, 2003). En el caso, de algunos productores primarios, se ha visto que son capaces de acumular dentro de sus células iones de Ba^{2+} y SO_4^{2-} hasta concentraciones mayores del producto de solubilidad de $BaSO_4$ y precipitar este compuesto dentro de ellos. Es por esto que se propuso usar bio-bario del material particulado en hundimiento, capturado por las trampas sedimentarias, para reconstruir la variabilidad de la productividad primaria en varias regiones del océano mundial.

El comportamiento biogeoquímico del arsénico en los ambientes marinos es quizá similar al del fósforo, debido a que se encuentran en el mismo grupo de la Tabla Periódica. El fósforo inorgánico disuelto se presenta en el agua de mar principalmente como fosfatos, teniendo una distribución principal con un mínimo en la superficie y un máximo en aguas profundas. Una de las formas básicas del As inorgánico disuelto en el agua de mar oxigenada es el arseniato (AsO_4^{3-}), presumiblemente con el mismo perfil vertical mostrado por el fosfato (Chester, 2003). Estas formas (arseniatos y fosfatos) son consumidas por organismos fitoplanctónicos de manera simultánea, generando fósforo y arsénico orgánico particulado, que son fácilmente remineralizados en la columna de agua, cuando estas biopartículas inician su migración al fondo. En agosto 2003, enero y julio del 2007 la asociación entre el fitoplancton y el As pudo ser evidente, pues las distribuciones de As y las de clorofila *a* (Figuras 6 y 13), fueron muy similares, extendiendo su distribución hacia la parte sur de la zona de estudio, habiéndose correlacionado positivamente con el valor del máximo nivel de clorofila *a* ($r=0.6$). Por esta razón es posible suponer que la incorporación de este elemento al zooplancton de esta región es a través del fitoplancton. Cd fue otro elemento que coincidió en la distribución de sus máximos niveles con las mayores concentraciones de clorofila *a* calculada a partir de la fluorescencia en febrero del 2007 y junio del 2008. Lo anterior se sugiere que esté muy relacionado en esta zona con los efectos de surgencia por la mezcla de corrientes de marea que ya ha sido mencionado anteriormente, debido a que este elemento puede ser enriquecido con concentraciones de la parte profunda de la

columna cuando ocurre este tipo de procesos (Bruland *et al.*, 1978; Lares & Marinone, 2009).

En la región del archipiélago central, las descargas episódicas de material particulado y disuelto por los ríos Concepción, San Ignacio y otros arroyos desde el desierto arenoso de Sonora podrían tener efecto en enriquecimiento de ET, durante la época de lluvias (Carriquiry *et al.*, 2001), particularmente de elementos de origen terrígeno y de material sedimentario enriquecido en carbono orgánico. De acuerdo con Brito *et al.* (2010), la época de lluvias en esta región (parte oriental del GC) inicia en el mes de junio, intensificándose durante los meses de julio y agosto. No obstante, los ríos antes mencionados sólo presentan descargas directas al Golfo por unas pocas horas, cuando las lluvias son más intensas. Este mismo autor también observó en el 2003 en la zona de Puerto Peñasco un fuerte aporte de agua dulce de fuentes subterráneas (Brito, com. pers., 2011). Esto nos permite esperar, aparte de los aportes fluviales instantáneos una influencia más continua en la costa oriental del NGC de aguas subterráneas con aporte al mar, junto con elementos particulados y disueltos de origen terrígeno.

Además durante junio del 2008 los elementos Pb, Sb y Se presentaron niveles elevados de sus concentraciones en esta región. Dichos elementos se encuentran frecuentemente en los aerosoles atmosféricos, sin embargo se ha observado su acumulación activa en copépodos, integrándose con algún nutriente (Purkerson *et al.*, 2003). Al mismo tiempo elementos como Se tienen cierto papel biológico (Ho *et al.*, 2003), formando una gama de productos después de su interacción con el fitoplancton (Chester, 2003).

9.2.3. Sur del archipiélago

De acuerdo con las distribuciones de los elementos biológicamente activos o de los elementos que se asocian a estos (As), se puede mencionar que su distribución en la zona sur del archipiélago central, es en parte un reflejo de las concentraciones registradas en la zona del archipiélago, debido a efectos de suministro de nutrientes del fondo, por la mezcla de mareas y circulación residual.

Elementos como el As, Ba, Fe, Sr y Zn podrían estar presentando este transporte en al menos una fracción de sus concentraciones, en las diferentes temporadas de muestreo.

Además de lo mencionado para los elementos biológicamente activos, se sabe que el caso de elementos de origen terrígeno (Fe, Mn, Co, Cu, Zr) y lantánidos (Cs, La, Eu, Sm, Sb) en esta región sur, se observa un enriquecimiento aledaño a ambas costas, pudiéndose distribuir hasta el centro del Golfo. En la costa de Sonora estos enriquecimientos pueden llegar a partir de aportes fluviales, resuspensión y aportes de material arenoso del desierto por mecanismos eólicos. Segovia-Zavala *et al.* (2009) registraron un mayor flujo de partículas atmosféricas en los meses de verano (julio, 1998) y otoño ($>65 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y menores durante primavera. Dicho aporte se considera es mayor debido a las tormentas de polvo ocurridas en el Desierto de Sonora durante el verano (Baumgartner *et al.*, 1991), generando mayores niveles de material de origen terrígeno a la superficie del océano durante estos meses cálidos y consecuentemente niveles elevados de elementos de origen terrígeno (Fe y Zn).

Además de esto, niveles elevados de los elementos antes mencionados (Ba, Fe, Mn y Zn) llaman la atención por conocerse que pueden tener un origen hidrotermal (Libes, 2009) posiblemente provenientes de la Cuenca de Guaymas, ambiente conocidos por presentar importantes salidas de elementos como Fe, M y Zn (German & Von Dam, 2003; Demina & Galkin, 2009; Toner *et al.*, 2009) y en menor grado otros elementos (Co, Cu, Pb, Rb, Cs y K) (Libes, 2009).

Anteriormente sólo se manejaba información de la transferencia de estos materiales por advección horizontal en estos sistemas, sin embargo, se manejaban unas pocas hipótesis sobre la distribución vertical y la entrada de elementos provenientes de estos sistemas al ambiente epipelágico: i) las plumas hidrotermales no son detectadas por arriba de unos cuantos cientos de metros ($\sim 600 \text{ m}$) sobre las ventilas hidrotermales (Dziak *et al.*, 2007) ii) fuertes mega plumas se podrían esperar después de un terremoto dando lugar a la formación de una nueva salida hidrotermal alcanzando hasta 800 m (sobre la salida) (Libes, 2009); iii) un modelo numérico de circulación hidrodinámico indicó que la fauna planctónica puede ser transportada entre la parte alta de la pluma y las capas superiores de la columna, y advectada

más allá del afluyente hidrotermal detectable (Burd & Thomson, 1994), iv) el transporte vertical en componentes coloides y/o materia orgánica asociada con burbujas de CH₄ y otros gases liberados de las ventilas, y que son formados con ayuda de gruesas películas orgánicas bacterianas (Pohl *et al.*, 2004).

Estudios actuales realizados en la cordillera medio oceánica por Toner *et al.* (2009) y en el Océano Sur por Tagliabue *et al.* (2010) indican que elementos como el Fe_d provenientes de éstas ventilas hidrotermales son transportadas hasta la superficie colocándolo como nutriente potencial de los organismos planctónicos, pues observaron que el elemento puede migrar al ambiente epipelágico asociado a matrices de materia orgánica (ej. carbono orgánico disuelto), estabilizando al Fe(II) expulsado de las ventilas, previniendo de ese modo su oxidación y/o precipitación en forma de minerales insolubles. Además este último autor menciona que realizaron algunos estudios discretos, donde se estimó que el Fe_d proveniente de estos sistemas profundos tiene un aporte global de entre el 12-22%. Esto nos da la posibilidad de mencionar que en el presente estudio Fe, Mn y Zn pudieran tener una fracción de sus concentraciones contenidos en el zooplancton provenientes de aporte eólico y quizá en menor grado de este sistema de ventilas de la Cuenca de Guaymas. Sin embargo, aunque ya hay evidencias de migración vertical de Fe_d, es claro que los mecanismos involucrados en la conexión de los elementos entre las ventilas hidrotermales y la zona eufótica requieren de más estudios.

9.3. Lantánidos normalizados con Lutita Norteamericana en junio de 2008

El contenido de lantánidos normalizados con NASC permite distinguir tres grupos en las muestras de zooplancton (Figura 38). El primero está caracterizado por una anomalía negativa de Ce, el cual es un patrón normal en el agua del mar, debido a la eliminación de este elemento como resultado de su oxidación de Ce (+3) a Ce (+4), forma que se adsorbe más efectivamente que el resto de los lantánidos trivalentes por lo que la reacción de oxidación y *scavenging* de Ce provocan su disminución en lantánidos disueltos, mostrando estas anomalías negativas. Por esta razón podemos suponer que este primer grupo de lantánidos es incorporado al

zooplancton directamente de su fracción disuelta en el agua de mar (Alibo & Nozaki, 1999).

El segundo grupo lo caracterizó una ligera disminución en lantánidos pesados (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu). Este patrón común de lantánidos disueltos en el agua de mar está en relación al enriquecimiento en lantánidos pesados, los cuales son más solubles que los ligeros. A consecuencia de esto, las partículas tienden a disminuir en los lantánidos pesados. Sin embargo también ha sido reportado que en sistemas con influencia fluvial o estuarinas; la fase coloidal y particulada también tienen la tendencia a estar enriquecidas en lantánidos ligeros. La mayoría de los sedimentos fluviales muestran un patrón similar, caracterizado por el enriquecimiento de lantánidos ligeros y empobrecimiento de los pesados respecto al NASC (Ej. estaciones K4, N5 y N10) (López-González, 2009). De acuerdo con esto no se descarta la posibilidad de influencia fluvial sobre los lantánidos, particularmente en las costas de Sonora como ha sido mencionado para temporada de verano (Brito *et al.*, 2010). En este segundo patrón se sugiere que el zooplancton obtuvo los lantánidos por mecanismos de filtración de partículas finas.

El tercer grupo, que fue el más numeroso, presenta un patrón normalizado con NASC de anomalías positivas de europio. Estas anomalías han sido reportadas para aguas hidrotermales y zonas de vulcanismo. Este enriquecimiento se debe a la posibilidad de reducción de europio (+3) hasta europio (+2) más soluble y más móvil, en comparación con elementos vecinos en la Tabla Periódica (Alibo y Nozaki, 1999; Zhang y Ishii, 2000). Sin embargo, este proceso de reducción requiere condiciones de alta temperatura y presión, así como la presencia de fuertes reductores (sulfuro de hidrógeno). Esta huella en zooplancton podría ser causada por presencia de agua de mar mezclada con fluidos hidrotermales. En el GC, la zona hidrotermal más conocida, se encuentra en la Cuenca Guaymas al sur del área de estudio, pero recientemente en el Norte del Golfo, en la zona de la falla de Wagner, se descubrieron descargas masivas de gas que puede ser acompañada por la liberación de fluidos hidrotermales (Canet *et al.*, 2010). Esta área se encuentra afectada por fuertes corrientes de marea las cuales pueden extender la zona de influencia hidrotermal. Cabe resaltar que anomalías de europio ya han sido reportadas para

sedimentos de las cuencas profundas de Santa Rosalía y Loreto (Alekseev *et al.*, 1998; Shumilin *et al.*, 2005). Desafortunadamente, hasta la fecha no se tienen resultados de los estudios de patrones de los lantánidos disueltos en el agua del GC para rechazar o aceptar la hipótesis de enriquecimiento hidrotermal del zooplancton pelágico.

9.4. Comparación de los patrones de distribuciones de contenidos de los elementos en zooplancton con los de sedimentos superficiales del NGC

A excepción de junio del 2008, las distribuciones y concentraciones de los elementos en el zooplancton mostraron poca coincidencia con lo reportado para los mismos elementos en muestras de sedimento superficial en el Golfo Norte y región del archipiélago central. Por esta razón se hace énfasis en las comparaciones de lo registrado en junio del 2008 con respecto a los resultados obtenidos por Daesslé *et al.* (2002; 2004) en sedimentos superficiales.

Los datos de contenido de elementos en el zooplancton de junio del 2008 fueron tratados estadísticamente con un análisis de componentes principales, del que resultaron cuatro factores principales o asociaciones. Los resultados de los primeros dos factores muestran similitudes con lo reportado por Daesslé *et al.* (2002, 2004).

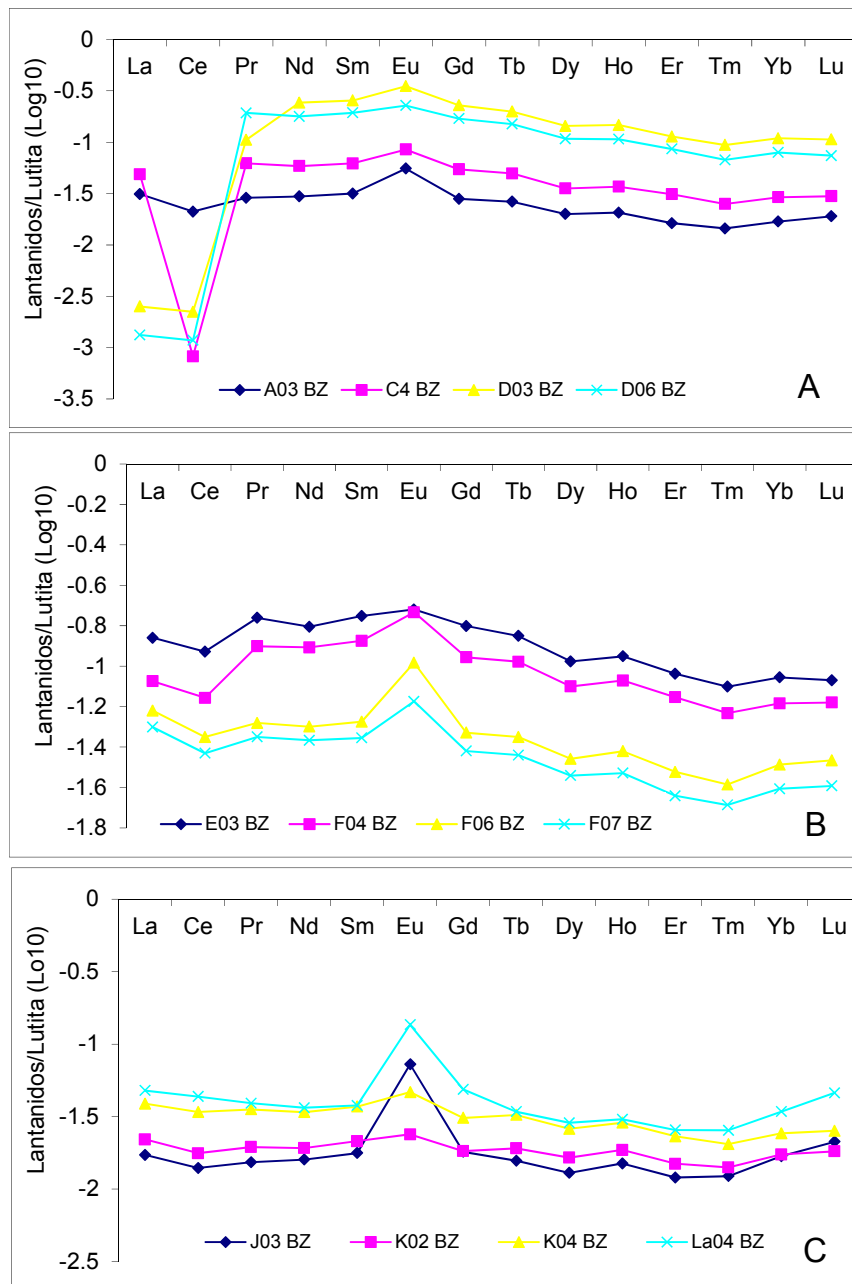


Figura 37. Patrones de la normalización de lantánidos con Lutita Norteamericana para el zooplancton de junio del 2008. A) depleción de cerio, B) depleción de lantánidos pesados (Gd-Lu) y C) enriquecimiento de europio

9.4.1. Patrón de distribución de los contenidos en el zooplancton formado por elementos de origen terrígeno (Asociación I)

El primero de éstos mostró un patrón de distribución de los contenidos en el zooplancton formado por los elementos terrígenos Be, Co, Fe, Mn, Sc, Ti y lantánidos. Este patrón coincidió con el factor 1 en los elementos en sedimento con Co, Fe, Mn y V además de que en sedimentos se integraron a este grupo el Mg, Cu, Cr, Ni y Zn (en sedimentos los lantánidos no fueron tratados en su ACP) (Daesslé *et al.*, 2004). La comparación entre el zooplancton y los sedimentos muestra que el Co, Fe, Mn y V tienen el mismo origen terrígeno, a diferencia del que presentan el Mg, Cr, Cu y Ni, ya que en zooplancton aparecen como elementos de origen biogénico marino. Por otra parte, no sólo el tratamiento estadístico de los datos, sino las distribuciones espaciales de elementos terrígenos muestran ciertas similitudes entre zooplancton y sedimentos superficiales (Figura 34). El rasgo principal de las distribuciones es una mancha de mayores contenidos cercana a la costa occidental adyacente a Puertecitos y otra acumulación un poco menor en la Bahía San Jorge en la costa continental. La distribución espacial de Fe en zooplancton es similar a la de los elementos Sc y Co. La distribución espacial de contenido de Mn en el zooplancton sólo muestra mayores valores en la zona adyacente a Puertecitos, pero no en la Bahía San Jorge.

De acuerdo con Daesslé *et al.* (2002; 2004), los elementos del primer factor en sedimentos, estuvieron asociados a los limos y arcillas ricos en metales, los que fueron originados de la erosión del delta del Río Colorado, así como de la plataforma somera al sur de este. Este material fino que predomina en la costa peninsular se extiende a lado este del Golfo, lo que puede ser atribuido a la influencia de un giro ciclónico observado en el verano (Lavín *et al.*, 1997). Se ha mencionado además la posibilidad de la influencia del giro sobre los sedimentos, al menos en unos 70 m de profundidad, de acuerdo con datos de velocidad geostrofica (Carrillo *et al.*, 2002).

Sin embargo, se hace notar que las concentraciones de Fe en los sedimentos superficiales del área del NGC, adyacente a Puertecitos, son más altas para todas las muestras de sedimentos colectadas en el NGC (Daesslé *et al.*, 2002). Ellos

mencionaron que existe una pluma de materia suspendida particulada cerca de Puertecitos y asocian su aparición con la resuspensión de los sedimentos y su transporte por corrientes cercanas al fondo en dirección sureste. Si esta hipótesis fuera aceptada, se pensaría que el contenido elevado de Fe en zooplancton marino recolectado frente a Puertecitos podría deberse sólo a la biofiltración de estas partículas terrígenas enriquecidas en Fe. Sin embargo Daesslé *et al.* (2002) no consideraron el aporte geotermal o hidrotermal con pH disminuido, aporte de Fe y otros elementos, lo cual no puede ser excluido para esta área conocida, por ser tectónicamente activa y tener al menos descargas geotermales en el ambiente intermareal (Barragán *et al.*, 2001). Si estas descargas son importantes podrían estar contribuyendo en la formación de partículas en la zona, ya que típicamente los fluidos hidrotermales tienen mayor acidez, condiciones reductoras que favorecen elevadas concentraciones de varios elementos disueltos, tales como Fe y Mn en el fluido. En contacto con el agua de mar oxigenada y de menor temperatura, se puede esperar la formación gradual de las partículas a causa de oxidación de Fe (+2) hasta Fe (+3) y su subsecuente hidrólisis. El Mn en estas condiciones casi siempre se conserva en su fracción disuelta (Libes, 2009). Para este elemento Daesslé *et al.* (2002) no reportan su acumulación en los sedimentos del área cercana a Puertecitos, pero si más al sur. Mientras que para Fe se podría mencionar que su incorporación en el zooplancton es a través de la filtración de partículas de sedimentos finos resuspendidos o de partículas, producto de hidrólisis de Fe procedente de descarga hidrotermal. En el caso del Mn podemos mencionar que es incorporado en el zooplancton por la captura del elemento en su fracción disuelta como micronutrientes por fitoplancton y posterior pastoreo de fitoplancton por el zooplancton.

9.4.2. Patrón de distribución de los contenidos en el zooplancton formado por elementos de origen biogénico (Asociación II)

La distribución espacial de los contenidos de Ba en sedimentos superficiales del Norte del GC mostrados por Daesslé *et al.* (2004) se caracteriza por tres áreas de acumulación, dos de las cuales coinciden con este trabajo. La primera se encuentra

cerca de la costa oriental frente a la desembocadura del Río Concepción sugiriendo el aporte de detritus. La segunda zona de acumulación está entre las islas Ángel de la Guarda y Tiburón. Ésta zona puede ser considerada semejante a lo registrado para nuestro estudio, teniendo quizá el mismo origen, como el carbono orgánico biogénico (esqueletos fitoplanctónicos, fragmentos de zooplancton que se depositan en el fondo sin disolver la barita biogénica). También en los sedimentos de las zonas de descargas de gas, puede haber formación de barita autógena como ha sido observado en algunos puntos localizados en el área de la falla de Wagner (Canet *et al.*, 2010).

En zooplancton la presencia de Ca en este grupo confirma su origen biogénico, y su importancia en la formación de estructuras del fito- y zooplancton calcáreo. Para los sedimentos Daesslé *et al.* (2004) observaron altos niveles de Ca en el Norte del GC, adyacente a las costas de Sonora, así como en la región del archipiélago central, coincidiendo con lo observado en zooplancton. Las altas concentraciones en el sedimento son el resultado de la acumulación del CaCO_3 (biogénico), como parte de fragmentos de conchas calcáreas (ej. foraminíferos) depositados en los sedimentos.

9.5. Concentraciones promedio de elementos en el zooplancton con respecto a la composición promedio de los elementos en la corteza superior

En la Tabla 28, se presentan las concentraciones promedio de elementos en zooplancton de los diferentes cruceros realizados en el GC, en relación a las concentraciones promedio de éstos en la corteza superior (Wedepohl, 1995). De los resultados se pueden distinguir tres grupos de elementos. El primer grupo lo constituyen los elementos acumulados en el zooplancton en mayor grado con respecto a la corteza, siendo Br, Sb, Se, Sr y Zn elementos que se encontraron en todas las campañas analizadas dentro de esta clasificación. As en agosto del 2003, junio del 2005 y julio del 2007; U en agosto del 2003; Pb en febrero del 2007; Ni en junio del 2005 y julio 2007 y Cd, Mo y B en junio del 2008. El segundo grupo incluye

a los elementos no acumulados en el zooplancton. Dentro de este grupo sólo Ba se presentó en la mayoría de las temporadas de muestreo. El arsénico estuvo presente en enero y febrero del 2007 y junio del 2008; Co en agosto del 2003 y junio del 2005, Ca y Cr en todas las campañas excepto agosto del 2003. El tercer grupo lo constituyeron elementos diluidos en el zooplancton, los que al parecer no se utilizan activamente o que no se bioacumulan eficientemente siendo el grupo con el mayor número de elementos. Este grupo se conformó principalmente por elementos de origen terrígeno como Lu, Tb, Eu, Yb, Sm, Cs, Hf, Sc, Th, Nd, La, Ce, Rb, Zr, y Fe, los cuales se encontraron en todas las campañas de muestreo. La mayoría de estos elementos normalmente tienen origen terrígeno y se encuentran en el agua de mar en forma particulada.

Aunque en este análisis de zooplancton se observen tres diferentes grupos de elementos, dichos grupos presentan una importante relación que tiene que ver con la procedencia de los elementos. Esto es debido a que en el GC ocurre una fuerte entrada de material terrígeno de tipo estacional, predominantemente durante el verano proveniente del aporte fluvial y eólico, continuando la depositación de material en el invierno con los vientos del noroeste, desde la plataforma, favoreciendo la remineralización de elementos de origen biogénico, así como el enriquecimiento constante de elementos de origen terrígeno (Dean *et al.*, 2004).

Tabla 28. Concentración promedio de elementos en el zooplancton del Golfo de California, en relación a la concentración promedio del elemento en la corteza superior (Wedepohl, 1995). A) Elementos acumulados en el zooplancton, N) Elementos no acumulados y D) Elementos diluidos en zooplancton. Todos los valores están expresados en Log ₁₀.

Corteza superior		<u>Agosto, 2003</u>		<u>Junio, 2005</u>		<u>Febrero, 2007</u>		<u>Enero, 2007</u>		<u>Julio, 2007</u>		<u>Junio, 2008</u>				
Elemento		Elemento														
As	0.3	1.0	A	1.2	A	0.6	A	0.6	A	0.7	A	0.4	N	Ag	-0.1	D
Au	-2.4											-1.6	A	B	1.8	A
Ba	2.8	2.1	D	2.2	D	2.4	D	2.2	D	2.3	D	2.2	D	Be	-0.7	D
Br	0.2	2.5	A	3.1	A	3.1	A	2.9	A	3.2	A			Bi	-1.1	D
Ca	4.5	2.0	D	4.6	N	4.7	D	4.5	N	4.5	N	4.4	N	Dy	-0.6	D
Cd	-1.0					1.0						0.9	A	Ga	0.2	A
Ce	1.8			0.4	D	0.0	D	0.3	D	0.3	D	0.4	D	Gd	-0.5	D
Co	1.1	0.9	N	0.9	N	0.4	D	0.6	D	0.6	D	0.2	D	Ge	-0.5	D
Cr	1.5	1.0	D	1.4	N	1.7	N	1.5	N	1.6	N	1.5	N	Hg	-1.3	D
Cs	0.8	-0.5	D	0.1	D	-0.4	D	-0.1	D	-0.1	D	-0.1	D	Ho	-1.3	D
Cu	1.2					1.2						1.3	N	In	-1.7	D
Eu	0.0	-1.3	D	-1.0	D	-1.2	D	-1.3	D	-1.1	D	-0.9	D	Li	0.7	A
Fe	4.5	3.2	D	3.6	D	3.2	D	3.5	D	4.0	D	3.6	D	Mg	3.9	D
Hf	0.8	-0.6	D	-0.2	D	-0.6	D	-0.4	D	-0.5	D	-0.8	D	Mo	0.6	N
K	4.5					3.4						3.5	D	Nb	-0.5	D
La	1.5	-0.2	D	0.3	D	-0.3	D	0.04	D	0.1	D	0.2	D	Pr	-0.3	D
Lu	-0.6	-1.5	D	-1.2	D	-1.2	D	-1.2	D	-1.3	D	-1.7	D	Sn	0.6	A

Mn	2.7					1.1						2.0	D	Ti	2.1	D
Na	4.4	2.0	D	4.2	D	3.9	D	4.1	D	4.4	N	4.3	N	Tl	-1.1	D
Nd	1.4			0.0	D	-0.3	D	-0.1	D	-0.1	D	0.4	D	V	1.1	D
Ni	1.3			2.0	A	0.8	D			2.2	A	1.2	N	W	-1.0	D
P	2.8					1.3								Y	0.02	D
Pb	1.2					1.5						1.1	N			
Rb	2.0	1.2	D	1.6	D	0.9	D	1.1	D	1.2	D	0.8	D			
Sb	-0.5	0.2	A	0.0	A	0.1	A	-0.1	A	0.8	A	-0.2	A			
Sc	0.8	-0.6	D	-0.3	D	-0.9	D	-0.4	D	-0.2	D	0.0	D			
Se	-1.1	0.2	A	1.0	A	0.4	A	0.4	A	0.4	A	-0.5	A			
Sm	0.7	-0.7	D	-0.6	D	-0.9	D	-0.7	D	-0.7	D	-0.4	D			
Sr	2.5	3.6	A	4.0	A	3.3	A	3.4	A	4.2	A	1.7	D			
Ta	0.3									-0.9	D	-2.1	D			
Tb	-0.3			-1.2	D			-1.3	D	-1.3	D	-1.3	D			
Th	1.0	-0.4	D	-0.3	D	-0.6	D	-0.4	D	-0.2	D	-0.1	D			
U	0.4	0.7	A	0.3	N	0.6	A	0.1	D	0.3	N	-0.1	D			
Yb	0.2	-0.4	D	-0.5	D	-0.5	D	-0.5	D	-0.5	D	-0.9	D			
Zn	1.7	2.4	A	2.5	A	2.4	A	3.2	A	3.3	A	2.2	A			
Zr	2.4	2.0	D	1.6	D	1.3	D	1.3	D	1.6	D	0.6	D			

De acuerdo con Brumsack (1989) en datos de sedimentos en los márgenes norte y sur de la Cuenca Guaymas existe una agrupación definida con respecto a los datos normalizados con la corteza. Sin embargo en caso de los resultados obtenidos en zooplancton sólo coincide el primer grupo, el cual está conformado por los elementos conocidos como esenciales (Ni y Zn). No obstante, este mismo grupo lo constituyeron elementos no esenciales con posibles efectos tóxicos (As y Pb), los cuales son muy reactivos y pueden ser incorporados en el zooplancton al asociarse con otros nutrientes, los que están involucrados en los ciclos biológicos, o bien pueden ser captados por algún otro proceso, como la adsorción por su alta afinidad a las partículas de cualquier origen. De acuerdo con esto, los elementos de este grupo pueden ser concentrados desde su fase disuelta o en partículas muy finas por los organismos del plancton.

El segundo y tercer grupo lo constituyeron elementos mayores y traza de origen terrígeno (Ca, K, Co, Cr y lantánidos). A diferencia del sedimento del GC donde los elementos mayores presentaron niveles cercanos a los del promedio de la lutita, los datos de diferentes grupos del zooplancton (ej. Brumsack, 1989) en general muestran valores menores de ET con respecto al promedio de elementos normalizados con aluminio, coincidiendo con lo observado en el zooplancton de este trabajo en relación a la corteza superior. Es posible que esto se deba a que el material puede ser incorporado a los organismos planctónicos desde su entrada al medio o en la columna durante su migración hacia el fondo marino. No obstante no todo este material se encuentra disponible para ser captado por el plancton, mientras que en el sedimento se acumula y se enriquece por medio de mecanismos como la remineralización o procesos de óxido-reducción.

9.6. Razones de concentraciones de los elementos en el zooplancton

No sólo las concentraciones absolutas de los elementos en el zooplancton proveen información útil para inferir los procesos que afectan la migración y acumulación de estos en el ambiente marino, sino también las razones de las

concentraciones de algunos elementos, lo que puede verse bien en caso de las razones Fe/Sc en el zooplancton.

9.6.1. Razón de Fe/Sc

Esta razón nos permite conocer el posible origen de estos elementos, así como las posibles fuentes de entrada. En el presente estudio no se definió ningún patrón en las distribuciones de las razones Fe/Sc en las distintas temporadas de muestreo. Los valores más altos de Fe/Sc, estuvieron en la mayor parte de las ocasiones distribuidas a lo largo de la plataforma continental, disminuyendo los valores hacia regiones con mayor profundidad con características oceánicas (Figura 39).

En agosto del 2003 y junio del 2008 se observaron espacialmente las razones Fe/Sc más elevadas frente a los efímeros ríos San Ignacio y Concepción respectivamente, mientras que en junio del 2005 se registraron las razones más altas al sur de Isla Tiburón frente a la desembocadura del Río Matape y del Río Sonora en febrero del 2007. De acuerdo con las distribuciones de estas razones de Fe/Sc, se toma en consideración lo mencionado por Brito *et al.* (2010) anteriormente para la zona del archipiélago central, pues las razones observadas en estas temporadas sugieren un aporte de material proveniente de las descargas de los ríos adyacentes a las estaciones de muestreo, coincidiendo además con los períodos de lluvias en esa región.

En enero del 2007 cuando las razones más altas de Fe/Sc se localizaron en el área de la Cuenca de Guaymas, se piensa que pueda tener un aporte de origen hidrotermal, ya que en el GC plumas hidrotermales representan un importante mecanismo de dispersión de elementos (German & Von Dam, 2003), particularmente de Fe, Mn y Zn.

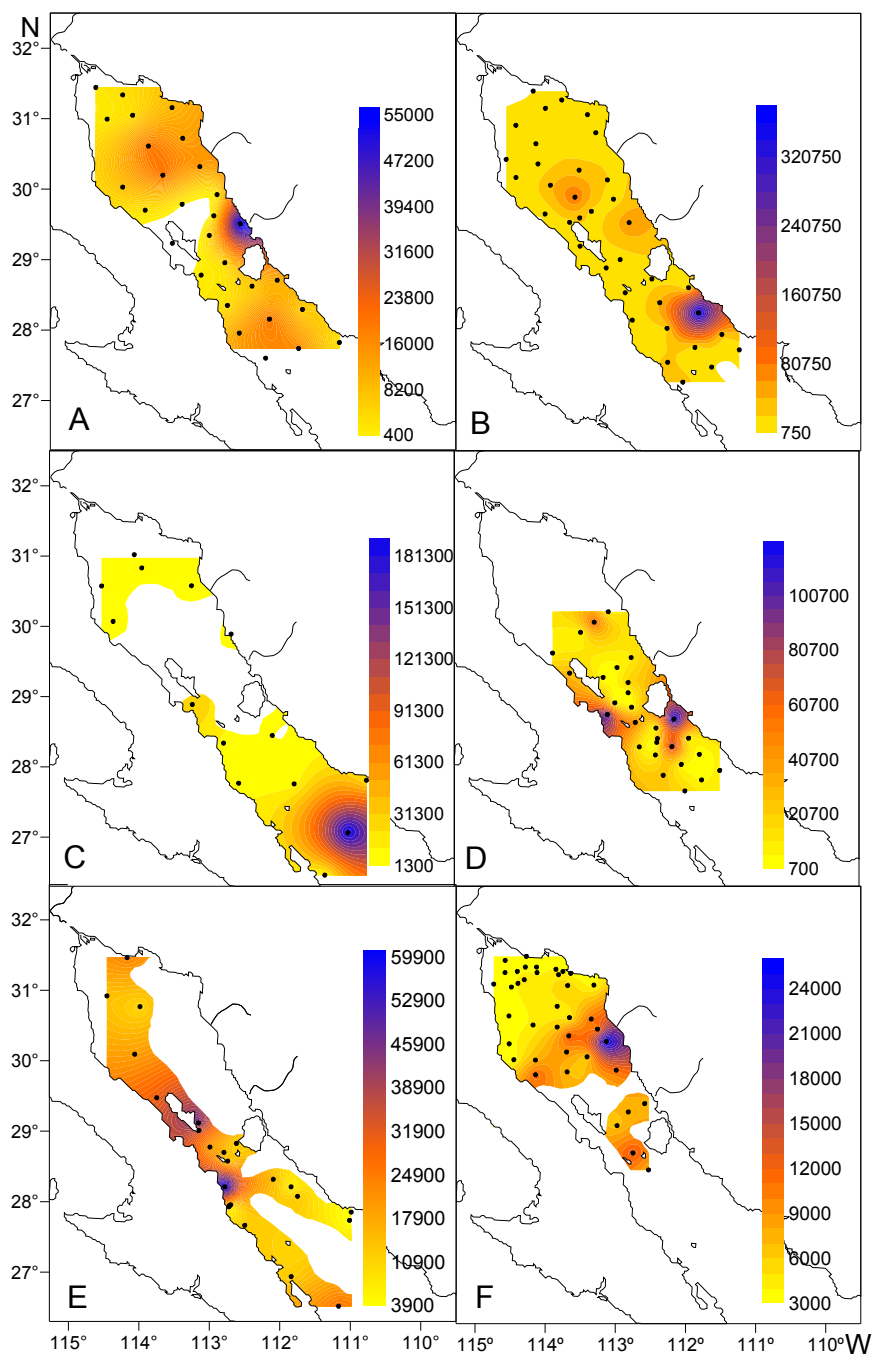


Figura 38. Razones Fe/Sc en el zooplancton del GC. A) agosto del 2003, B) junio del 2005, C) enero del 2007, D) febrero del 2007, E) julio del 2007 y F) junio del 2008

La distribución de otro valor elevado de razones de Fe/Sc coincidió en febrero y julio del 2007, frente a la costa peninsular, al sur del Canal de Ballenas. En estas situaciones se sugiere que los aportes de estos elementos pudieran darse a partir de la entrada de material particulado transportado, ya sea por aporte eólico o pluvial de forma esporádica, debido a la presencia de algunos arroyos en esa zona, ya que la temporada de lluvias es durante los meses de verano.

9.6.2. Correlaciones Fe - Sc

La evaluación de las correlaciones entre los contenidos de Fe y Sc en el zooplancton mostró un rango amplio de los valores de estas relaciones para diferentes campañas oceanográficas. Las correlaciones fueron desde bajas en agosto del 2003 ($r=0.31$) y altas en junio 2005 ($r=0.6$) y febrero del 2007 ($r=0.48$), así como muy elevadas para enero de 2007 ($r=0.85$), julio del 2007 ($r=0.86$) y junio del 2008 ($r=0.96$).

De manera similar a las campañas realizadas para el análisis de zooplancton en el 2007 y 2008, se observó al sur del GC que sedimentos costeros y partículas en hundimiento presentan correlaciones elevadas entre los contenidos de Fe y Sc ($r = 0.90$) (Rodríguez-Castañeda, 2008). Las bajas correlaciones indican que existen diferencias entre las fuentes de aporte de Fe y Sc y los procesos que controlan la acumulación de ambos elementos en el plancton, por lo que no todo el fierro que entra en el zooplancton lo hace junto con Sc. Por el contrario correlaciones altas sugieren que la entrada al medio de los elementos de Fe y Sc proviene de una misma fuente terrígena, y en asociación a partículas finas de aluminosilicatos.

9.6.3. Factores de enriquecimiento

En geoquímica los factores de enriquecimiento son más frecuentemente utilizados en lugar de las razones de los elementos, debido a que son más ilustrativos, pues consideran la relación que existe entre la concentración contenida en los organismos con respecto a la concentración en la corteza superior y no

únicamente una la proporción de concentraciones como es el caso de las razones de elementos. Los factores de enriquecimiento promedio de elementos en el zooplancton para las diferentes campañas oceanográficas se presentan en detalle en la Tabla 29. Para la mayoría de las temporadas se notan ciertas similitudes en las agrupaciones de los elementos según la clasificación propuesta por Sutherland (2000).

Los elementos As, Br, Se, Zn, Ca (excepto enero de 2007) y Na (excepto julio de 2007) se definieron como extremadamente enriquecidos en el zooplancton ($FE \geq 40$) durante todas las temporadas de muestreo. A esta agrupación se incluyeron en febrero de 2007 el Cd, Cu y Pb. No es raro observar que estos elementos estén en niveles tan elevados en los organismos zooplanctónicos, ya que algunos de estos son esenciales en sus procesos metabólicos (Ca, Se, Zn), ya sean como componentes claves de enzimas y procesos de fotosíntesis (Cd, Zn), de pigmentos respiratorios (Cu) en moluscos y crustáceos o de estructuras duras (Ca) (Rainbow *et al.*, 2002). En el caso del As se piensa que se encuentra en esta agrupación, ya que se ha observado que es capturado junto con algunos nutrientes como P incorporándose al fitoplancton y después al zooplancton. En el caso de junio 2008, los elementos extremadamente enriquecidos fueron Ag y Se. Una fracción de estos elementos entran al medio por aporte atmosférico, además por aporte de tipo fluvial (Se) (Purkerson *et al.*, 2003). El Ag y el Se pueden llegar a acumularse mejor en niveles tróficos menores, como bacterias y ciliados, que posteriormente son ingeridos por el zooplancton, enriqueciendo sus niveles en estos elementos. En el caso de Ag (altamente concentrada en ciliados) se ha observado que puede aportar hasta cinco veces más el nivel de concentración, que lo que lo hace el fitoplancton (Purkerson *et al.*, 2003; Twining *et al.*, 2004).

Entre los elementos altamente enriquecidos en el zooplancton ($20 \leq FE < 40$) estuvieron el Ba, Lu y Cr. En el caso del Ba no es raro que se encuentre en niveles elevados, debido a que es encontrado en organismos del microzooplancton (ej. radiolarios) en forma de barita como parte fundamental para la formación de sus estructuras (Martin & Knauer, 1973; Chester, 2003). En el caso de los elementos de

origen terrígeno Lu y Cr pueden ser acumulados en el zooplancton por mecanismos de filtración de partículas finas aunque no se les conoce alguna participación fisiológica. El Cr puede ser involucrado activamente en las cadenas tróficas en fase coloidal desde el fitoplancton hacia el zooplancton o por filtración directa de coloides por del zooplancton (Wang & Guo, 2000). En junio del 2008, no se registraron elementos altamente enriquecidos.

El grupo de los elementos clasificados como moderadamente enriquecidos ($2 \leq FE < 20$) estuvo integrado principalmente por elementos de origen terrígeno Ce, Eu y Fe en todas las campañas oceanográficas, y P en febrero del 2007. La mayoría de los lantánidos tienen un estado de oxidación +3, sin embargo Eu y Ce presentan diferentes estados de oxidación, Eu (2+), Eu (3+) y Ce (+4) y Ce (+3), lo que los hace tener una variabilidad con respecto a los demás lantánidos en el enriquecimiento dentro de los organismos, debido a la diferencias de solubilidad y por tanto de disponibilidad en la columna (Sakamoto *et al.*, 2008), siendo concentrados en mayores o menores cantidades de acuerdo al estado de oxidación en que se encuentren. En el caso de los nutrientes Fe y P es muy probable que se encuentren clasificados en este grupo, debido a que son elementos esenciales en los ciclos biológicos, siendo regulados por los organismos en la zona eufótica, viéndose disminuidos en su fase disuelta y más concentrados en sus fases particuladas (Bruland & Lohan, 2003). En junio del 2008 los elementos moderadamente enriquecidos fueron As, Ca, Cu, Ni, P, Pb, Zn, entre otros. Varios de estos elementos mostraron una similitud con respecto a la clasificación de los elementos “extremadamente enriquecidos de las demás temporadas”. Estas diferencias en la clasificación de los elementos quizá estén reflejando las distintas fuentes de origen dentro del GC.

La agrupación de los elementos clasificados como no enriquecidos ($0.5 \leq FE < 2$), estuvo formado por Ce, Hf, La, Nd y Sm en enero y julio del 2007 y por Ge, Mn, Sr y U en junio del 2008. A excepción del Sr, estos elementos se encuentran en concentraciones muy bajas en el agua de mar (Chester, 2003). Lo mencionado anteriormente al respecto de los lantánidos y sus estados de oxidación va a influir en la disponibilidad de estos elementos. Además, cabe resaltar que los lantánidos

presentan un mecanismo de captación y depositación similar al del silicio, y que el almacenamiento de éstos en los organismos es en forma de hidróxidos. Estos elementos de origen terrígeno se incorporan a aluminosilicatos (Sakamoto *et al.*, 2008), por lo que no son solubles y por tanto no son utilizados por organismos planctónicos para sus procesos fisiológicos, acumulándose dentro del organismo como elementos inertes.

Junio del 2008 fue el único muestreo que registró elementos empobrecidos en el zooplancton ($FE < 0.5$). Este grupo lo formaron lantánidos (Ce, Eu, Dy, Ga, Gd y Sm) y elementos de origen terrígeno (Fe y Zr).

Cuando los FE son elevados para elementos como Ba, Cd, Cu, Ni, Sr, entre otros, pueden estar indicando una zona de alta productividad (Rodríguez-Figueroa, 2010), pues son elementos necesarios para el desarrollo de biológico (fito y zooplancton), mientras que FE bajos pueden indicar un empobrecimiento de los ET en la corteza o que el organismo tenga la capacidad de excretarlos (Ce, Hf, La).

Un primer aspecto de los resultados de FE en el presente trabajo, es el rango tan amplio que estos presentan. Desde $FE = 0.01$ para Ta en junio del 2008 hasta $FE = 131833$ para Br en febrero del 2007. Este rango puede deberse a la variabilidad de los grupos que conformaron el zooplancton analizado relacionado con sus requerimientos fisiológicos, a sus distintos mecanismos de captación y excreción, a la variabilidad estacional y a las fuentes de entrada de los elementos al ecosistema pelágico donde habita el zooplancton.

Los grupos de elementos definidos por el FE, fueron coincidentes con lo encontrado por otros autores para datos de sedimentos del Golfo Norte en el 2010 (com. pers Shumilin, 2011. Datos no publicados). Pero aun cuando las agrupaciones de los elementos fueron similares, los valores obtenidos por estos autores en datos de sedimento fueron mucho menores a los registrados en el zooplancton. A diferencia de lo anterior, Bowen (1966) obtuvo resultados de FE en fitoplancton y macroalgas café bastante elevados para elementos como Pb, Fe, Cu, Zn entre otros (Tabla 29). Esto se puede explicar, ya que los organismos tienen la capacidad de

captar y acumular los ET en concentraciones mayores a las encontradas en el medio en el que se encuentran.

Se esperaría que en el GC los valores, especialmente para elementos de origen terrígeno, fueran más elevados en el zooplancton debido a que las fuentes de entrada son numerosas resaltando el aporte eólico y la resuspensión. Sin embargo se ha demostrado que los organismos difieren en su grado de enriquecimiento de metales traza (Rainbow, 2007), además de que organismos de niveles taxonómicos menores tienden a tener FE más altos (ej. Ciliados, fitoplancton), y que existen diferencias entre las partes suaves de los organismos con respecto a las partes duras (ej. crustáceos) (Libes, 2009).

9.6.4. Coeficiente de acumulación de elementos en zooplancton

Los valores promedio de los coeficientes de acumulación (CA) se muestran en la Tabla 30. En el zooplancton del GC se puede observar que los constituyentes mayores del agua de mar como Br, Ca, K, Na y el nutriente P tienen menores valores de CA con una variación moderada (1- 202). El resto de los elementos muestran intervalos amplios de CA, como CA=223 para Cd hasta 2×10^6 para Pb. Esto muestra la gran capacidad que tiene el zooplancton de acumular elementos no sólo esenciales (Fe, Zn), si no también algunos elementos de origen terrígeno con funciones fisiológicas no conocidas (Ce, Zr) e incluso elementos considerados como tóxicos para sus funciones biológicas (Hg y Pb). Debido a estas características, el zooplancton es considerado como un buen indicador de la calidad del agua. En otros trabajos los grupos del zooplancton han sido clasificados de acuerdo a su tipo de alimento y a la interacción que tienen con los elementos en el medio (Dvurechenskaya *et al.* Datos sin publicar. <http://www.cprm.gov.br/pgagem/Manuscripts/dvurechenskayas.htm>).

Tabla 29. Valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de los factores de enriquecimiento en el zooplancton del Golfo de California, en las diferentes temporadas de muestreo; y de algas marinas obtenidas por Bowen (1966) (Tomado de Libes, 2009). Las letras a la derecha de cada columna señalan la clasificación de cada elemento enriquecido, de acuerdo con Sutherland (2002). E, empobrecidos; Ne, no enriquecidos; Me, moderadamente enriquecidos; Ae, altamente enriquecidos y Ee, extremadamente enriquecidos.

FE en Zooplancton del Golfo de California									
Elemento	Agosto 2003		Junio 2005		Enero 2007		Febrero 2007		Julio 2007
	min-max		min-max		min-max		min-max		min-max
	$\bar{x} \pm \text{desv.est}$		$\bar{x} \pm \text{desv.est}$		$\bar{x} \pm \text{desv.est}$		$\bar{x} \pm \text{desv.est}$		$\bar{x} \pm \text{desv.est}$
As	21-5406	Ee	2-3459	Ee	2-391	Ee	13-2050	Ee	8-150
	762±1384		779±1107		103±117		302±466		45±39
Ba	1-378	Ae	0.3-245	Ae	0.1-74	Me	1-153	Ae	0.4-27
	36±91		31±52		9±20		35±43		5±6
Br	1056-172938	Ee	484-925481	Ee	1486-184375	Ee	3364-475284	Ee	666-440625
	32525±48930		131834±210601		26756±47521		128928±133698		43949±94303
Ca	3-716	Ee	0.3-1280	Ee	0.5-183	Ee	8-654	Ee	1-308
	137±235		141±255		42±60		227±189		36±72
Cd							870-85784	Ee	
							21115±20228		
Ce			0.1-36	Me	0.3-7	Ne	0.3-6	Me	0.03-5
			3±6		1±2		2±2		1±1

Co	3-588	Ee	0.4-326	Ee	1-81	Me	1-59	Me	0.8-12
	94±159		68±92		14±25		17±15		5±3
Cr	1-102	Ae	0.2-565	Ee	1-155	Ae	1-916	Ee	1-81
	20±23		59±135		27±44		129±215		17±18
Cs	0.2-52	Me	0.3-83	Me	1-15	Me	1-30	Me	0.4-20
	6±13		16±21		3±4		9±10		3±5
Cu							13-1700	Ee	
							241±358		
Eu	0.1-22	Me	0.2-63	Me	0.1-10	Me	1-37	Me	0.1-19
	4±5		8±15		2±3		7±8		2±4
Fe	0.1-13	Me	0.1-84	Me	0.3-44	Me	0.2-27	Me	1-14
	2±3		6±14		5±11		5±7		4±3
Hf	0.1-60	Me	0.2-60	Me	0.1-13	Ne	1-18	Me	0.1-5
	9±17		9±14		2±3		5±4		1±1
K							1-37	Me	
							13±11		
La	0.1-22	Me	0.1-86	Me	0.3-7	Ne	0.2-7	Me	0.03-6
	3.6±6		4±14		1±2		2±2		1±1
Lu	1-333	Ae	0.4-222	Ae	0.7-57	Me	2-236	Ee	0.7-35
	24±64		36±60		11±15		44±50		6±8
Mn							0.2-24	Me	
							5±6		
Na	17-3502	Ee	0.1-836	Ee	0.4-81	Ae	2-226	Ee	0.3-711
	623±849		73±158		21±25		46±56		55±147
Nd			0.2-8	Me	0.2-11	Ne	0.1-7	Me	0.03-4
			2±2		1±3		2±2		1±1

Ni			3-3226	Ee			0.5-464	Ee	11-374
			491±878				70±132		148±96
P							0.2-13	Me	
							5±3		
Pb							4-1909	Ee	
							175±3992		
Rb	1-139		0.4-61	Me	1-17	Me	0.0-35	Me	0.2-19
	26±39		12±17		5±5		10±9		4±5
Sb	19-5548	Ee	1-2992	Ee	3-266	Ee	14-4241	Ee	9-2094
	774±1310		370±652		69±73		526±857		316±594
Se	77-12229	Ee	22-161647	Ee	150-6807	Ee	26-15251	Ee	86-6018
	2290±3329		21375±38086		1515±1948		4661±4435		943±1399
Sm	0.03-61	Me	0.2-15	Me	0.2-18	Ne	0.0-13	Me	0.02-5
	8±16		3±4		2±5		4±4		1±1
Sr	33-5587	Ee	2-21250	Ee	25-1063	Ee	32-3403	Ee	51-8098
	1028±1341		2683±4922		211±298		603±754		891±1663
Tb			0.5-69	Me	1-44	Me			0.2-14
			11±17		5±11				3±3
Th	0.1-48	Me	0.2-33	Me	0.1-6	Ne	0.1-16	Me	0.1-18
	4.8±10		5±8		1±2		4±4		2±4
U	3-2488	Ee	0.7-353	Ee	1-122	Ae	7-687	Ee	1-223
	369±724		76±99		25±31		237±240		30±48
Yb	2-247	Ee	0.5-193	Ae	1-62	Me	2-187	Ae	1-30
	40±69		31±50		11±16		37±39		5±7
Zn	10-10577	Ee	0.5-5577	Ee	119-18494	Ee	45-2998	Ee	78-2276
	667±2035		808±1270		2119±4870		881±879		594±576

Zr	1-527 77±130	Ee	0.0-197 28±48	Ae	0.3-11 3±4	Me	1-48 10±12	Me	0.3-22 3±5
----	-----------------	-----------	------------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------

Continuación de tabla 29.

FE en zooplancton del GC en junio 2008		Sedimento superficial del NGC (2010)		FE en Fitoplancton*		FE en Algas Cafés*	
Elemento	min-max $\bar{x} \pm \text{desv.est}$		min-max $\bar{x} \pm \text{desv.est}$	Elemento	$\bar{x}$	$\bar{x}$	
Ag	4.2-410 59±90	Ee	0.85-9.08 2.2±1.9	Me	Fe	87,000	17,000
As	0.34-103 9±21.4	Me	0.26-8.63 2.1±1.61	Me	Zn	65,000	3400
Ba	0.00-5 0.8±1.4	Ne	0.26-4.54 0.9±0.70	Ne	Pb	41,000	70,000
Be	0.1-0.3 0.1±0.05	E	0.15-0.68 0.4±0.10	E	Al	25,000	1550
Bi	0.21-67 3.3±10.6	Me	0.91-1.58 1.1±0.16	Ne	N	19,000	7500
Ca	0.1-25 3.1±5.5	Me	0.29-7.92 1.6±1.1	Ne	Cr	17,000	6500
Cd	8.4-16387 923±2828	Ee	0.86-10.07 2.9±2.04	Me	Cu	17,000	920
Ce	0.0-0.2 0.1±0.04	E	0.23-1.16 0.7±0.18	Ne	Si	17,000	120
Co	0.08-2 0.3±0.4	E	0.49-0.93 0.7±0.11	Ne	P	15,000	10,000
Cr	0.2-15 2.5±3.3	Me	0.74-2.00 1.2±0.21	Ne	Mn	9400	6500
Cs	0.02-0.3 0.2±0.1	E	0.16-0.94 0.7±0.17	Ne	Co	4600	650
Cu	0.38-43 6.8±10.6	Me	0.97-11.62 1.8±2.53	Ne	Sn	2900	92
Dy	0.08-0.2 0.1±0.04	E	0.43-1.37 0.9±0.21	Ne	Ni	1700	140
Eu	0.08-2 0.4±0.4	E	0.41-1.33 0.8±0.20	Ne	I	1200	6200
Fe	0.1-0.8 0.2±0.1	E	0.50-0.89 0.6±0.07	Ne	Cd	910	890
Ga	0.09-0.2 0.1±0.02	E	0.68-2.53 1.2±0.38	Ne	V	620	250
Gd	0.10-0.3	E	0.52-1.75	Ne	Mo	25	11

	0.2±0.04		1.1±0.26				
Ge	0.11-4	Ne	0.17-2.17	Ne	S	1.7	3.4
	0.7±0.9		0.7±0.39				
Hf	0.02-0.4	E	0.04-0.48	E	Mg	0.59	0.96
	0.1±0.10		0.2±0.11				
Ho	0-0.2	E	0.38-1.13	Ne	Na	0.14	0.78
	0.1±0.04		0.9±0.20				
K	0-1	E	0.27-2.17	Ne			
	0.3±0.3		0.9±0.38				
La	0.00-0.2	E	0.23-1.21	Ne			
	0.1±0.04		0.7±0.19				
Li	0.13-0.5	E	0.63-1.51	Ne			
	0.3±0.1		1.2±0.19				
Lu	0.06-0.8	E	0.35-1.30	Ne			
	0.2±0.2		0.8±0.20				
Mg	0.24-16	Me	0.53-1.16	Ne			
	2.2±3.2		0.9±0.16				
Mn	0-3	Ne	0.25-1.32	Ne			
	0.5±0.6		0.6±0.18				
Mo	0.23-55	Me	0.11-5.17	Ne			
	12±14.7		0.6±0.81				
Na	0.1-13	Me	0.27-1.37	Ne			
	2.5±3.4		0.7±0.20				
Nb	0.01-0.0	E	0.02-0.37	E			
	0.0±0.01		0.1±0.07				
Nd	0.08-0.2	E	0.28-1.26	Ne			
	0.1±0.02		0.7±0.19				
Ni	0.16-15	Me	0.99-1.52	Ne			
	2.6±3.4		1.2±0.15				
Pb	0.06-58	Me	0.58-5.13	Ne			
	2.9±9.2		1.2±1.01				
Pr	0.04-0.2	E	0.30-1.44	Ne			
	0.1±0.02		0.8±0.22				
Rb	0.0-0.6	E	0.20-1.53	Ne			
	0.1±0.12		0.8±0.27				
Sb	0.34-166	Me	0.56-8.28	Ne			
	8±26.4		1.8±1.51				
Se	0.80-947	Ee	1.20-13.70	Me			
	43±154.7		5.5±3.50				

Sm	0.08-0.2 0.1±0.02	E	0.32-1.19 0.8±0.18	Ne
Sr	0.01-14 0.6±2.3	Ne	0.19-4.31 0.8±0.62	Ne
Ta	0.00-0.1 0.0±0.02	E	0.03-0.39 0.1±0.10	E
Tb	0.10-0.3 0.1±0.04	E	0.37-1.40 0.9±0.22	Ne
Th	0-0.2 0.1±0.03	E	0.31-2.11 0.9±0.36	Ne
Ti	0.03-0.2 0.1±0.03	E	0.43-0.98 0.7±0.15	Ne
Tl	0.08-1.1 0.2±0.2	E	0.30-1.24 0.6±0.19	Ne
U	0.09-16 1.8±3.7	Ne	0.45-5.51 1.2±0.71	Ne
V	0-2 0.4±0.5	E	0.49-2.57 1.0±0.33	Ne
W	0.04-0.9 0.2±0.2	E	0.05-2.00 0.5±0.35	E
Y	0-0.3 0.1±0.06	E	0.37-1.21 0.8±0.19	Ne
Yb	0.07-0.5 0.1±0.10	E	0.40-1.24 0.9±0.20	Ne
Zn	1.09-282 20±46.6	Me	1.02-3.88 1.5±0.63	Ne
Zr	0.0002-0.4 0.1±0.08	E	0.06-0.54 0.2±0.11	E

*Tomados de Libes, 2009 (Bowen, 1966)

De acuerdo con esto los organismos filtradores pueden acumular de forma rápida ET en contenidos varias veces mayores a las que se encuentran en la columna. Mientras que organismos depredadores (e.g. copépodos Cyclopoida) acumulan concentraciones considerablemente menores en relación al medio.

Por tal motivo, las diferencias de CA de un mismo elemento en una temporada pueden ser explicadas por varios factores como son: el intercambio en la composición taxonómica del zooplancton, la especie del elemento químico utilizado por ciertos grupos, la edad del organismo, la habilidad de metabolizar los ET y por la acumulación de algún elemento en específico en un órgano determinado del cuerpo (Stanek *et al.*, 2005; Dvurechenskaya, datos sin publicar). En la Tabla 31 se pueden observar valores de CA de diferentes grupos de organismos marinos (Polikarpov, 1964; Stanek *et al.*, 2005; Dvurechenskaya, datos sin publicar), donde se puede ver que organismos de niveles superiores en la cadena trófica como peces, presentan CA menores con respecto a macroalgas y menores aun a organismos planctónicos, lo que se relaciona con los tipos de mecanismos de captación y excreción de los ET. En el caso de crustáceos tienen la capacidad de consumir ET de manera directa o indirecta, ya sea por filtración de partículas finas y elementos disueltos, o por adsorción pasiva a través de tejido suave. Sin embargo las macro y microalgas se restringen a captar concentraciones de ET exclusivamente en su forma disuelta desde la columna (Rodríguez-Castañeda *et al.*, 2006). En el caso especial de peces los cuales pueden consumir a través de su alimento y por filtración del agua ET en concentraciones elevadas, así como en formas particuladas y disueltas, se sabe sus mecanismos de excreción son mucho más desarrollados, por lo que regulan las concentraciones acumuladas de ET.

9.5. Comparación de los niveles de concentraciones de elementos en GC y otras partes del Océano Mundial

Las concentraciones y niveles de elementos mayores y traza en el zooplancton registrado en este estudio mostraron importantes variaciones con respecto a las reportadas por otros autores en otras áreas del océano mundial.

El GC presentó menores concentraciones de elementos de tipo conservativo como Ca y Na, no obstante la alta evaporación que se presenta en el Golfo Norte (Lavin *et al.*, 1998) y las concentraciones de carbonatos biogénicos (Daesslé *et al.* 2002). Estos elementos tuvieron mayores concentraciones en el zooplancton de un transecto oceánico desde Hawaii hasta la Bahía de Monterey, California (Martin & Knauer, 1973), lo que se debió quizá a la presencia de organismos concentradores de calcio (pterópodos calcáreos) en el transecto de Hawaii y de radiolarios donde el Na tuvo altos niveles.

En general los resultados de ET obtenidos en el GC mostraron valores bastante elevados en sus concentraciones dentro del zooplancton, como son los casos de Ba, Fe o Sr en relación a otras áreas (California y Mar Báltico). En su trabajo Martin & Knauer (1973) mencionaron la influencia de especies de microplancton (radiolarios) sobre los niveles de bario. Brügman & Hennings (1994) explicaron los enriquecimientos de Fe y Sr por la entrada de material de origen terrígeno con el aporte fluvial.

A excepción de los niveles de Cd registrados en una especie de anfípodo del Océano Atlántico (52.6 mg kg^{-1}), las concentraciones de este elemento fueron mayores en el GC aun con respecto a sitios contaminados (Rainbow, 2002). Además elementos como Cu, Mn, Zn y Pb también mostraron mayores concentraciones en organismos del zooplancton del GC con respecto a áreas no contaminadas y a áreas con alguna influencia antropogénica, como lo reporta Ridout *et al.* (1989) al noreste del Océano Atlántico, Rainbow (2002) para eufausidos del Océano Atlántico, Brügman & Hennings (1994) y Pempkowiack *et al.* (2006) para zooplancton del Mar Báltico. En contraste, el mismo Cu presenta concentraciones cercanas a las reportadas en el zooplancton del GC en misidaceos (Ridout *et al.* 1989) y otros grupos de crustáceos (especies de cirripedios y carideos) de sitios no contaminados. A su vez, estas mismas especies muestran fuertes incrementos en áreas contaminadas como Hong Kong e Inglaterra (Phillips & Rainbow, 1988; Rainbow, 2002), rebasando por mucho los niveles de concentración observadas en el zooplancton del GC (Tabla 32). Comparando los datos de elementos como Cd, Fe, Pb, Zn y Ni en zooplancton del GC en relación a las concentraciones observadas en

macroalgas cafés del sector minero de Santa Rosalía, se observó que las concentraciones fueron más altas en el zooplancton. Únicamente Cu y Mn tuvieron niveles más elevados en macroalgas que el zooplancton. Junto con estos los valores de Co, Pb y Zn en algas reflejaron contaminación antropogénica, mientras que Fe y Ni correspondieron a fuentes naturales (aporte terrígeno y biogénico) (Rodríguez-Figueroa *et al.*, 2009; Rodríguez-Figueroa, 2010) (Tabla 32). Se tiene conocimiento que las algas prácticamente sólo utilizan la fase disuelta de los elementos, mientras que el zooplancton además puede filtrar de manera mecánica partículas finas enriquecidas con dichos elementos, por lo que las concentraciones de elementos fueron en su mayoría más altos en zooplancton.

De manera general, estos autores explican que las variaciones observadas en los niveles de concentración de los elementos en los distintos estudios pueden ser debido las diferencias geográficas entre las estaciones de muestreo, los tipos de aporte (naturales y/o antropogénicas), así como los grupos taxonómicos dominantes en el zooplancton, los requerimiento de cada grupo taxonómico, la edad de los organismos, así como los mecanismos de acumulación y excreción que cada uno de los grupos presenta (Martin & Knauer, 1973; Ridout *et al.* 1989; Brüggmann & Hennings 1994; Rainbow, 2002; Pempkowiak *et al.*, 2006). En el caso del Cd, que fue registrado en niveles más elevados en el GC, incluso con respecto a zonas contaminadas cabe mencionar que éste es un elemento que en situaciones de no surgencia el elemento se presenta empobrecido en la superficie, aumentando sus concentraciones después de los 200 m. Por el tipo de distribución que este elemento presenta, se le considera de tipo nutriente, ya que su ciclo biogeoquímico es controlado por organismos fitoplanctónicos. Sin embargo, se tienen ya registros anteriores con diferencias significativas entre algunas zonas del Pacífico como California y Baja California, donde las altas concentraciones de Cd en la superficie se han asociado a eventos de surgencia e incluso a florecimientos algales, habiendo observado niveles hasta de tres veces más en situaciones de surgencia y hasta de cuatro veces durante los florecimientos (de dinoflagelados) en relación a situaciones donde no se presentan estos eventos, e incluso los valores llegan a ser muy similares a los de áreas de alta contaminación (Atlántico) (Bruland *et al.*, 1978;

Phillips & Rainbow, 1988; Ridout *et al.* 1989; Lares & Marinone, 2009). De acuerdo con lo anterior, las altas concentraciones de Cd en el GC se consideran de origen natural, ya que las diferencias observadas entre este y otros trabajos radican en que los altos niveles mostrados por otros autores (Ej. Phillips & Rainbow, 1988) tienen un origen antropogénico evidente.

10. CONCLUSIONES

- a) De manera general las concentraciones de los elementos mayores y traza en el GC mostraron que no hubo un aumento en las concentraciones de elementos en el zooplancton directamente proporcional a la biomasa del zooplancton.
- b) En el presente trabajo se concluye, que las concentraciones de elementos mayores y traza en el zooplancton del GC, presentan una variabilidad de tipo estacional, como resultado de los procesos hidrológicos en cada una de las temporadas del año.
- c) El GC no presenta diferencias significativas entre las tres zonas analizadas (Golfo Norte, Archipiélago central y Sur del archipiélago), posiblemente debido a la intensa interacción e interconexión entre estas regiones, lo que puede estar relacionado con los patrones de circulación que favorecen la advección de partículas y elementos disueltos entre dichas zonas.
- d) En el GC se presentan una combinación de fuentes de entrada de ET, sin embargo, la resuspensión es uno de los mecanismos más relevantes para el enriquecimiento en la región norteña, mientras que en la región sur del archipiélago se cree que sea el mecanismo eólico.
- e) Se corrobora que la región del archipiélago central es una zona de regulación de elementos por el fitoplancton y zooplancton, ya que elementos como el Ar, Ba, Cd, Fe, Sr y Zn se asociaron a esta región y a niveles de clorofila a elevados.

- f) Los elementos mayores y traza contenidos en el zooplancton se asociaron en función de su grado de concentración, definiéndose tres grupos en la mayoría de las épocas estudiadas: 1) elementos mayores del agua de mar (Na, K, Ca); 2) elementos biológicamente activos (Zn, Fe, Ba), y 3) elementos de origen terrígeno (La, Sc) y de óxido-reducción (U, Co).
- g) Las distribuciones espaciales de algunos elementos muestran una individualidad en sus patrones espaciales y temporales (ej. Cd), debido a la interacción de diversos factores bióticos y abióticos, como el comportamiento natural de los elementos, procesos físicos (resuspensión, surgencias, aporte eólico, influencia de procesos hidrotermales) y composición y requerimientos de los grupos del zooplancton.
- h) Los Factores de enriquecimiento de junio del 2008, muestran valores mayores en zooplancton a los registrados para el sedimento en la misma zona del GC, sin embargo en estudios realizados en fitoplancton y macroalgas bénticas en otras regiones, los valores fueron bastante elevados, reflejando diferencias en el tipo de captación y en sus mecanismos de acumulación.
- i) Las concentraciones de ET en el zooplancton del GC (ej. Ba, Cu, Fe, Mn, Zn, Sr) fueron mayores en relación a valores en zooplancton de otras áreas. Sin embargo en esos trabajos las diferencias de especies analizadas muestran valores muy distintos aun siendo del mismo grupo taxonómico (incluso género), lo que indica que los componentes taxonómicos del zooplancton determinan en gran medida estas diferencias en concentraciones de elementos, factores de enriquecimiento y coeficientes de acumulación entre áreas. Esto es observado incluso en zonas con alguna influencia antropogénica (California, Mar Báltico, Océano Atlántico).
- j) El cadmio mostró mayores niveles de concentración en el zooplancton del GC con respecto a los reportados en otras áreas de estudio, ya sea para organismos del zooplancton u otros grupos taxonómicos. Incluso los valores fueron mayores o muy cercanos a los reportados para sitios contaminados (ej. Hong Kong). Estas diferencias se relacionan con la alta productividad del GC asociada a eventos de surgencia, lo que ha sido observado también en otras

zonas de surgencia (Costas de California) o con florecimientos algales (Baja California).

Tabla 30. Coeficientes de acumulación de elementos mayores y traza en el zooplancton del Golfo de California, en las diferentes campañas de muestreo.

Elemento	Agosto, 2003 min-max $\bar{x} \pm \text{desv. est}$	Junio, 2005 min-max $\bar{x} \pm \text{desv. est}$	Enero, 2007 min-max $\bar{x} \pm \text{desv. est}$	Febrero, 2007 min-max $\bar{x} \pm \text{desv. est}$	Julio, 2007 min-max $\bar{x} \pm \text{desv. est}$	Junio, 2008 min-max $\bar{x} \pm \text{desv. est}$
Ag		113091-1116356 517215±378032				83064-848284 295314±172433
As	967-11195 5295±3009	716-88302 8896±17920	351-4954 2234±1471	323-6635 2136±1640	719-6905 3168±1933	480-2844 1456±578
Au		609-47949 9071±12984				858-18584 4683±4022
B						1-34 15±8
Ba	2453-26490 8898±7052	1450-22884 11359±6280	1136-116459 12617±31282	1180-65075 17183±20186	1438-192861 15600±39846	70-51473 10821±13119
Be						56035-3632405 1015383±927970
Bi						217105-8912983 1758618±1641546
Br	3-7 5±1	4-57 22±13	3-26 12±7	5-49 18±9	8-50 24±11	
Ca	24-116 47±25	2-670 85±114	1-465 83±122	12-277 115±66	6-179 75±47	8-354 64±78
Cd				95-360 223±73		27-444 160±86
Ce		82073-8353333 978698±1734409	117756-2128733 697758±673191	107335-2795198 848044±693795	63848-5037857 766251±1023622	13817-4222184 973943±1163125

Co	2525504-20008724 6213275±3668528	475835-53523563 6197268±8706713	229073-25718502 3479165±6482689	432-5063125 179867±939202	193353-22327075 3716140±4748107	107550-2948154 1213591±715637
Cr	3383-275386 52575±56906	2406-1413360 113010±273956	3240-774429 134077±196453	1104-1081066 225277±323846	4856-1604289 215800±331327	3311-573289 134944±103288
Cs	108-4666 1042±899	470-45798 4307±8281	616-9863 2781±2816	113-3738 1208±889	341-9116 2888±2541	57-8572 2662±2485
Cu				5184-72270 20045±14800		26160-381168 81545±66555
Dy						8333-986186 276501±258658
Er						5920-555375 159446±142158
Eu	50555-1603453 373772±373893	39365-7615447 725955±1284864	72371-702883 329844±221405	8039-277708 52796±60359	87055-6854444 623063±1372060	53278-3013159 1015738±703398
Fe	1123-121265 17201±29668	1100-190000 36675±48623	1238-63757 23792±22120	225-146350 24171±36240	4073-398670 82424±89593	607-94319 28357±22331
Ga						1055-237269 71953±70376
Gd						9521-1234573 367941±353206
Ge						13751-161061 58746±30864
Hf	3324-91498 31444±23657	965-1078117 92307±187710	5830-337736 50457±88987	4456-150097 31891±30674	6527-251530 46981±54172	5033-57034 23561±14545
Hg						24821-125496 54366±18699

Ho						5733-539254 154126±139503
K						0.5-19 8±5
La	57338-398585 159120±86615	21117-3878434 435421±911151	31196-755545 256537±239863	12633-558213 138593±125996	20992-1970417 289169±400289	9841-1414963 369172±379013
Li						0.3-84 26±24
Lu	18857-1003308 204104±200776	112085-1826742 426339±322134	137884-681153 369446±149497	118648-795182 450387±193314	132230-869746 344861±163854	18382-377788 134300±95363
Mg						1-10 6±3
Mn				39-272 126±61		31-1645 413±343
Mo						40-1378 361±347
Na	3-16 10±3	0.02-9 1±2	0.1-4 1±1	0.1-4 1±1	0.4-9 2±2	0-6 2±2
Nb		37519-2403474 341735±470802			31012-1573897 307174±339214	2600-240388 75292±65760
Nd			38131-925900 285265±287382	6404-791744 172186±155962		16850-3028219 804628±804983
Ni		21298-1330958 226320±263950		90-8512 1215±2151	63569-1024642 329155±226802	4252-113220 29952±22998
P				58-445 202±109		

Pb				165043-26836907 2194643±6542867		231232-58915463 6018213±11748257
Pr						15938-3611788 982035±954834
Rb	56-312 143±84	19-2721 337±672	26-231 98±59	15-160 68±46	28-589 151±143	1-196 49±57
Re						27-26802 1545±5935
Sb	2413-38930 10409±8468	142-85546 7393±14194	338-20157 5457±6195	513-31147 5914±7128	890-419638 38977±88279	253-43763 4021±8191
Sc	10280-1993953 358477±427599	10381-3692625 776275±1074576	41522-2393995 629576±767163	1561-100655 20395±26225	41143-4840451 881354±995643	20723-4369184 1310516±1249460
Se	2208-31191 11637±7402	2145-632551 81525±106148	2160-45019 19090±10295	243-20158 3519±3630	4596-55467 19565±12032	1438-13418 2444±2343
Sm	44384-977834 326711±258383	37628-2242975 419892±497233	21615-1122468 347955±347167	3320-1176373 225626±235047	19833-1727673 375827±391644	13443-2513911 707361±698445
Sn						609604-71298913 8237375±13127578
Sr	13-1415 473±412	5-16677 1346±2986	30-1686 287±441	6-2471 270±458	94-13394 1959±3057	0.1-71 6±13
Ta		39080-647384 194977±156351			15790-129269 45265±33648	79-13085 2907±3390
Tb		76906-2219183 480874±479277	109400-885949 381359±261004	70910-1065126 297567±211545	76448-1263430 387597±305909	9630-1367984 382890±364838
Th	61616-5586020 931985±1164337	269472-6245626 1344156±1357830	175000-3139582 1025424±945808	72326-2729039 685508±556252	186560-9951278 1739102±2201253	19963-5797426 2028159±1815545

Ti						5389-381828 127810±112583
Tl						651-17729 6564±4829
Tm						7238-429953 125964±107429
U	380-3608 1662±926	105-7423 661±1190	136-664 403±133	198-3913 1222±1080	147-1970 694±459	61-907 237±140
V						720-28066 7914±6631
W						76-2494 1165±648
Y						4807-217376 78061±56737
Yb	111154-811327 454027±179545	104022-1834347 404812±312039	125478-653676 353197±149593	121477-630168 399584±150103	137523-881944 334591±167344	11767-472862 143014±113378
Zn	50670-6528626 610140±1211725	25079-2841923 799301±736201	391519-22760871 4318116±5665430	13348-420126 64601±86326	635125-23189062 4850343±5829133	171458-1179064 446093±226401
Zr	684473-19120501 3873721±4120491	359551-5076962 1521239±954760	72427-2215031 655875±591879	36542-2581857 714266±708801	108383-6333748 1319992±1313855	4078-378324 159999±96697

Tabla 31. Coeficientes de acumulación de elementos en diferentes grupos taxonómicos.

Polikarpov, 1964	Pu	Am	⁹⁰ Sr	¹⁴⁴ Ce	¹³⁷ Cs
Taxón					

Plancton	400-2600											
Diatomeas			17	2000	2							
Invertebrados	100-4100	286-1000										
Crustáceos	mar-20	1800										
Moluscos	oct-30	286-1000										
Macroalgas rojas	103-3000		8	3300	50							
Peces	0.17-1060	4.4-1550										
Macroalgas verdes	108-1570		1600	900	6							
Macroalgas cafés			40	350	30							
Sedimentos	227-220 000	25 000										

Stanek <i>et al.</i> 2005		Músculo de peces del Lago Znín Duze						
Especies de peces	Zn (mg kg ⁻¹)	CA	Cu (mg kg ⁻¹)	CA	Fe (mg kg ⁻¹)	CA	Mn (mg kg ⁻¹)	CA
<i>Abramis brama</i>	6.862±2.276	276	1.974±1.833	47	11.751±6.955	148	1.450±0.903	53
<i>Blicca bjoerkna</i>	7.148±1.274	287	2.571±1.353	61	10.710±5.834	135	2.047±0.421	75
<i>Rutilus rutilus</i> ,	11.720±2.030	471	0.940±0.391	22	10.050±7.566	126	2.056±0.493	75
<i>Perca fluviatilis</i>	7.188±2.035	289	2.532±1.877	60	7.895±2.309	99	1.206±0.324	44

Dvurechenskaya <i>et al.</i>		Zooplankton del Reservorio de Novosibirsk										
Área	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cd	As	Ba	Be	Hg	V	Cu
Julio												
Chingisy	30769	34400	208429	14600	2130000	51538	1243	6130	70000	215000	3253	8273
Ordynka	9153	3920	68846	3195	890000	24364	780	-	28000	185000	1383	2628
N.Kamenka	258451	215640	49568	3453	6030000	10667	4083	36625	40000	200000	1142	4985
Bystrovka	46727	1947	259875	15211	122807	4545	2650	5521	310000	80000	25000	8870
Berdsk's gulf	22549	2589	567143	6368	35500	5476	5733	4776	115000	31000	18636	10714
Septiembre												
Chingisy	4075	1250	4167	194	1533	313	229	1222	300	100	247	7867

Ordynka	5517	766	37625	115	7500	486	448	782	1350	100	695	12200
N.Kamenka	4688	341	4926	68	1075	343	214	827	200	550	283	40333
Bystrovka	1202	2208	868	2043	833	457	256	317	500	200	90	1355
Berdsk's gulf	2321	557	3481	125	2906	1438	154	256	4000	300	256	1361

Tabla 32. Concentración de elementos mayores y traza en diferentes regiones del océano mundial (los elementos mayores se presentan en porcentajes y los elementos traza en mg kg⁻¹).

		Na %	Ca %	Ba	Fe	Sr	Zn	Mn	Cd	Cu	Pb	Co
Martin & Knauer, 1973												
Zooplancton												
Tansecto de Hawaii a Bahía de Monterey												
	580	8.9	2.3	97	90	1600	50	4.5	2.3	6.6	1.5	
	581	7.3	2.2	40	870	2000	260	7	1.9	58.4	6.2	
	584	8	1.4	810	145	810	140	3.3	2.8	6.2	2.2	
	592	12	1.8	18	620	450	60	3	2	15	10	
Microplancton												
	59	10.3	1	51	1030	9300	285	7	1	12	25	
	60	12.3	1.6	52	2510	9650	725	24	1.3	12	37.5	
	62	12.4	1.3	66	4000	6800	4190	3.4	2	11.5	39	
Bahía de Monterey												
Eufausidos												
	18-may	9.5	8	4	144	154	80	2.2	2.8	9.8	3.5	
	22-jun	6.2	8	24	121	156	64	3.5	3.5	15.6		
Copépodos												
	18-may	8.6	0.7	21	282	100	170	3.3	2.8	23	5.2	
	22-jun	8.4	0.8	21	247	158	112	6.6	4.3	10	7	
Radiolarios												
	30-jul	12.7	1.06	127	269	153	63	5.2	8.2	6.5	5.4	
	06-ago	11.8	0.6	30	307	192	80	4.6	9.6	5	2.3	
NE de Océano Atlantico												
Ridout et al. (1989)												
Decapoda <i>Systellaspis debilis</i>					14		54	54	11	87		
Misidacea <i>Eucopia australis</i>					30		27.4	0.9	3.6	28		
<i>Gnathophausia zoea</i>					28.9		33.4	1.9	3.1	39.4		
Mar Baltico												
Brügman & Hennings, (1994)												
Kattegat					1270		308	40	3.6	22	12	0.62
Mar del Norte					1580		330	60	2.9	46	14	0.83
NE del Atlántico					1560		213	30	1.8	19	7.4	0.72
					540		308	10	6.1	12	7.4	0.62

Pempkowiack <i>et al.</i> (2006)								
3/99	3309	137	647	0.79	25.42	13.68	2.91	
8/99	70	208		2.53	4.06	7.09	□0.3	
12/99	175	185	1.5	1.01	3.73	3.36	□0.3	
25A/99	615	238	399	0.07	7.25	4.21	0.95	
Bahía Gdańsk	2263	806	647	1.28	20.51	12.94	2.53	
Baltico Sur	160	163	9	1.9	3.45	0.68	□0.3	
Bahia								
pomeranian	160	175	21.3	0.8	8.34	1.15	□0.3	

Phillips & Rainbow, 1988; 1989; Rainbow, 2002

Cirripedia	<i>Capitulum mitella</i> (Hung Hom, Hong Kong)*	19,890	10	545				
	<i>Capitulum mitella</i> (Cape D'Aguilar, Hong Kong)	2852	5.2	29.2				
	<i>Semibalanus balanoides</i> (Dulas Bay, Wales)*	50,280		3750				
	<i>Semibalanus balanoides</i> (Sur de Inglaterra)*	27,837	28	232				
Amphipoda	<i>Orchestia gammarellus</i> (Restrouquet Creek, Inglaterra)*	392		139				
	<i>Orchestia gammarellus</i> (Millport, Escocia)	188	1.6	77.5				
	<i>Talorchestia quoyama</i> (St Kilda, Dunedin, Nueva Zelanda)	481	17.2	31.9				
	<i>Talorchestia quoyama</i> (Sandfly Bay, Dunedin)	133	8.9	15.6				

Golfo de California (Región minera de Santa Rosalía)

Rodriguez-Figueroa, 2009

Algas cafés *Padina durvillaei*

Segmento norte								
1 agosto, 2004	2,900	45	330	4.6	4.5	11	6.16	
1 junio, 2005	2,200	16	30	9	3.4	8.2	2.42	
3 agosto, 2004	3,300	12	285	2.2	4	6.6	2.2	
3 junio, 2005	6,100	11	20	3.8	2	3.3	3.8	
Segmento central								
6 mayo, 2004	40	8	20	4.2	2	1.5	2.42	
6 agosto, 2004	1,100	131	860	3.5	115	30	7.4	
8 junio, 2005		75	700	3.8	106	18.6	7.9	
Segmento sur								
11 mayo, 2004	880	81	230	4.4	66	8.9	3.5	

11 agosto, 2004	160	70	573	2.2	61	7.8	5.7
13 agosto, 2004	2000	168	745	3.5	113	9.8	10.5
13 junio, 2005	5500	94	755	2.7	99.5	7.3	33
* Área contaminada							

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alekseev A.V., E. N. Shumilin, E. Nava-Sánchez & D. Yu.Sapozhnikov. 1998. Anomalous europium behaviour in the coastal bottom sediments of the southwestern Gulf of California. *Dokl - Earth Sci Sect*, 361a: 876-878.
- Alibo, D. S. & Y. Nozaki. 1999. Rare earth elements in seawater: particle association, shale-normalization, and Ce oxidation. *Geochim Cosmochim Acta*, 63(3-4):363-372.
- Álvarez, L. G & S. E. Jones. 2002. Factors influencing suspended sediment flux in the Upper Gulf of California. *Est Coast Shelf Sci*, 54:747-759.
- Álvarez-Borrego, S. 2008. Oceanografía de la región de las grandes islas, 45-65. En: Danemann, G. D. & E. Ezcurra. (Eds.) *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2007*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (1) 740 p.
- Álvarez-Borrego, S. M. & J. R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California, 555-567. En: Dauphin, J. P. & B. E. Simoneit (Eds.) *The Gulf and Peninsular Province of the California*. Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol., (47).
- Anikiev V. V., E. N. Shumilin, E. G. Starodubtsev, A. P. Kassatkina, A.A. Lobanov & N. A. Goryachev. 1992. Estimation of plankton role in migration of trace elements in marine estuaries, 325-331. En: Ilyichev V.I. & Anikiev V.V. (Eds.) *Oceanic and anthropogenic controls of the life in the Pacific Oceans*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam.
- Anonimo, 1971. Radioactivity in the marine environment. Nat. Acad. Sci. USA, New York. 272 p.
- Anónimo. 2006. *GEOTRACES Science Plan*. Scientific Committee on Oceanic Research. Baltimore, Maryland, 79 p.
- Argote, M.L., A. Amador, M. F. Lavín & J. Hunter. 1995. Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California. *J Geophys Res*, 100(C8):16103-16118, doi:10.1029/95JC01500.

- Aspila K.I., H. Agemian & A. S. Chau. 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, 101:187-197.
- Baba, J., C. D. Peterson & J. H. Schrader. 1991. Fine-grained terrigenous sediment supply and dispersal in the Gulf of California during last century. En: Dauphin, J. P. & B. R. T. Simoneit (Eds.) *The Gulf and Peninsular Province of the California*. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 47, 589-602 p.
- Badan-Dangon, A., C. J. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: Observations of surface thermal patterns. *Oceanol Acta*, 8(1):13-22.
- Barragán, M. R., P. Birkle, E. Portugal M., V. M. Arellano G. & J. Álvarez R. 2001. Geochemical survey of medium temperature geothermal resources from the Bala California Peninsula and Sonora, Mexico. *J Volcanol Geotherm Res*, 100:101-119.
- Baumgartner, T.R., V. Ferreira-Bartrina & P. Moreno-Hentz. 1991. Varve formation in the central Gulf of California: a reconsideration of the origin of the dark laminae from the 20th century varve record. En: Dauphin, J.P. & B. Simoneit (Eds.) *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 47, 617-635 p.
- Beier, E. & P. Ripa. 1999. Seasonal gyres in the Northern Gulf of California. *J Phys Oceanogr*, 29(2):302-311.
- Beier-Martin, E. J. & P. Ripa-Alsina. 1999. Seasonal gyres in the Northern Gulf of California. *J Phys Oceanogr*, 29(2): 305-311.
- Boltovskoy, D. (Ed.). 1981. *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. Publicación Especial del INIDEP, Mar del Plata, Argentina. 936 p.
- Bordoni, S., P. E. Ciesielski, R. H. Jonson & B. D. McNoldy. 2004: The low-level circulation of the North American Monsoon as revealed by QuikSCAT. *Geophys Res Lett*, 31:L10109, doi:10.1029/2004GL020009
- Bowen, H. J. M. 1966. *Trace elements in biochemistry*. Academic Press, New York, 240 p.

- Brass, G. W. 1980. Trace elements in acantharian skeletons. *Limnol Oceanogr*, 25(1):146-149.
- Brinton E., A. Fleminger & D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *Calif Coop Ocean Fish Invest Rep*, 27:228-266.
- Brito-Castillo, L. E. R. Vivoni, D. J. Gochis, A. Filonov, I. Tereshchenko & C. Monzon. 2010. An anomaly in the occurrence of the month of maximum precipitation distribution in northwest Mexico. *J Arid Environ*, 74(5):531-539.
- Brügman, L. & U. Henning. 1994. Metals in zooplankton from Baltic Sea, 1980-84. *Chem Ecol*, 9:87-103.
- Bruland, K. W., J. R. Donat & D. A. Hutchins. 1991. Interactive influences of bioactive trace metals on biological production in oceanic waters. *Limnol Oceanogr*, 36:1555-77.
- Bruland, K. W., G. A. Knauer & J. H. Martin. 1978. Cadmium in northeast Pacific waters. *Limnol Oceanogr*, 23(4):618-625.
- Bruland, K. W. & M. C. Lohan. 2003. Controls of trace metals in sea water, 23- 47. En: *The Oceans on Marine Geochemistry*. Treatise Geochemistry, H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.) Vol. 6. Elsevier-Pergamon, Oxford, 625 p.
- Bruland, K. W., E. L. Rue & G. J. Smith. 2001. Iron and macronutrients in California coastal upwelling regimes: Implications for diatom blooms. *Limnol Oceanogr*, 46(7):1661-1674.
- Brumsack, H. J. 1989. Geochemistry of recent TOC-rich sediments from the Gulf of California and the Black Sea. *Geol Rundsch*, 78:851-882.
- Burd, B. J. & R. E. Thompson. 1994. Hydrothermal venting at Endeavour Ridge: effect on zooplankton biomass throughout the water column. *Deep-Sea Res Part I*, 41(9):1407-1423.
- Byrne J. V. & L. P. Emery. 1960. Sediments of the Gulf of California, *Geol Soc Am Bull*, 71:983-1010. doi:10.1130/0016-7606(1960)71[983:SOTGOC]2.0.CO;2
- Calvert, S. E. 1966. Accumulation of diatomaceous silica in the sediments of the Gulf of California. *Geol Soc Am Bull*, 77: 569-596.

- Campbell, A. C., J. M. Gieskes, J. E. Lupton & P. F. Lonsdale. 1988. Manganese geochemistry in the Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim Cosmochim Acta*, 52: 345-357.
- Canet C., R. M. Prol-Ledesma, P. R. Dando, V. Vázquez-Figueroa, E. Shumilin, E. Birosta, A. Sánchez, C. J. Robinson, A. Camprubí & E. Tauler. 2010. Discovery of massive seafloor gas seepage along the Wagner Fault, northern Gulf of California. *Sediment Geol*, 228(3-4):292-303.
- Carrillo L., M. F. Lavín & E. Palacios-Hernández. 2002. Seasonal evolution of the geostrophic circulation in the northern Gulf of California. *Est Coast Shelf Sci.*, 54:157-173.
- Carriquiry, J. D., A. Sánchez A. & V. Camacho-Ibar. 2001. Sedimentation in the Northern Gulf of California after the elimination of Colorado River discharge. *Sediment Geol*, 144:37-62.
- Chamberlain, W. S., C. R. Booth, D. A. Kiefer, J. H. Morrow & R. C. Murphy. 1990. Evidence for a simple relationship between natural fluorescence, photosynthesis and chlorophyll in the sea. *Deep-Sea Res Part A*, 37:951-973.
- Chester, R. 2003. *Marine Geochemistry*. Blackwell Science Ltd, Oxford, 506 p.
- Collier, R. & J. Edmond. 1984. The trace element geochemistry of marine biogenic particulate matter. *Progr Oceanogr*, 13:113-199.
- Cortés-Lara, M. C., S. Álvarez-Borrego & A. D. Giles-Guzmán. 1999. Efecto de la *mezcla* vertical sobre la distribución de nutrientes y fitoplancton en dos regiones del Golfo de California, en verano. *Rev Soc Mexic Hist Nat*, 49: 1-14.
- Daesslé L.W., S. E. Ramos, J. D. Carriquiry & V. F. Camacho-Ibar. 2002. Clay dispersal and the geochemistry of manganese in the Northern Gulf of California. *Cont Shelf Res*. 22: 1311-1323.
- Daesslé, W. L., V. F. Camacho-Ibar, J. D. Carriquiry, M. C. Ortiz-Hernández. 2004. The geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent sediments from the Northern Gulf of California. *Cont Shelf Res*, 24: 2093-2106.
- Dean, W., C. Pride & R. Thunell. 2004. Geochemical cycles in sediments deposited on the slopes of the Guaymas and Carmen Basis of The Gulf of California over the last 180 years. *Quaternary Sci Rev.*, 23: 1817-1833.

- Deckker, P. 2004. On celestite-secreting Acantharian and their effect on seawater strontium to calcium ratios. *Hydrobiologia*, 517(1-3): 1-13
- 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., J. V. Macías-Zamora, J. A. Segovia-Zavala & S. Torres-Valdés. 2001. Cadmium enrichment in the Gulf of California. *Mar Chem*, 75:109-122.
- Demina, L. L., S. V. Galkin & E. N. Shumilin. 2009. Bioaccumulation of some trace elements in the biota of the hydrothermal fields of the Guaymas Basin (Gulf of California). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1):31-45.
- Díaz, C. & M. L. Fernández-Puelles. 1988. Concentración de metales pesados en zooplankton de Canarias. *Bol Inst Esp Oceanogr*, 5(1129):57-62.
- Dick, G. J., Y. E. Lee & B. M. Tebo. 2006. Manganese (II)-Oxidizing *Bacillus* Spores in Guaymas Basin Hydrothermal Sediments and Plumes. *Appl Environ Microbiol*, 72(5):3184-3190.
- Ducklow H. W., D. K Steinberg, D. K. & K. O. Buesseler. 2001. Upper Ocean Carbon Export and the Biological Pump. *Oceanography*. 14(4):50-58.
- Dufrene, M. & P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.*, 67:345-366.
- Dvurechenskaya, S. Y., N. I. Yermolaeva & G. N. Anoshin. Heavy metals in water and zooplankton of novosibirsk reservoir.
<http://www.cprm.gov.br/pgagem/Manuscripts/dvurechenskayas.htm>
- Dziak, R. P., D. R. Bohnenstiehl, J. P. Cowen, E. T. Baker, K. H. Rubin, J. H. Haxel & M. J. Fowler. 2007. Rapid dike emplacement leads to eruptions and hydrothermal plume release during seafloor spreading events. *Geology*, 35(7):579-582.
- Field, J. F., Clarke, K. R. & R. M. Warwick. 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog Ser*, 8:37-52.

- García de León, L. A. 1988. *Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales*. Instituto de Geografía, UNAM, 90 p.
- García-Cordova, J., M. Peguero, L. Sánchez, A. I. Ocampo T., A. Amador. B., C. Cabrera R., M. F. Lavín, V. Godínez S., A. R. Padilla P., M. Rentería C. & R. Cervantes D. 2007. *Datos hidrográficos en el Golfo de California durante enero-febrero de 2007*. Campaña GOLCA 0702. B/O Francisco de Ulloa. Informe Técnico. Departamento de Oceanografía Física, CICESE 115 p.
- Gaxiola-Castro, G., S. Álvarez-Borrego, M. Lavín, A. Zirino & S. Nájera-Martínez. 1999. Spatial variability of the photosynthetic parameters and biomass of the Gulf of California phytoplankton. *J Plankton Res*, 21: 231-245.
- German, C. R & K. L. Von Dam. 2003. Hydrothermal processes, 181- 222. En: *The Oceans on Marine Geochemistry. Treatise Geochemistry*. Holland, H. D. & K. K. Turekian (Eds.) Vol. 6. Elsevier-Pergamon, Oxford, 625 p.
- Gieskes J. M., T. Shaw, T. Brown, A. Sturz & A. C. Campbell. 1991. Interstitial water and hydrothermal water chemistry, guaymas basin, Gulf of California, 511-553. En: Dauphin J.P. & B. R. Simoneit. (Eds.) *The Gulf and Peninsular Province of the California*. Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol., 47.
- Gómez-Gutiérrez, J., N. Tremblay, S. Martínez-Gómez, C. J. Robinson, J. Del Ángel-Rodríguez, C. Rodríguez-Jaramillo & C. Zavala-Hernández. 2010. Biology of the subtropical sac-spawning euphausiid *Nyctiphanes simplex* in the northwestern seas of Mexico: Vertical and horizontal distribution patterns and seasonal variability of brood size. *Deep-Sea Res Part II: Topical studies in Oceanography*, 57(7-8):606-615.
- Godínez-Sandoval, V. M., L. Sánchez-Velasco, M. Peguero-Icaza, M. F. Lavín, A. I. Ocampo-Torres, A. Danell-Jiménez, C. E. Cabrera-Ramos, R. Cervantes-Duarte & S. Futema-Jiménez. 2008. *Hidrografía, nutrientes y clorofila-a en un giro anticiclónico en el Golfo de California*. Departamento de Oceanografía Física, CICESE, 69 p.
- Gromov, V. V. & V. I. Spitsyn. 1975. *Artificial radionuclides in the marine environment*. Moscow, Atomizdat.

- Hernández-Ayón, M., S. Galindo-Bect, B. P. Flores-Báez & S. Álvarez-Borrego. 1993. Nutrient concentrations are high in the turbid waters of the Colorado River delta. *Est Coast Shelf Sci*, 37: 593-602.
- Hernández-Trujillo, S. & A. Esquivel-Herrera. 1989. Los copépodos y quetognatos del Golfo de California en la primavera de 1985. *Invest Mar*, 4(2):151-164.
- Ho, T. Y., A. Quigg, Z. V. Finkel, A. J. Milligan, K. Wyman, P. G. Falkowsky & F. M. M. Morel. 2003. The elemental composition of some marine phytoplankton. *J Phycol*, 39:1145-1159.
- Hsu, S. C., F. J. Lin, W. L. Jeng & T. Y. Tang. 2003. Spatial distribution of cadmium over a cyclonic eddy in the southern East China Sea. *J Mar Syst*, 39:153-166.
- Javed, M. 2006. Studies of metal contamination levels in plankton and their role as biological indicator of water pollution in the River Ravi. *Pak J Biol Sci*, 9(2):313-317.
- Jeffrey, S. W. & G. F. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 167:191-194.
- Jiménez, A., S. G. Marinone, A. Parés-Sierra. 2005. Effect of the spatial and temporal variability of winds on the circulation in the Gulf of California. *Cienc Mar*, 31:357-368.
- Jiménez-Pérez, L. C. & J. R. Lara-Lara. 1988. Zooplankton biomass and copepod community structure in the Gulf of California during the 1982-1983 El Niño event. *Calif Coop Ocean Fish Invest Rep*, 29:122-128.
- Kiefer, D. A., W. S. Chamberlain & C. R. Booth. 1989. Natural fluorescence of chlorophyll a; Relationship to photosynthesis and chlorophyll concentration in the western South Pacific gyre. *Limnol Oceanogr*, 34(5):868-881.
- Kramer, D., M. J. Kalin, E. G. Stevens, J. R. Thraikill & J. R. Zweifel. 1972. *Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current region*. NOAA Tech Rep, NMFSC, 370 p.
- Lares, M. L. & S. G. Marinone. 2009. Comparison of cadmium and phosphate concentrations during red tide versus no red tide condition. *J Coast Res Spec*

- Issue*, 56:832-835. Proceedings of the 10th international Coastal Symposium. Lisbon, Portugal.
- Lavaniegos-Espejo, B. & J. R. Lara-Lara. 1990. Zooplankton of the Gulf of California after the 1982-1983 El Niño event: Biomass distribution and abundance. *Pac Sci*, 44:297-310.
- Lavin, M. F. & S. G. Marinone. 2003, An overviwe of the physical oceanography of the Gulf of California, 173-204. En: Velasco, O., J. Sheimbaum & J. J. Ochoa (Eds.) *Non-linean processes in the geophysical fluid dynamics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda, 204 p.
- Lavín, M. F., E. Beier & A. Badán. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual, 141-171. En: Lavín, M.F. (Ed.) *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 3, 272 p.
- Lavín, M. F., V. M. Godínez & L. G. Álvarez. 1998. Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California. *Est Coast Shelf Sci*, 47(6):769-795.
- Lavin-Peregrina, M. F. & S. Organista-Sandoval. 1988. Surface heat flux in the northern Gulf of California. *J Geophys Res*, 93, C11 p.
- Leal-Acosta, M. L., N. Mirlean, E. Choumiline, D. Sapozhnikov & V. Gordeev. 2010. Arsenic and mercury contamination of sediments of geothermal springs, mangrove lagoon and the Santispac bight, Bahía Concepción, Baja California peninsula. *Bull. Environmen. Contamin. Toxicol.*, 85(6):609-613.
- Libes, S. M. 2009. *Introduction to Marine Biogeochemistry*. Academic Press, United States, 909 p.
- Lisitsyn, A. P. 1996. *Oceanic sedimentation*. AGU, Washington, 357 p.
- López, M., J. Candela & M. L. Argote. 2006. Why does the Ballenas Channel have the coldest SST in the Gulf of California? *Geophys Res Lett*, 33: L11603, 5 p.

- López-González, N. 2009. *Estudio de marcadores ambientales sedimentarios y geoquímicos en los sedimentos del estuario de los Ríos Tinto y Odiel*. Tesis de doctorado. Universidad de Huelva, 152 p.
- Loring, D. H. 1991. Normalisation of heavy metal data from estuaries and coastal sediments. *ICES J. Mar Sci*, 48:101-115.
- Marsden, I. D. & P. S. Rainbow. 2004. Does the accumulation of trace metals in crustaceans affect their ecology — the amphipod example? *J Exp Mar Biol Ecol*, 300:343-71.
- Martin, J. H. & G. A. Knauer. 1973. The elemental composition of plankton. *Geochim Cosmochim Acta*, 37:1639-1653.
- McCune, B. & M. J. Mefford. 1999. *Multivariate analysis of ecological data*. MjM Software. Gleneden Beach. 300 p.
- McCune, B., Grace, J. & D. Urban. 2002. *Analysis of ecological communities. MjM software designs*. Gleneden Beach, OR. 304 p.
- Miller, C. B. 2004. *Biological Oceanography*. Blackwell publishing, Oxford, 392 p.
- Millero, F. 1996. *Chemical Oceanography*. CRC Press, Boca Raton, FL, 469 p.
- Muhling, B. A., L. E. Beckley, J. A. Koslow & A. F. Pearce. 2007. Larval fish assemblages and water mass structure off the oligotrophic south-western Australian coast. *Fish Oceanogr*, 17(1):16-31.
- Nameroff, T. J., L. S. Balistrieri & J. W. Murray. 2002. Suboxic trace metal geochemistry in the eastern tropical North Pacific. *Geochim Cosmochim Acta*, 66(7):1139-1158.
- Niemitz, J. W. 1977. *Tectonics and geochemical exploration for metal deposits in the southern Gulf of California*. Tesis de doctorado. University of Southern California, San Diego, 354 p.
- Ortiz-Figueroa, M. 2009. Agitación por oleaje en el puerto de Ensenada, Baja California, México: medidas de atenuación. *GEOS*. 29:2.

- Paden, C. A., M. R. Abbott & C. C. Winant. 1991. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California; 1. Sea surface temperature variability. *J. Geophys. Res.* 96(C8):337-359.
- Páez-Osuna, F. & J. I. Osuna-López. 1990. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the Lower Gulf of California. *An Inst Cienc Mar Limnol*, 17:287-298.
- Palacios-Fest, M. R., L. E. Park, J. González-Porta, M. R. Palacios-Fest & G. R. Dix. 2003. Química de conchas de ostrácodos: una alternativa para medir la contaminación por metales en sistemas acuáticos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.*, 20(2):139-153.
- Palomares-García, R., E. Suarez-Morales & S. Hernández-Trujillo. 1998. *Catálogo de los copépodos (crustacea) pelágicos del Pacífico Mexicano*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), 351 p.
- Pempkowiak, J., J. Walkusz-Miotk, J. Beldowski & W. Walkusz. 2006. Heavy metals in zooplankton from the Southern Baltic. *Chemosphere*, 62:697-1708.
- Phillips, D. J. H. & P. S. Rainbow. 1988. Barnacles and mussels as biomonitors of trace elements: a comparative study. *Mar Ecol Prog Ser*, 49:83-93.
- Pohl, C., A. Löffler & U. Hennings. 2004. A sediment trap flux study for trace metals under seasonal aspects in the stratified Baltic Sea (Gotland Basin; 57° 19.20'N; 20° 03.00 E). *Mar Chem*, 84:143-160.
- Polikarpov, G. G. 1964. Radioecology of marine organisms: accumulation and biological effects of radioactive substances. Shvedov, V. P. (Ed.) Atomizdat. Moscow, 295 p. (Russian).
- Prol-Ledezma, 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. *J Volcanol Geotherm Res*, 137:311-328.
- Purkerson, D. G., M. A. Doblin, S. M. Bollens, S. N. Luoma & G. A. Cutter. 2003. Selenium in San Francisco Bay zooplankton: Potential effects of hydrodynamics and food web interactions. *Estuaries*, 26(4A):956-969.

- Rainbow, P. S. 2002. Trace metal concentrations in aquatic in- vertebrates: why and so what? *Environ Pollut*, 120:497-507.
- Rainbow, P. S. 2007. Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. *Environ Int*, 33:576-582.
- Ridout, P. S., P. S. Rainbow, H. S. J. Roe & H. R. Jones. 1989. Concentrations of V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, As, and Cd in mesopelagic crustaceans from the North East Atlantic Ocean. *Mar Biol*, 100:465-471.
- Rodríguez-Castañeda, A., I. Sánchez-Rodríguez, E. Shumilin, D. Sapozhnikov. 2006. Element concentrations in some species of seaweeds from La Paz Bay and La Paz Lagoon, south-western Baja California, Mexico. *J Appl Phycol*, 18:399-408.
- Rodríguez-Figueroa, G. M. 2010. *Niveles de contaminación por metales pesados en la zona costera de Santa Rosalía: Sedimentos & macroalgas*. Tesis de doctorado. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, 178 p.
- Rodríguez-Figueroa, G. M., E. Shumilin & I. Sánchez. Heavy metal pollution monitoring using the brown seaweed. 2009. *J Appl Phycol*, 21:19-26 DOI 10.1007/s10811-008-9346-0.
- Sakamoto, N., N. Kano & H. Imaizumi. 2008. Determination of rare earth elements, thorium and uranium in seaweed samples on the coast in Niigata Prefecture by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Appl Geochem*, 23(10):2955-2960.
- Sánchez-Velasco, L., M. F. Lavín, M. Peguero-Icaza, C. A. León-Chávez, F. Contreras-Catala, S. G. Marinone, I. V. Gutiérrez-Palacios & V. M. Godínez. 2009. Seasonal changes in larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). *Cont Shelf Res*, 29(14):1697-1710.
- Segovia-Zavala, J. A., F. Delgadillo-Hinojosa, M. L. Lares, F. Segovia-Zavala, F. Delgadillo-Hinojosa, A. Tovar-Sánchez & S. Sañudo-Wilhelmy. 2010. Biogeochemistry of iron in the large islands region of the Gulf of California *Deep-Sea Res Part I*, 57:53-63

- Segovia-Zavala, J. A., M. L. Lares, F. Delgadillo-Hinojosa, A. Tovar-Sánchez & S. A. Sañudo-Wilhelmy. 2009. Atmospheric input and concentration of dissolved iron in the surface layer of the Gulf of California. *Cienc Mar*, 35(1):75-90.
- Shumilin, E. N., N. A. Goryachev, A. P. Kassatkina, S. P. Zakharkov & T.Y. Orlova. 1994. Trace elements in the seston of the sea part of the Razdolnaya River estuary during the red tide. *Russ J Mar Biol*, 20:217-220.
- Shumilin, E. N., S. Kalmykov, D. Sapozhnikov, E. Nava-Sánchez, D. Gorsline, L. Godínez-Orta, Y. Sapozhnikov, O. Holguin-Quiñones & A. Rodríguez Castañeda. 2000. Major and trace element accumulation in coastal sediments along south-eastern Baja California studied by instrumental neutron activation analysis and ^{210}Pb dating. *J Radioanal Nucl Chem Artic*, 246:533-541.
- Shumilin, E. N., V. V. Anikiev, N. A. Goryachev, A. P. Kassatkina & S. M. Fazlullin. 1993. Estimation of the role of biogeochemical barriers in trace metal migrations in the river-sea system. *Mar Chem*, 43:217-224.
- Shumilin, E., G. Rodríguez-Figueroa & D. Sapozhnikov. 2005. Lanthanide contamination and strong europium positive anomaly in the surface sediments of the Santa Rosalía copper mining region, Baja California peninsula, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 75:308-315.
- Shumilin, E., J. D. Carriquiry, V. F. Camacho-Ibar, D. Sapozhnikov, S. Kalmykov, A. Sánchez, S. Aguiñiga & Y. Sapozhnikov. 2002. Spatial and historical variation of chemical element distribution of the sediments of the Colorado River Delta and Upper Gulf of California. *Mar Chem*, 79:113-131.
- Shumilin, Y. E. N. & V. N. Tikhomirov. 1982. Investigation of the influence of plankton on the state of the radionuclides ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{144}Ce , ^{95}Zr & ^{95}Nb in sea water by the method of extraction. *Sov Radiochem*, 24:250-251.
- Siordia-Cermeño, P. & L. Sánchez-Velasco. 2004. Distribución espacial de crustáceos del zooplancton en el Golfo de California (marzo 1998), 117-125. En: Hendrix, M. E. (Ed.) *Contributions to the study of east Pacific Crustaceans 3. Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 245 p.

- Smith, D. L. 1977. A guide marine coastal plankton & marine invertebrate larvae. Kendall Hunt Publ. Co., Iowa. 161 p.
- Smith, P. E. & S. L. Richardson. 1979 *Técnicas modelo para prospección de huevos y larvas de peces pelágicos*. FAO. Doc. Tec. Pesca. E. U. A. 175 p.
- Stanek, M, B. Janicki, B. Kupcewicz. 2005. Content of Selected Heavy Metals in the Organs of Fish from Żnin Duże Lake. *Folia Biol*, 53(4):115-119.
- Strickland, J. D. H. & T. R. Parson. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries research board of Canada. Bulletin 167.
- Sutherland, J. H., C. A. Tolosa, F. M. Tack & M. G. Verloo. 2000. Characterization of selected element concentrations and enrichment ratios in background and anthropogenically impacted roadside areas. *Arch Environ Contam Toxicol*, 38:428-438.
- Sydeman, W. J. & W. M. Jarman. 1998. Trace metals in seabird, steller sea lion, and forage fish and zooplankton from central California. *Mar Pollut Bull*, 36: 828-832.
- Tagliabue, A., L. Bopp, J. C. Dutay, A. R. Bowie, F. Chever, P. Jean-Baptiste, E. Bucciarelli, D. Lannuzel, T. Remenyi, G. Sarthou, O. Aumont, M. Gehlen & C. Jeande. 2010. Hydrothermal contribution to the oceanic dissolved iron inventory. *Nature*, 3:252-256 p.
- Tambiev, S. B. & L. L. Demina. 1992. Biogeochemistry and fluxes of manganese and some other metals in regions of hydrothermal activities (Axial Mountain, Juan de Fuca Ridge and Guaymas Basin, Gulf of California). *Deep-Sea Res Part A*, 39:687-703.
- Taylor, S. R. & S. M. McLennan. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 30 p.
- Toner, B. M., S. C. Fakra, S. J. Manganini, C. M. Santelli, M. A. Marcus, J. W. Moffett, O. Rouxel, C. R. German & K. J. Edwards. 2009. Preservation of iron (II) by carbon-rich matrices in a hydrothermal plume. *Nature*, doi:10.1038/ngeo433.
- Trasviña, A., M. Ortiz-Figueroa, H. Herrera, M. A. Cosío & E. González. 2003. 'Santa Ana' winds and upwelling filaments off Northern Baja California. *Dyn Atmos Oceans*, 37:113-129.

- Tremblay, N., J. Gómez-Gutiérrez, T. Zenteno-Savín, C. J. Robinson & L. Sánchez-Velasco. 2010. Role of oxidative stress in seasonal and daily vertical migration of three krill species in the Gulf of California. *Limnol Oceanogr*, 55(6):2570-2584.
- Turekian, K. K. 1968. *Oceans*. Prentice-Hall, 149 p.
- Twining, B. S. & N. S. Fisher. 2004. Trophic transfer metals from protozoa to mesozoplankton. *Limnol Oceanogr*, 49(1):28-39.
- Vázquez-Figueroa, V., C. Canet, R. M. Prol-Ledesma, A. Sánchez, P. Dando, A. Camprubí, C. Robinson, G. Hiriart & B. Le. 2009. Batimetría y características hidrográficas (Mayo, 2007) en las Cuencas de Consag y Wagner, Norte del Golfo de California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61(1):119-127.
- Venrick, E. & T. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CALCOFI surveys. *Calif Coop Ocean Fish Invest Rep*, 25:74-79.
- Von-Damm, K. L., J. M. Edmond, C. I. Measures & B. Grant. 1985. Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim Cosmochim Acta*, 49:2197-2220.
- Wang, W. X. & L. Guo. 2000. Bioavailability of colloid-bound Cd, Cr, and Zn to marine plankton. *Mar Ecol Prog Ser*, 202:41-49
- Wedepohl, K. 1995. The composition of the continental crust. *Geochim Cosmochim Acta*, 59:1217-1232.
- Wollast, R. 1981. Interactions between major biogeochemical cycles in marine ecosystems, 125-142. Likens, G. E. (Ed.) *Some perspectives of the major biogeochemical cycles*, Cap. 8.
- Yamamoto, Y., H. Katsuhisa & R. Tatsukawa. 1987. Heavy metal accumulation in antarctic krill *Euphausia superba*. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 1:198-204.
- Zhang, J. & T. Ishii. 2000. Rare earth and trace element biogeochemistry of white clam in off Hatsushima cold seepage. *Deep-Sea Res Part II*, 16:155-161.
- Ziveri, P. M. & R. C. Thunell. 2000. Coccolithophore export production in Guaymas basin, Gulf of California: response to climate forcing. *Deep-Sea Res Part II*, 47:2073-2100.

ANEXO 1. Concentraciones de elementos mayores y traza en zooplancton del GC de la campaña de agosto del 2003. Los elementos mayores se muestran en porcentaje y los ET en mg kg⁻¹.

Estacion	Na %	Ca %	Fe	Sr	Ba	Zn	Cr	Co	Sc	As	Sb	Se	Br	La	Sm	Eu	Yb	Lu	Rb	Cs	U	Th	Zr	Hf
1	8	3		430	71	160	3	8	0.01		0.84	1.33	274	0.75	0.23	0.01	0.52	0.02	8.86	0.36	9.11	0.32	45	0.36
2	4	4	9100	9915	365	2570	26	13	0.56	15	1.46	2.45	294	0.34	0.04	0.01	0.35			0.59	4.64	0.75	525	
3	11	1	1800	3950	130	140	6	12	0.66		1.87	0.6	341	0.53	0.59	0.22	0.56	0.05	31.60	0.28	9.34	0.67	46	0.43
4	10	1	2200	5270	49	310	21	3	0.37	12	0.96	0.98	397	0.68		0.01	0.27	0.04	6.79	0.19	6.84	0.10		0.30
5	6	3	170	820	325	110	3	4	0.01	14	0.5	0.3	333	0.75	0.37	0.01	0.38	0.02			1.18	0.15	80	0.45
6	14	1	2500	2640	93	190	11	4	0.23	15	1.06	3.07	423	0.3	0.21	0.17	0.64	0.03		0.34	2.19	0.12		0.10
7	10	2	4100	5230	225	260	16	7	0.66	15	0.65	0.64	389	0.24	0.15	0.09	0.34	0.06	22.00	0.24	3.92	0.98	79	0.12
8	12	1	320	4410	34	60	1	24	0.09	13	1.03	2.22	310	0.77	0.32	0.12	0.41	0.01			10.60	0.53		0.28
9	9	2	390	1150	220	550	4	7	0.01	7	1.72	0.78	277	0.37	0.24	0.02	0.37	0.09	6.87	0.30	6.22	0.17	125	0.33
10	9	1	640	15450	94	110	7	4	0.15	10	0.86	1	312	0.87	0.06	0.10	0.47	0.04	13.20	0.40	3.11	0.04		0.09
11	14	1	400	3450	68	100	1	7	0.20	20	0.38	1.78	315	0.32	0.32	0.06	0.36	0.01		0.28	1.84	0.06		0.52
12	8	2	570	8800	160	100	30	7	1.36	10	2.27	2.18	328	1.68	0.03	0.02	0.71	0.04		1.38	1.49	2.26	24	0.16
13	8	2	200	335	40	80	6	7	0.18	5	1.64	2.21	345	0.3		0.01	0.37	0.01	8.20	0.03	2.28	0.27	260	0.10
14	13	1	480	3535	79	110	2	3	0.03	3	1.27	0.35	315	0.36		0.02	0.20	0.03	10.60		3.68	0.06	105	
15	15	1	1900	9100	73	200	17	7	0.10	4	0.95	4.23	381	0.55	0.15	0.06	0.56	0.00		0.28	11.30	0.07	32	0.66
16	14	2	1600	11355	47	100	13	5	0.08	5	2.59	1.03	327	0.52	0.12	0.08	0.34	0.04		0.17	5.28	0.14	47	0.18
17	14	1	1400	6280	49	180	6	5	0.11	8	5.76	1.07	414	1.47	0.08	0.01	0.50	0.16		0.31	4.87		120	
18	16	2	1700	5840	170	220	17	6	0.18		0.43	1.17	400	0.56	0.08	0.05	0.20	0.01	27.50	0.56	5.31	0.27	140	0.11
19	14	1	450	1220	51	200	11	4	0.13	12	0.75	0.87	283	0.84	0.05	0.01	0.55	0.04		0.13	3.44	0.03	19	
20	11	3	1400	4135	58	50	59	14	0.43		0.36	3.02	350	0.69	0.23	0.09	0.40	0.04		0.31	7.44		155	0.35
21	5	1	420	315	55	200	7	10	0.21	3	1.49	3.74	416	0.39	0.47	0.05	0.46	0.02	39.20	0.36	4.94	0.34	60	0.33
22	15	2	550	1405	270	80	6	10	0.29	2	3.81	1.16	453	0.64	0.55	0.05	0.26	0.03		0.23	5.22	0.28		0.03
24	13	3		6305	38	110	1	3	0.03	3	4.04	1.97	376	0.67	0.10	0.03	0.13	0.01	11.80	0.09	4.51	0.21	94	0.11
25	12	1	340	370	96	70	13	4	0.14	3	0.96	1.78	369	0.37	0.10	0.02	0.33	0.01			2.69	0.13		0.02
26	6	2		250	41		1	7	0.01	6	1.12	1.16	212	0.83	0.06	0.02	0.10	0.01	17.50	0.10	6.73	0.57	61	0.09
27	7	5	630	860	275	80	5	9	0.44	14	0.55	1.7	260	0.53	0.11	0.03	0.54	0.04	21.20	0.12	10.20	0.92	78	0.17
28	12	5	80	105	50	20	3	6	0.02	14	1.15	1.27	351	1.07	0.14	0.03	0.61	0.02		0.15	1.58	0.12		0.07
29	17	1	2100	4265	230	160	15	7	0.16		2.66	0.3	399	1.39	0.19	0.05	0.20	0.01		0.20	6.00	0.24	48	0.10
Min	4	1	80	105	34	20	1	3	0.01	2	0.36	0.3	212	0.24	0.03	0.01	0.10	0.00	6.79	0.03	1.18	0.03	19	0.02

Max	17	5	9100	15450	365	2570	59	24	1.36	20	5.76	4.23	453	1.68	0.59	0.22	0.71	0.16	39.20	1.38	11.30	2.26	525	0.66
Promedio	11	2	1418	4185.4	123	241	11	7	0.24	9	1.5	1.6	344	0.7	0.20	0.05	0.40	0.03	17.33	0.31	5.21	0.38	107	0.23
Desv. Est.	4	1	1868	3909	97	477	12	4	0.3	5	1	1	57	0.4	0.2	0.1	0.2	0.03	10	0.3	3	0.5	113	0.17

ANEXO 2. Concentraciones de elementos mayores y traza en zooplancton del GC de la campaña de junio del 2005. Los elementos mayores se muestran en porcentaje y los ET en mg kg⁻¹.

Elementos	Ca %	Na %	Fe	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Rb	Cs	Sr	Ba	Sc	Cr	Co
A3	5.2	1.1	940	2.93	4.38	0.41	1.32	0.29	0.07	0.34	0.05	0.28	0.06	0.17	0.02	0.13	0.02		2.3	1,455	310	1.3	0.5	4.1
B5	5.0	0.0	9,600	9.62	15.30	1.41	4.50	0.93	0.12	1.06	0.16	0.87	0.18	0.48	0.07	0.37	0.06	50	2.3	1,073	96	2.2	48.1	2.1
C3	27.9	1.9	3,300	15.40	23.60	2.17	6.99	1.36	1.05	1.89	0.32	2.13	0.51	1.58	0.27	1.60	0.29	328	13.5	7,775	285	2.0	29.6	63.6
C1	2.7	0.2	11,800	2.78	4.20	0.40	1.27	0.28	0.21	0.43	0.08	0.52	0.14	0.44	0.08	0.48	0.09	25		43,900	81	1.7	4.3	10.5
C7	0.2	2.9	20,100	0.59	1.50	0.22	1.16	0.42	0.05	0.54	0.08	0.46	0.10	0.26	0.04	0.19	0.03	9	2.4	830	34	1.1	3.4	4.0
B4	4.0	0.7	7,167	3.70	7.31	0.82	3.21	0.81	0.10	0.94	0.14	0.78	0.17	0.44	0.06	0.35	0.05		0.5	197	82	2.5	3.7	3.2
B2	9.8	0.4	295	0.42	0.74	0.07	0.25	0.06	0.12	0.10	0.02	0.15	0.04	0.15	0.03	0.21	0.05		0.5	708	315	0.1	2.1	4.9
H6	1.2	1.1	2,400	0.58	1.48	0.22	1.13	0.40	0.01	0.64	0.11	0.72	0.18	0.55	0.09	0.56	0.10		0.9	8,110	235	0.0	10.4	15.2
I3	3.0	1.0	855	0.48	1.21	0.18	0.90	0.31	0.05	0.57	0.11	0.74	0.20	0.65	0.12	0.78	0.15	56	0.4	1,490	308	0.1	295	13.4
I2	0.2	0.2		0.62	1.03	0.11	0.36	0.09	0.03	0.13	0.02	0.15	0.04	0.12	0.02	0.13	0.02		1.0	43	20	0.1		13.1
J7	1.2	0.1	300	0.28	0.56	0.06	0.26	0.07	0.17	0.14	0.03	0.21	0.06	0.21	0.04	0.28	0.06	19	0.9	2,660		0.0	1.1	5.9
k1	0.2	0.2	4,400	1.09	1.80	0.19	0.66	0.16	0.04	0.27	0.05	0.36	0.10	0.30	0.06	0.40	0.08	14	0.5	8,670		0.3	180	10.2
k5	3.2	0.9	5,700	1.00	1.97	0.24	0.96	0.26	0.06	0.38	0.06	0.42	0.10	0.28	0.05	0.28	0.05	25	0.7	15,175	170	1.0	5.3	2.1
L5	1.9	0.9	2,600	0.09	0.23	0.04	0.19	0.07	0.03	0.15	0.03	0.23	0.06	0.22	0.04	0.29	0.06		0.2	6,715	92	0.0	10.7	3.0
J2	5.9	0.2	140	16.20	14.00	0.71	1.21	0.14	0.04	0.25	0.05	0.34	0.09	0.29	0.06	0.39	0.08	8	0.5	2,805	315	0.0	5.9	1.2
M1	2.7	1.4	1,200	1.47	2.09	0.18	0.54	0.11	0.12	0.17	0.03	0.23	0.06	0.21	0.04	0.25	0.05	23	1.2	505	124	0.0	3.4	4.5
K3	1.3	0.8	2,200	0.41	0.83	0.09	0.36	0.10	0.01	0.14	0.25	0.17	0.04	0.13	0.02	0.13	0.03			40,085	125	0.1	7.5	2.3
L3	0.3	2.1	410	0.30	0.61	0.07	0.29	0.08	0.03	0.18	0.04	0.29	0.09	0.32	0.07	0.49	0.11		1.4	215	180	0.0	3.4	5.5
N3	0.1	3.7	170	0.27	0.69	0.11	0.55	0.19	0.04	0.30	0.05	0.33	0.08	0.23	0.04	0.24	0.04		0.7	310	210		7.6	5.6
N5	2.7	0.0	110	0.17	0.37	0.05	0.22	0.07	0.01	0.15	0.03	0.25	0.07	0.25	0.05	0.38	0.08		0.6	1,030	280	0.0	3.1	6.5
N1	2.6	5.2	530	0.32	0.50	0.05	0.16	0.03	0.04	0.06	0.01	0.08	0.02	0.08	0.01	0.09	0.02			1,060		0.0	2.3	3.2
M3	5.0	0.5	9,700	0.78	2.00	0.31	1.68	0.55	0.04	0.73	0.11	0.63	0.14	0.35	0.05	0.27	0.04	8	0.4	17,795	51	1.4	37.7	0.9
D1	4.8	0.5	9,800	0.52	1.24	0.18	0.84	0.27	0.07	0.38	0.06	0.39	0.09	0.25	0.04	0.22	0.04		0.9	20,535	200	1.5	1.5	7.7
D3	0.2	2.2	1,000	0.19	0.46	0.07	0.35	0.12	0.01	0.19	0.03	0.22	0.05	0.14	0.03	0.14	0.03	23		915	135	0.2	1.4	10.0
D7	4.5	1.9	6,300	0.95	2.63	0.43	2.42	0.89	0.04	1.37	0.20	1.25	0.29	0.83	0.13	0.73	0.13				160	0.9	23.9	2.6
F3	2.4	1.9	3,100	0.58	0.95	0.09	0.31	0.07	0.28	0.10	0.02	0.12	0.03	0.10	0.02	0.10	0.02		0.1	14,930	195	0.0	6.6	4.8
E5	5.5	3.1	15,600	0.37	0.95	0.14	0.77	0.27	0.13	0.46	0.08	0.54	0.14	0.43	0.07	0.45	0.08		2.1	1,080	140	0.5	6.8	9.8

E3	1.1	1.2	450	0.23	0.38	0.04	0.12	0.03	0.01	0.06	0.01	0.09	0.03	0.10	0.02	0.13	0.03			4,955	72	0.0	31.0	4.8
F5	0.8	0.2	610	0.90	1.40	0.13	0.38	0.08	0.24	0.18	0.04	0.30	0.09	0.34	0.07	0.56	0.13		0.2	940	140		1.2	11.2
F1	1.9	0.9	485	0.23	0.50	0.06	0.28	0.08	0.11	0.16	0.03	0.21	0.05	0.18	0.03	0.22	0.04	2	1.0	3,773	138	0.2	4.6	9.6
G3	3.1	0.0	230	0.19	0.32	0.03	0.11	0.02	0.05	0.05	0.01	0.10	0.03	0.12	0.03	0.18	0.04		0.1	3,445	105	0.0	2.7	0.6
G4	4.9	0.8	3,300	0.44	1.12	0.17	0.84	0.28	0.03	0.44	0.08	0.47	0.12	0.34	0.06	0.35	0.06		0.4	23,700	59	0.1	64.5	3.5
H2	1.4	1.4	1,025	0.40	0.78	0.09	0.33	0.09	0.01	0.16	0.03	0.22	0.06	0.20	0.04	0.25	0.05	15	0.4	3,185	150	0.1	5.2	3.6
G8	2.0	9.9	990	0.40	0.73	0.08	0.29	0.07	0.01	0.14	0.03	0.19	0.05	0.18	0.03	0.24	0.05	5	0.4	943	77	0.1	8.0	2.9
G6	2.4	1.5	5,100	0.62	1.09	0.12	0.39	0.09	0.19	0.18	0.04	0.27	0.08	0.27	0.05	0.39	0.08			134,100	160	0.4	2.9	4.1
M5	7.0	0.3	370	0.43	0.78	0.08	0.27	0.07	0.01	0.14	0.03	0.26	0.08	0.28	0.06	0.49	0.11		0.4	1,515		0.0	1.7	5.2
Min	0.1	0.02	110	0.09	0.23	0.03	0.11	0.02	0.01	0.05	0.01	0.08	0.02	0.08	0.01	0.09	0.02	2	0.1	43	20	0.0	0.5	0.6
Max	28	10	20,100	16.20	23.60	2.17	6.99	1.36	1.05	1.89	0.32	2.13	0.51	1.58	0.27	1.60	0.29	328	14	134,100	315	2.5	295	64
Prom	4	1	3,779	1.83	2.77	0.27	1.00	0.26	0.10	0.38	0.07	0.42	0.10	0.32	0.06	0.35	0.07	41	1	10,761	158	0.5	23.6	7.4
Desv.Est	5	2	4,834	3.83	4.91	0.42	1.37	0.30	0.18	0.40	0.07	0.39	0.09	0.27	0.05	0.27	0.05	81	2	23,982	87	0.7	57.2	10.3

Continuación de anexo 2

Elementos	Ni	Zn	Se	As	Sb	Th	U	Br	Hf	Ta	Zr	Au	Ag
A3	130	170	4.5	10.8	0.7	0.8	1.2	1,045	0.5	0.5	95.0		
B5	20	110	1.8	1.3	0.3	2.6	0.5	245	0.8	0.1	20.0		
C3	630	120	85.6	153	12.6	1.7	23.2	3,645	7.8			0.2	
C1		320	12.4	4.2	0.8	1.2	3.4	2,110	0.6		45.0		
C7	50	420	0.3	4.7	0.1	0.3	1.2	290	0.4		35.0		0.6
B4	60	10	4.1		0.3	1.6	1.8	1,047	0.4	0.4	41.7	0.02	
B2	105	45	3.4		0.8	0.1	2.0	545		0.7	30.0	0.2	0.3
H6	290	920	12.8		1.6		1.1	1,990	0.3		35.0	0.05	
I3	30	155	8.3	7.8	1.0	1.5	1.2	1,533	0.4	0.5	27.5	0.04	
I2		110	8.3		0.2	0.4	1.3	465	0.1		35.0	0.02	
J7		90	20.9	13.3	0.4	0.2	2.3	3,140	0.2		30.0		
k1	120	420	25.9		2.5	0.2	2.7	1,930	0.3		20.0		
k5	105	1,115	13.9		0.9	0.6	2.1	1,950	0.6	0.2	33.5	0.03	
L5	60	290	9.7		0.2	0.3	0.5	675	0.4		30.0	0.01	0.9
J2		40	8.5	4.5	0.4	0.5	0.4	1,440	0.2			0.03	
M1	120	200	11.9	12.7	0.3	0.5	2.8	3,113	0.3	1.6	61.7		1.5
K3	110	310	3.3	7.1	0.3	0.1	4.1	1,365	0.4	0.1	75.0	0.04	
L3	10	300	15.0	12.5	2.7	0.4	1.0	2,150	0.2		35.0		
N3	100	160	6.0		0.8	0.2	1.2	1,350	0.2	1.0	40.0		
N5		150	23.0		0.1	0.2	1.0	595	0.2		70.0	0.01	2.6
N1	10	190	5.9	16.8	0.8	0.1	0.7	1,230	0.2		40.0	0.00	
M3	70	580	14.4		0.5	0.4	1.2	1,340	1.2		10.0		
D1	60	390	3.9	9.8	0.5	0.5	0.3	1,260		0.1	30.0		
D3		290	4.6	8.3		0.3	1.5	925	0.0		35.0		
D7		280	2.6	5.1	0.9	0.4	1.2	1,965	0.2	0.4	140		
F3	210	410	3.5		0.9	0.1	1.6	640	0.5		60.0	0.01	0.9
E5	40	40	2.4		0.0	0.9	1.2	1,545			25.0		
E3		230	5.5	9.3	1.2	0.2	1.1	820	0.2		80.0		
F5	180		21.7	18.7	1.6	0.2	1.3	1,705	2.4	0.9	45.0		
F1		35	11.0	3.1	0.7	0.1	2.3	950	0.3	0.7	45.0	0.03	
G3	30	10	5.3		0.3	0.1	0.6	555	0.0		10.0	0.02	
G4	90	930	3.2	9.5	1.0	0.5	0.3	715	0.2			0.02	

H2	30	245	2.5	4.6	0.4	0.5	1.1	710	0.1	0.3	17.5		
G8	20	1,030	8.5	12.1	0.8	0.2	2.1	1,190	1.0	0.3	25.0		
G6	110	600	6.4		0.9	0.5	1.2	760	1.0	0.3	45.0		3.1
M5		360	15.8	10.4	0.8	0.6	1.6	2,750	0.6	0.3	20.0		
Min	10.0	10.0	0.3	1.3	0.0	0.1	0.3	245	0.0	0.1	10	0.0	0.3
Max	630	1,115	86	153	12.6	2.6	23.2	3,645	7.8	1.6	140	0.2	3.1
Prom	107.3	316.4	11.0	15.5	1.1	0.5	2.1	1,380	0.7	0.5	42	0.0	1.4
Desv.Est	125.2	291.5	14.3	31.1	2.1	0.6	3.7	834	1.4	0.4	26	0.1	1.0

ANEXO 3. Concentraciones de elementos mayores y traza en zooplancton del GC de la campaña de enero del 2007. Los elementos mayores se muestran en porcentaje y los ET en mg kg⁻¹.

Estaciones	Ca %	Na%	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Rb	Cs	Sr	Ba	Sc
E114	0.23	4.0	0.27	0.61	0.36	0.11	0.042	0.035	0.21	0.041	5.86	0.31	1230		0.17
E68	0.18	0.29	0.84	1.88	1.11	0.34	0.039	0.087	0.37	0.062			780	20	0.028
E77-78	3.17	0.23	0.2	0.33	0.11	0.013	0.011	0.016	0.29	0.067	14.6	0.19	295	53	0.065
1K 62-63	2.84	1.01	0.97	1.4	0.33	0.063	0.021	0.019	0.11	0.022		0.84	425	62	0.38
E103 2000m	1.51	2.98	1.19	1.51	0.32	0.058	0.01	0.022	0.19	0.04	3.16		13430	82	0.28
E89	0.022	0.14	0.16	0.34	0.18	0.05	0.097	0.023	0.3	0.063	16.9	0.3	240	47	0.11
E100-BAJO	5.01	2.71	0.13	0.37	0.33	0.12	0.051	0.04	0.25	0.048	10.2		585	135	0.091
E43	7.99	1.46	1.54	2.75	0.99	0.23	0.08	0.07	0.45	0.087	16	2.93		1625	0.23
E19	1.12	0.14	1.03	2.03	0.98	0.26	0.021	0.091	0.58	0.11	11.3	0.64	2735	64	0.42
E13	3.19	0.62	3.23	6.12	2.58	0.63	0.031	0.13	0.44	0.074	12.7	0.71	4075	16	1.59
E11-E12	2.05	0.25	3.13	6.03	2.73	0.69	0.077	0.11	0.28	0.044	28.3	1.8	2155	42	1.65
E14	0.61	1.76	0.46	0.69	0.18	0.037	0.011	0.016	0.16	0.035	3.45	0.34	1105	39	0.13
E21	1.39	0.44	1.75	3.02	1.11	0.26	0.093	0.078	0.46	0.087		0.87	1230	74	0.67
PL1	19.2	0.67	0.35	0.81	0.42	0.12	0.056	0.039	0.25	0.046	8.23	0.18	1515	27	0.25
	19.2	4.0	3.23	6.12	2.73	0.69	0.097	0.13	0.58	0.11	28.3	2.93	13430	1625	1.65
	0.022	0.14	0.13	0.33	0.11	0.013	0.01	0.016	0.11	0.022	3.16	0.18	240	16	0.028
	3.46514	1.19286	1.08929	1.99214	0.83786	0.21293	0.04571	0.05543	0.31	0.059	11.8818	0.82818	2292.31	175.846	0.43314
	5.02223	1.23471	1.02527	1.93547	0.84984	0.2138	0.03081	0.03828	0.1333	0.02422	7.20893	0.83825	3519.02	436.529	0.53051

Continuación de anexo 3

Estaciones	Cr	Fe	Fe	Co	Zn	Se	As	Sb	Th	U	Br	Hf	Zr
E114	44.6	890	0.089	0.93	1325	3.54	8.59	1.11	0.28	1.48	610	0.12	61
E68	21.7	5400	0.54	2.91	1020	2.26	3.13	0.33	0.25	1.22	1180	0.053	
E77-78	1.79	1500	0.15	0.27	8930	3.42		0.35	0.12	0.93	230	0.063	20
1K 62-63	163.2	2600	0.26	2.27	885	2.07	5.59	0.05	0.48	1.35	965	0.18	11
E103 2000m	17.5	2800	0.28	1.78	790	2.38	1.7	0.36	0.27	0.97	335	0.19	
E89	0.68	150	0.015	0.75	155	3.0	0.61	0.15	0.1	1.15	160	0.042	2
E100-BAJO	1.54	840	0.084	0.75	860	0.29	4.83		0.4	1.38	510	0.18	
E43	22.9	7000	0.7	30.8	1680	6.14	6.61	0.33	0.19	1.66	815	2.45	17
E19	6.77	1000	0.1	3.46	370	2.61	4.22	0.14	1.07	2.11	515	0.22	13
E13	32.9	9300	0.93	4.27	3330	2.88	0.94	2.51	0.92	1.64	540	0.12	32
E11-E12	42.2	9200	0.92	3.96	2070	2.93		3.01	0.26	0.69	1090	0.66	14
E14	5.42	180	0.018	1.66	725	0.45	5.16	0.46	0.15	0.43	1680		6
E21	15.5	2700	0.27	1.75	635	1.79	1.51	0.99	1.29	1.37	845	0.3	7
PL1	19.1	450	0.045	2.76	1170	2.57		0.76	0.07	1.34	1400	0.18	17
	163.2	9300	0.93	30.8	8930	6.14	8.59	3.01	1.29	2.11	1680	2.45	61
	0.68	150	0.015	0.27	155	0.29	0.61	0.05	0.07	0.43	160	0.042	2
	28.2714	3143.57	0.31436	4.16571	1710.36	2.595	3.89909	0.81154	0.41786	1.26571	776.786	0.366	18
	41.403	3256.2	0.32562	7.76516	2225.52	1.40042	2.55894	0.92711	0.38934	0.42393	447.607	0.64587	16

ANEXO 4. Concentraciones de elementos mayores y traza en zooplancton del GC de la campaña de febrero del 2007. Los elementos mayores se muestran en porcentaje y los ET en mg kg⁻¹.

Est	Ca %	K %	Na %	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu	Rb	Cs	Sr	Ba	Sc	Cr	Fe
S3	6	0.24	0.08	0.295	0.54	0.21	0.05	0.0245	0.3	0.058	7.355	0.1	5103	900	0.06	218.90	1065
S5	6	0.05	0.69	0.24	0.53	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1			3155	41	0.08	29.10	400
S7	3	0.25	0.65	0.2	0.5	0.28	0.09	0.02	0.27	0.05		0.42	50	77	0.04	33.6	280
A7	4	0.22	1.44	0.6	1.6	1.19	0.41	0.10	0.47	0.08		0.66	2565	64	0.48	20.7	1600
A5	5		0.15	0.3	0.9	0.63	0.22	0.08	0.32	0.06			3255	43	0.20	52.5	1100
A3	2		0.36	0.4	0.7	0.25	0.06	0.04	0.44	0.10	6.07	0.27	1690	145	0.01	4.6	270
B3	2		2.30	0.4	0.6	0.14	0.01	0.06	0.12	0.03	2.06	0.57	2830	470	0.20	16.3	1800
B7	6		0.92	2.3	3.4	0.99	0.21	0.07	0.45	0.09		1.1	19635	900	0.71	47.4	3800
B5	3		2.16	0.6	1.1	0.49	0.12	0.16	0.24	0.05	9.69		2485	405	0.03	14.1	2600
E7	2	0.40	0.38	0.2	0.5	0.36	0.12	0.03	0.52	0.11		0.26	940	105	0.11	3.2	220
E3	8		0.42	0.2	0.4	0.13	0.03	0.03	0.42	0.10	6.90	0.033	350		0.03	9.2	
C3	8	0.14	1.47	1.9	3.1	0.98	0.22	0.03	0.29	0.05	18.60		965	750	0.37	68.0	4400
C7	12	0.15	0.87	0.5	0.9	0.31	0.07	0.11	0.42	0.09		0.07	5430	405	0.12	210.2	2500
D4	7	0.09	1.09	0.8	1.5	0.61	0.15	0.05	0.51	0.11		0.52	985	300	0.03	17.7	3300
D2	5		0.10	0.4	0.8	0.49	0.15	0.01	0.36	0.07	2.87	0.9	1415	150.0	0.1	9.1	250
F2	3		0.54	0.3	0.9	0.75	0.27	0.01	0.27	0.05		0.2	1305	220.0	0.0	224.4	2300
F4	4	0.19	0.28	0.3	0.4	0.13	0.02	0.04	0.49	0.12	11.80	0.34	855	53	0.04	0.2	180
G1	2	0.22	0.35	0.4	0.6	0.20	0.04	0.03	0.38	0.09	5.58	0.18	240	50	0.05	0.8	150
G3	4	0.25	0.10	0.3	0.8	0.59	0.19	0.02	0.33	0.06	5.80	0.47	2275	72	0.03	12.6	110
G5	8		0.17	1.3	1.9	0.55	0.11	0.38	0.19	0.04	5.32	0.3	1335	755.0	0.2	119.2	4800
H5	1	0.76	1.37	1.2	3.0	2.23	0.71	0.07	0.42	0.07		0.14	485	29	0.08	5.4	850
H3	3	0.35	0.91	0.7	1.1	0.40	0.09	0.01	0.31	0.06	3.82	0.52	56	18	0.02	1.3	100

H1	8	0.16	0.76	0.1	0.1	0.11	0.04	0.09	0.46	0.11		0.44	740	82	0.06	7.0	40
K9	3	0.18	0.57	0.4	0.5	0.15	0.03	0.02	0.28	0.07	1.82	0.26	280	24	0.01	2.3	100
K7	3		0.27	0.3	0.7	0.46	0.15	0.04	0.18	0.03			93	18	0.02	8.2	1000
K5	2	0.90	0.46	0.50	0.94	0.36	0.09	0.03	0.19	0.04	16.00	0.21	575	165.00	0.11	32.20	630
K1	1		0.15	0.49	0.96	0.45	0.12	0.21	0.11	0.02	19.30	0.31	1185	850.00	0.25	40.60	2400
R6	8	0.17	1.56	0.14	0.15	0.02	0.00	0.02	0.10	0.02	7.58	0.19	1150	71.00	0.06	135.70	1800
R2	7		4.23	0.54	0.91	0.30	0.07	0.01	0.44	0.10		0.09	760	62.00	0.05	16.60	5100
Min	0.51	0.0480	0.08	0.05	0.13	0.02	0.002	0.01	0.10	0.02	1.82	0.03	50	18.00	0.01	0.23	40
Max	12	0.90	4.23	2.25	3.38	2.23	0.71	0.38	0.52	0.12	19.30	1.10	19635	900.00	0.71	224.40	5100
Promedio	5	0.28	0.86	0.56	1.03	0.49	0.14	0.06	0.33	0.07	8.16	0.36	2144	258.00	0.12	46.93	1541
Desv. Est	3	0.23	0.89	0.51	0.83	0.44	0.14	0.08	0.12	0.03	5.55	0.26	3639	299.51	0.16	67.48	1556

Continuación de anexo 4

Est	Co	Se	As	Sb	Th	U	Br	Hf	Zr	Cu	Zn	Mn	Ni	Pb	Cd	P
S3	6.0	2.725	2.795	0.69	0.25	3.92	964	0.36	7	19	166	12	3	56	10	
S5	5.77	4	2	0.10	0.27	1.53	749	0.07	8	11	372	3.9	13	5	5	25
S7	0.2	2	2	2.3	0.1	5.1	1686	0.3	11	12	150	12	2.5	9	10	14
A7	0.7	3	6	0.7	0.5	2.7	980	0.5	34	13	160	7	0.6	5	15	7
A5	2.3	6	1	1.6	0.2	2.5	790	0.3	16							
A3	0.3	2	1	0.3	0.2	2.7	1195	0.2	18	38	245	15	8.5	9	10	7
B3	2.9	1		5.0	0.1	4.5	629	0.2	71	19	230	16	1.5	5	4	10
B7	6.3	0	3	0.5	1.1	1.7	546	1.2	51	32	265	20	14.9	15	9	18
B5	2.0	1	4	6.0	0.4	6.4	590	0.3	37	17	215	19	2	5	10	5
E7	0.4	3		1.0	0.5	2.6	1285	0.1	22	10	190	11	1	5	13	23
E3	0.6	2		0.7	0.0	2.7	1450	0.3	1	17	163	21	4.1	5	6	21
C3	8.2	3	2	0.8	0.3	1.7	335	0.8								
C7	1.6	3	5			10.3	1160	0.4	4							
D4	1.6	5	2	0.2	0.0	6.3	610	0.1		13	200	12	2.3	5	11	24
D2	0.2	2	7	0.4	0.2	11.7	1080	0.3	7	11	275	9.7	1	5	16	31
F2	3.6	1		0.4		9.4	1210	0.1	16							
F4	1.5	2	2	1.5	0.2	5.3	1530	0.3	9	11	223	10	1	5	13	19
G1	1.0	6	1	1.2	0.4	12.2	1210	0.2		12	195	13	56.5	5	18	19
G3	1.3	3	8	0.1	0.2	2.9	945	0.1	5	5	176	4	1.2	5	13	23
G5	7.4	3	2	0.5	0.0	1.0	665	0.2	67							
H5	0.6	2	12	1.2	0.3	0.8	3110	0.0	19							
H3	0.2	4		0.5	0.4	5.2	2180	0.1	29	9	165	12	1	5	11	7
H1	0.2	1	2		0.2	1.4	889	0.0	9	14	158	10	2.9	5	10	40
K9	0.5	1	7	1.0	0.3	0.6	1295	0.1	6	14	254	16	14.8	5	15	15
K7	0.3	2		0.2	0.2	1.0	1170	0.0	6	19	233	31	3.6	5	9	7

K5	1.17	2		1.26	0.18	1.16	1500	0.13	3	14	150	10	1	510	7	10
K1	5.92	4	6	0.49	0.66	0.75	320	0.37								
R6	2.40	2		1.65	0.24	1.49	1730	0.24		11	67	5	1	6	8	33
R2	0.78	5	4	0.54	0.36	1.14	2040	0.13	15	33	950	16	1	26	11	
Min	0.17	0.22	0.56	0.10	0.03	0.62	320	0.04	1	5	67	3.90	0.60	5	4	5
Max	8.24	6.28	11.50	6.01	1.10	12.20	3110	1.21	71	38	950	30.80	56.50	510	18	40
Promedio	2.28	2.65	3.71	1.13	0.28	3.81	1167	0.26	20	16	236	12.94	6.29	32	11	18
Desv. Est	2.43	1.55	2.85	1.38	0.22	3.37	598	0.25	19	8	171	6.16	12.11	107	3	10

ANEXO 5. Concentraciones de elementos mayores y traza en zooplancton del GC de la campaña de julio del 2007. Los elementos mayores se muestran en porcentaje y los ET en mg kg⁻¹.

Estación	Ca%	Na%	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Rb	Cs	Sr	Ba	Sc	Cr	Fe	Co	Ni
E2	2.44	1.29	0.26	0.51	0.23	0.06	0.038	0.025	0.26	0.053	9.62		102360	135	0.28	35.9	4000	1.74	
E4	4	1.74	1.09	2.1	0.99	0.26	0.11	0.063	0.27	0.046	4.33	1.5	11480	47	1.14	31.5	12600	4.29	490
E7	1.33	0.35	7.27	12.5	4.02	0.92	0.83	0.16	0.46	0.076	62.4	2.36	58660	2345	2.89	110	57400	23.3	
E8	3.96	0.46	1.16	2.18	0.97	0.25	0.064	0.054	0.2	0.036		2.44	22035	140	0.76	49.9	18200	3.51	
E9	4.14	2.83	2.18	4.47	2.33	0.64	0.064	0.16	0.78	0.14	24.2	1.15	10485	33	0.55	40.6	25300	6.43	170
E11	6.04	0.69	0.21	0.36	0.14	0.033	0.016	0.016	0.28	0.065	27.5	1.28	30375	665	0.7	50.7	21200	10.2	190
E13	0.55	0.76	1.27	2.02	0.7	0.16	0.046	0.05	0.43	0.085		0.36	10830	20	0.32	25.1	10700	4.18	
E14	2.07	0.72	0.088	0.18	0.09	0.012	0.018	0.011	0.12	0.025		0.31	18985	46	0.74	44.4	11800	5.02	110
E22	2.39	1.35	0.83	1.39	0.41	0.091	0.071	0.027	0.18	0.038	8.18	0.27	3335	73	0.028	3.2	1700	0.23	
B. edeni	0.23	1.88	0.68	1.3	0.63	0.17	0.063	0.046	0.21	0.038		0.11	940	145	0.12	1.81	830	1.15	70
E25	7.4	0.49	0.97	2	1.09	0.32	0.012	0.062	0.17	0.028		0.89	7020	29	0.83	336.3	21800	11.7	190
E1=E26	6.1	0.81	1.9	3.73	1.7	0.45	0.062	0.11	0.38	0.062	28.8	1.59	2585	255	1.13	59.4	13800	4.38	180
36	4.9	5.21	0.335	0.655	0.285	0.0745	0.0705	0.028	0.26	0.055	13.2	0.63	9080	62	0.365	42.5	5450	3.38	150
E40	1.95	2.385	0.35	0.775	0.44	0.125	0.028	0.0365	0.205	0.0375		0.1705	7902.5	49.5	0.181	5.56	2450	1.74	180
E43	0.76	7.87	0.45	0.79	0.26	0.058	0.032	0.022	0.25	0.052		0.51	810	22	0.19	16.4	2900	2.64	60
E44	3.25	4.24	0.38	0.81	0.39	0.11	0.022	0.034	0.22	0.042		0.1	14340	130	0.26	1.31	1700	0.59	110
E48	2.14	0.95	1.02	1.9	0.8	0.2	0.025	0.063	0.43	0.083		1.3	9310	50	0.59	4.88	2500	1.55	
E49	2.15	2.125	2.435	4.42	1.72	0.405	0.0325	0.089	0.325	0.0555	10.9	0.315	5045	62	1.07	15.9	4210	2.615	30
E23	0.84	1.59	0.53	0.95	0.35	0.084	0.081	0.022	0.12	0.021	12.7		7820	135	0.28	65.5	3600	1.7	70
E20	3.9	5.37	0.6	1.19	0.54	0.14	0.018	0.039	0.22	0.041	12.1	0.37	2255	18	0.25	37.2	4900	4.97	200
E38=E39	4.1	2.61	2.11	2.32	1.28	0.39	0.05	0.088	0.32	0.054	3.39		3370	38	0.42	23.6	4600	0.54	
1K 42-43	4.8	9.65	0.39	0.7	0.26	0.062	0.016	0.021	0.17	0.035	6.01	0.61	745	50	0.037	1.01	450	0.44	
E41	1.2	0.66	0.37	0.7	0.32	0.088	0.089	0.033	0.36	0.075	21.2	0.41	6050	84	0.22	18	2800	1.53	120
Min	0.23	0.35	0.088	0.18	0.09	0.012	0.012	0.011	0.12	0.021	3.39	0.1	745	18	0.028	1.01	450	0.23	30
Max	7.4	9.65	7.27	12.5	4.02	0.92	0.83	0.16	0.78	0.14	62.4	2.44	102360	2345	2.89	336.3	57400	23.3	490
Promedio	3.08	2.44	1.17	2.08	0.87	0.22	0.08	0.05	0.29	0.05	17.47	0.83	15036	201	0.58	44.38	10213	4	155
Desv. Est.	1.96	2.47	1.49	2.57	0.90	0.22	0.17	0.04	0.14	0.03	14.84	0.72	22856	486	0.61	68.75	12706	5	114

Continuación de anexo 5

Estación	Zn	Se	As	Sb	Th	U	Br	Hf	Ta	Zr
E2	2435	4.24		0.37	0.25	2.17	1350	0.079	0.1	21
E4	1525	4.53	9.18	2.69	0.28	2.86	1540	0.13		65
E7	6100	2.93	6.64	7.93	1.97	0.6	440	1.59		58
E8	5050	2.86	7.51	6.07	0.79	1.37	1150	0.41	0.12	42
E9	9300	2.04	1.72	2.12	0.58	1.12	1300	0.73		49
E11	3480	2.46		61.9	0.93	5.14	750	0.22	0.21	175
E13	2280	2.16	3.46	1.35	0.21	1.73	860	0.19	0.094	3
E14	1865	7.49	1.73	4.67	0.16	2.04	1840	0.56		24
E22	290	1.33		1.41	0.75	2.23	2820	0.12	0.043	
B. edeni	325	2.8	3.11	0.22	0.58	1.35	710	0.056	0.04	18
E25	2235	2.17	11.2	6.91	1.03	0.94	910	0.13		15
E1=E26	1245	1.7	3.99	3.17	1.24	0.46	1500	0.65	0.33	11
36	665	2.68	8.77	1.23	0.1115	1.245	1655	0.1565		13
E40	395	1.715	4.275	3.555	0.17	1.875	925	0.435	0.059	13.5
E43	595	1.25	2.95	0.7	0.21	6.14	2710	0.098		13
E44	250	4.6	4.27	0.47	0.11	2.25	1415	0.18		34
E48	380	1.62	3.63	0.44	0.075	2.5	1330	0.2	0.11	
E49	617.5	4.9	6.965	0.9	0.84	1.46	1845	0.545		17
E23	530	1.88	12	2.01	0.078	0.76	1150	0.047	0.051	42
E20	1950	0.74		1.95	0.29	2.66	2300	0.13		38
E38=E39	885	0.85	1.25	0.16	1.02	4.4	1380	0.49	0.11	25
1K 42-43	445	2.64		0.13	0.13	1.1	1530			28
E41	265	0.62		20.4	4	2.97	3140	0.059		48
Min	250	0.62	1.25	0.13	0.075	0.46	440	0.047	0.04	3
Max	9300	7.49	12	61.9	4	6.14	3140	1.59	0.33	175
Promedio	1874	3	5	6	0.69	2.15	1502.17	0.33	0.12	35.83
Desv. Est.	2245	2	4	13	0.87	1.43	692.61	0.35	0.08	35.89

ANEXO 6. Concentraciones de elementos mayores y traza en zooplancton del GC de la campaña de junio del 2008. Los elementos mayores se muestran en porcentaje y los ET en mg kg⁻¹.

Estación	Ca %	Fe %	K %	Na %	Mg %	Ag	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu
A3	15.1	0.1	0.1	0.4	1.1	0.4	1.9	0.02	20	1	0.1	0.0	1.4	1.5	0.6	25	0.4	15	0.1	0.1	0.1
B1	9.2	0.3	0.3	0.2	1.1	0.8	1.3	0.05	25	2	0.2	0.0	9.5	0.0	1.1	7	1.3	9	0.3	0.2	0.2
C4	5.1	0.3	0.4	1.5	1.2	0.4	2.5	0.02	34	1	0.1	0.0	3.8	0.1	1.1	9	0.8	16	0.2	0.1	0.1
D2	1.7	0.6	0.4	0.4	0.7	1.1	3.6	0.01	155	292	0.3	0.1	5.0	4.1	2.3	45	1.3	16	0.5	0.2	0.3
D3	3.5	1.0	0.6	1.3	1.3	0.7	2.7	0.01	74	5	0.6	0.1	8.0	0.2	3.6	38	0.3	22	0.8	0.4	0.4
D6	8.0	0.9	0.5	0.5	1.4	0.6	2.5	0.02	55	1	0.5	0.1	2.1	0.1	2.6	36	0.7	48	0.6	0.3	0.3
E3	1.0	0.8	0.6	1.6	0.8	0.8	2.5	0.02	68	160	0.4	0.1	6.1	8.6	2.5	34	2.1	16	0.6	0.3	0.2
F4	1.4	0.6	0.5	1.6	0.9	0.5	2.2	0.01	58	231	0.3	0.1	11.3	5.1	2.3	27	1.7	17	0.5	0.2	0.2
F6	0.9	0.4	0.5	5.7	1.0	0.5	2.0	0.01	88	293	0.2	0.0	9.4	3.3	1.2	11	1.0	9	0.2	0.1	0.1
F7	1.3	0.2	0.7	7.0	1.2	0.4	1.5	0.00	84	130	0.1	0.0	5.9	2.7	1.0	42	0.6	8	0.2	0.1	0.1
F8	1.9	0.6	0.5	1.1	0.7	1.3	2.2	0.02	86	417	0.4	0.4	6.3	10.7	2.2	47	1.8	13	0.6	0.3	0.2
G1	10.5	0.3	0.4	0.6	1.2	0.6	3.2	0.00	31	1	0.2	0.0	9.1	0.0	1.0	7	1.5	14	0.3	0.1	0.1
H1	9.2	0.3	0.5	1.2	1.2	0.5	3.7	0.01	39	2	0.2	0.0	10.6	0.1	1.0	6	1.3	17	0.2	0.1	0.1
H2	4.6	0.5	0.3	0.8	0.8	0.6	3.1	0.03	102	1	0.2	0.1	8.9	0.0	1.7	16	1.8	27	0.4	0.2	0.2
I1	1.5	0.7	0.8	5.7	1.3	0.6	2.8	0.02	86	123	0.4	0.1	7.2	7.8	1.8	24	2.5	29	0.5	0.3	0.2
I8	0.8	0.5	0.3	1.7	0.7	1.0	1.4	0.04	80	277	0.3	0.1	9.5	8.3	1.7	21	1.5	14	0.4	0.2	0.2
J3	0.6	0.1	0.2	2.3	0.6	1.0	4.4	0.01	72	322	0.1	0.0	8.3	1.0	1.0	20	0.2	13	0.1	0.0	0.1
K2	0.9	0.1	0.2	1.3	0.5	1.2	1.4	0.02	67	19	0.1	0.1	9.7	1.3	0.6	12	0.2	8	0.1	0.1	0.0
K4	0.7	0.2	0.5	6.5	1.2	0.7	1.8	0.01	116	82	0.1	0.3	2.8	2.5	1.7	35	0.4	19	0.2	0.1	0.1
K6	2.7	1.0	0.7	1.5	0.9	2.3	2.6	0.02	91	153	0.7	0.1	6.1	12.0	3.4	42	2.2	19	0.8	0.4	0.3
La4	3.4	0.3	0.2	2.7	0.6	1.8	2.4	0.05	76	541	0.1	0.1	9.9	3.2	2.9	120	0.3	58	0.2	0.1	0.2
Lb1	2.5	0.2	0.2	0.2	0.9	0.3	2.2	0.00	9	402	0.0	0.0	23.4	0.7	0.5	28	0.2	21	0.0	0.0	0.1
Lb5	0.7	0.5	0.1	0.3	0.4	1.5	3.3	0.03	116	509	0.1	0.2	7.9	3.6	2.1	51	0.6	42	0.2	0.1	0.2
Lc2	0.9	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	2.9	0.02	4	12	0.0	0.0	23.4	0.1	0.1	1	0.0	9	0.0	0.0	0.0
Lc4	1.5	0.1	0.1	2.0	0.7	0.6	2.7	0.01	74	3	0.0	0.0	10.4	0.5	0.7	5	0.1	36	0.0	0.0	0.0
M1	1.4	0.8	0.5	1.1	0.9	0.8	1.6	0.09	38	25	0.5	0.1	6.0	1.4	2.6	32	0.9	13	1.0	0.5	0.4
N5	1.7	0.5	0.4	0.7	0.8	1.4	3.5	0.03	83	305	0.2	0.1	12.5	8.2	1.7	34	1.8	15	0.5	0.2	0.2
N6	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1	0.7	3.7	0.02	15	117	0.1	0.1	10.0	1.5	0.6	30	0.3	19	0.1	0.0	0.0

N10	0.6	0.6	0.2	1.0	0.6	1.6	1.5	0.03	78	30	0.3	0.1	6.1	7.9	1.9	71	1.5	16	0.4	0.2	0.1
O2	0.7	0.1	0.2	2.4	0.5	0.7	1.6	0.01	50	268	0.1	0.1	6.2	0.8	1.3	26	0.1	15	0.1	0.0	0.1
O4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	4.9	0.02	6	1	0.0	0.2	14.5	0.2	0.7	15	0.0	12	0.0	0.0	0.1
O7	1.0	0.1	0.5	4.7	1.0	0.4	0.8	0.02	72	202	0.0	0.1	4.3	0.9	0.7	24	0.1	14	0.1	0.0	0.1
P2	0.5	0.1	0.1	0.5	0.4	1.5	1.2	0.04	65	10	0.1	0.0	5.4	0.7	0.8	45	0.1	7	0.0	0.0	0.0
P5	0.7	0.2	0.3	4.8	0.7	1.1	1.0	0.02	76	74	0.1	0.1	8.0	1.0	1.3	19	0.1	38	0.1	0.0	0.0
P8	0.6	0.5	0.4	6.9	1.2	0.3	2.7	0.05	115	2	0.1	0.1	2.9	2.2	1.2	10	0.3	11	0.1	0.1	0.1
Q2	2.7	0.1	0.0	0.2	0.8	0.8	2.8	0.01	20	115	0.0	0.0	22.1	0.3	0.2	3	0.0	9	0.0	0.0	0.0
Q4	1.3	0.1	0.5	4.9	1.1	0.3	3.2	0.01	94	2	0.1	0.0	7.4	1.5	0.9	14	0.2	97	0.1	0.0	0.1
Q6	1.6	0.2	0.2	3.0	0.8	0.6	2.9	0.04	81	711	0.1	0.1	9.7	1.5	0.9	41	0.2	14	0.1	0.1	0.2
R2	2.1	0.2	0.1	0.4	0.5	0.6	4.9	0.09	144	1	0.1	0.1	3.5	2.0	1.1	32	0.1	22	0.1	0.1	0.1
Min	0.3	0.01	0.02	0.077	0.088	0.2	0.8	0.004	4	1	0.010	0.01	1.370	0.039	0.1	1	0.02	7	0.008	0.005	0.01
Max	15	1.0	0.8	7.0	1.4	2.3	4.9	0.1	155	711	0.7	0.4	23	12	4	120	2.5	97	1.0	0.5	0.4
Prom	3	0.4	0.3	2.019	0.829	0.8	2.535	0.023	68	150	0.186	0.1	8.572	2.756	1.4	28	0.8	21	0.273	0.135	0.14
Desv. Est	3	0.3	0.2	2.103	0.335	0.5	1.000	0.020	36	181	0.170	0.1	5.115	3.295	0.9	22	0.7	17	0.256	0.121	0.10

Continuación de anexo 6

Estación	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	La	Li	Lu	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Re	Sb	Sc
A3	0.6	0.1	0.1	0.1	0.07	0.02	0.01	1.0	2.1	0.01	157	0.5	0.2	1.0	7.5	1.8	0.2	0.8	0.0002	0.0	0.4
B1	1.8	0.4	0.2	0.2	0.05	0.06	0.01	0.8	5.7	0.02	117	0.9	0.4	2.9	3.4	3.0	0.7	0.1	0.0006	0.2	1.2
C4	1.4	0.3	0.2	0.1	0.03	0.04	0.01	1.6	4.4	0.01	126	1.1	0.4	1.9	5.6	4.7	0.5	0.1	0.0002	0.3	0.8
D2	3.0	0.8	0.3	0.3	0.07	0.08	0.02	2.2	6.9	0.05	150	3.4	0.6	4.2	16.5	7.6	1.1	8.8	0.0011	0.2	1.8
D3	5.1	1.2	0.5	0.4	0.07	0.15	0.03	0.1	14.9	0.05	250	1.5	0.9	8.0	15.4	3.0	0.8	0.3	0.0010	0.6	3.0
D6	4.5	0.9	0.4	0.3	0.07	0.11	0.02	0.04	10.5	0.04	168	1.0	0.6	5.9	14.3	11.0	1.5	0.2	0.0006	0.3	2.5
E3	3.8	0.8	0.4	0.4	0.04	0.11	0.02	4.4	11.9	0.04	96	1.3	0.9	5.2	19.4	8.1	1.4	20.6	0.0009	0.2	2.2
F4	2.8	0.6	0.3	0.2	0.04	0.09	0.08	2.7	10.0	0.03	73	1.3	0.7	4.1	14.0	9.0	1.0	12.9	0.0007	0.4	1.6
F6	1.2	0.2	0.4	0.1	0.03	0.04	0.01	1.9	5.0	0.02	43	8.2	0.3	1.7	5.2	11.7	0.4	9.6	0.0028	0.6	0.8
F7	0.9	0.2	0.3	0.1	0.03	0.03	0.01	1.6	4.3	0.01	36	7.8	0.2	1.4	24.3	3.0	0.4	7.2	0.0007	0.1	0.6
F8	2.8	0.7	0.5	0.3	0.04	0.10	0.02	5.5	8.4	0.04	127	2.4	0.6	5.3	23.8	14.8	1.3	19.0	0.0006	0.2	1.8
G1	1.6	0.3	0.3	0.1	0.06	0.05	0.01	1.2	6.1	0.02	88	0.9	0.4	2.3	3.8	3.9	0.6	0.1	0.0004	0.1	0.8
H1	1.4	0.3	0.2	0.1	0.04	0.04	0.01	1.4	5.0	0.02	66	0.4	0.4	2.2	2.9	3.1	0.6	0.2	0.0005	0.1	0.8
H2	2.1	0.5	0.4	0.2	0.06	0.07	0.03	0.3	7.5	0.03	82	1.1	0.6	3.2	9.2	3.9	0.9	0.1	0.0005	0.4	1.2
I1	3.1	0.7	0.5	0.2	0.04	0.10	0.02	4.1	11.9	0.03	91	0.8	0.9	4.7	12.0	6.0	1.2	20.1	0.0018	0.2	1.9
I8	2.5	0.5	0.4	0.3	0.07	0.07	0.02	4.0	5.7	0.03	135	2.4	0.5	3.6	9.7	10.1	0.9	16.8	0.0005	0.4	1.6
J3	0.4	0.1	0.2	0.2	0.05	0.02	0.02	0.6	1.3	0.01	21	6.9	0.1	0.5	12.3	8.4	0.1	3.2	0.0005	0.4	0.2
K2	0.4	0.1	0.4	0.1	0.06	0.02	0.05	0.7	1.4	0.01	33	4.9	0.1	0.6	7.1	4.6	0.2	3.2	0.0004	0.2	0.3
K4	0.8	0.2	0.4	0.1	0.04	0.03	0.02	1.2	3.1	0.01	64	7.7	0.2	1.1	19.4	4.8	0.3	6.1	0.0010	0.3	0.5
K6	4.9	1.1	0.8	0.4	0.06	0.14	0.03	6.0	13.2	0.05	239	2.6	0.9	7.1	17.2	16.1	1.9	23.8	0.0005	1.2	2.7
La4	0.8	0.3	0.4	0.2	0.09	0.03	0.03	1.5	1.8	0.02	173	2.8	0.2	1.2	53.5	16.6	0.3	4.1	0.0009	0.7	0.4
Lb1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.07	0.01	0.01	0.4	0.7	0.01	43	6.0	0.1	0.3	4.0	122.0	0.1	5.2	0.0004	6.4	0.1
Lb5	1.0	0.3	0.3	0.2	0.13	0.05	0.04	1.9	2.1	0.03	205	6.3	0.3	1.7	41.3	106.0	0.4	5.6	0.0005	4.6	0.7
Lc2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.05	0.00	0.00	0.0	0.1	0.00	8	0.4	0.0	0.0	2.0	0.5	0.0	1.0	0.1000	0.0	0.0
Lc4	0.1	0.0	0.2	0.0	0.06	0.01	0.01	0.3	0.6	0.01	36	1.2	0.0	0.2	3.3	6.1	0.1	1.5	0.0004	0.2	0.1
M1	4.4	1.2	0.3	0.2	0.05	0.17	0.03	0.8	10.3	0.06	117	0.7	1.1	8.8	12.3	9.7	2.1	2.6	0.0007	0.7	2.3
N5	2.1	0.6	0.4	0.2	0.05	0.09	0.02	4.3	5.7	0.04	72	2.7	0.7	3.9	19.9	13.0	1.0	17.6	0.0005	0.5	1.2
N6	0.4	0.1	0.3	0.1	0.08	0.02	0.01	0.8	1.3	0.01	25	1.0	0.1	0.7	17.9	10.7	0.2	2.9	0.0005	0.3	0.3
N10	2.7	0.5	0.5	0.3	0.05	0.07	0.03	3.9	6.1	0.03	153	5.5	0.5	3.7	32.8	11.4	0.9	15.8	0.0008	0.3	1.7
O2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.04	0.01	0.01	0.4	1.0	0.01	38	2.5	0.1	0.3	15.9	8.8	0.1	2.0	0.0004	0.3	0.1

O4	0.1	0.0	0.1	0.1	0.06	0.00	0.01	0.1	0.1	0.01	8	1.5	0.0	0.1	7.7	1.6	0.0	0.3	0.0001	0.1	0.0
O7	0.2	0.1	0.2	0.1	0.03	0.01	0.01	0.4	1.4	0.01	48	7.6	0.1	0.4	16.7	6.8	0.1	2.6	0.0004	0.2	0.1
P2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.05	0.01	0.01	0.4	0.5	0.00	61	1.4	0.1	0.3	24.9	6.6	0.1	1.3	0.0003	0.3	0.1
P5	0.3	0.1	0.4	0.1	0.06	0.01	0.03	0.5	1.0	0.01	40	10.6	0.1	0.4	7.8	12.7	0.1	2.3	0.0004	0.5	0.2
P8	0.6	0.1	0.2	0.1	0.07	0.02	0.01	1.0	2.0	0.02	71	9.9	0.2	0.9	5.2	2.0	0.2	2.6	0.0027	0.3	0.4
Q2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.07	0.00	0.004	0.2	0.2	0.01	66	1.3	0.0	0.1	3.3	1.5	0.0	0.9	0.1000	0.1	0.0
Q4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.03	0.01	0.13	0.8	1.4	0.01	106	14.6	0.1	0.4	6.4	3.6	0.1	4.1	0.0005	0.2	0.2
Q6	0.4	0.1	0.2	0.1	0.06	0.02	0.01	0.9	2.3	0.01	44	12.4	0.2	0.6	19.8	4.1	0.2	3.5	0.0003	0.3	0.2
R2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.06	0.02	0.02	0.9	0.7	0.01	100	4.0	0.2	0.7	15.8	7.2	0.2	1.8	0.0002	0.4	0.2
Min	0.02	0.01	0.07	0.04	0.03	0.002	0.002	0.04	0.1	0.003	8	0.4	0.01	0.05	2	0.5	0.009	0.1	0.0001	0.04	0.01
Max	5	1.2	0.8	0.4	0.1	0.2	0.1	6.0	15	0.1	250	15	1.1	8.8	54	122	2	24	0.1	6.4	3.0
Prom	1.53	0.35	0.30	0.17	0.06	0.05	0.02	1.55	5	0.021	92	3.8	0.4	2.4	14	12.5	0.6	5.9	0.01	0.6	0.9
Desv. Est	1.50	0.34	0.16	0.11	0.02	0.04	0.02	1.60	4	0.015	61	3.7	0.31	2.4	11	24.3	0.5	6.9	0.02	1.2	0.9

Continuación de anexo 6

Estación	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
A3	0.2	0.2	0.4	4	0.019	0.024	0.020	0.345	53	0.03	0.01	0.2	3.6	0.1	0.5	0.1	70	1.7
B1	0.2	0.5	0.6	4	0.034	0.064	0.020	1.100	157	0.09	0.02	0.4	9.9	0.1	1.4	0.1	83	5.0
C4	0.2	0.4	0.5	5	0.029	0.045	0.026	0.692	118	0.05	0.01	0.2	8.1	0.1	0.9	0.1	114	3.8
D2	0.2	0.8	1.7	110	0.006	0.096	0.089	1.640	243	0.14	0.03	0.7	19.9	0.2	1.7	0.2	104	4.3
D3	0.2	1.5	3.0	9	0.013	0.179	0.067	0.966	330	0.20	0.05	0.7	29.9	0.2	0.5	0.3	318	0.1
D6	0.2	1.1	1.8	4	0.014	0.135	0.038	1.970	223	0.17	0.03	0.6	25.4	0.1	1.1	0.2	232	0.9
E3	0.2	1.0	2.1	193	0.007	0.127	0.075	1.860	338	0.16	0.04	0.9	30.5	0.2	2.4	0.3	154	9.0
F4	0.3	0.8	21.0	149	0.006	0.095	0.096	1.780	242	0.13	0.03	0.8	25.7	0.2	1.7	0.2	468	4.9
F6	0.2	0.3	0.8	8	0.001	0.040	0.123	0.727	107	0.06	0.01	0.7	15.4	0.1	1.0	0.1	85	4.4
F7	0.2	0.3	1.0	105	0.001	0.033	0.119	0.535	73	0.04	0.01	0.5	8.4	0.1	0.8	0.1	100	3.5
F8	0.2	1.0	1.9	10	0.005	0.117	0.225	2.250	189	0.14	0.03	0.8	20.3	0.2	2.6	0.2	180	9.3
G1	0.2	0.4	0.9	3	0.026	0.053	0.045	0.997	152	0.09	0.02	0.4	8.5	0.1	1.2	0.1	106	2.9
H1	0.8	0.4	0.8	7	0.031	0.051	0.034	0.963	166	0.08	0.02	0.3	8.2	0.1	1.1	0.1	83	3.7
H2	0.2	0.6	5.3	2	0.008	0.074	0.026	1.370	221	0.11	0.02	0.6	16.6	0.2	1.7	0.2	181	2.6
I1	0.2	0.8	1.0	201	0.005	0.111	0.097	2.350	297	0.15	0.03	0.9	25.4	0.2	2.2	0.2	108	6.5
I8	0.7	0.7	2.7	8	0.004	0.081	0.169	1.500	163	0.12	0.02	0.8	31.2	0.1	1.9	0.2	240	8.5
J3	0.2	0.1	4.1	9	0.001	0.014	0.189	0.187	28	0.05	0.01	0.6	4.9	0.1	0.5	0.1	177	8.1
K2	0.2	0.1	12.9	13	0.001	0.017	0.236	0.210	32	0.05	0.01	0.7	15.0	0.0	0.7	0.1	135	2.9
K4	0.2	0.2	5.0	9	0.000	0.029	0.266	0.429	70	0.06	0.01	0.5	7.3	0.1	0.9	0.1	131	5.7
K6	0.3	1.3	2.7	51	0.008	0.167	0.276	2.240	309	0.21	0.05	0.8	43.5	0.2	2.9	0.3	184	10.5
La4	0.4	0.2	4.7	9	0.003	0.031	0.299	0.445	72	0.05	0.01	0.6	5.8	0.2	1.0	0.1	269	7.4
Lb1	1.8	0.1	1.4	560	0.007	0.008	0.028	0.110	35	0.02	0.00	2.8	2.6	0.0	0.2	0.0	336	2.2
Lb5	0.3	0.3	9.9	9	0.003	0.044	0.193	0.620	115	0.11	0.02	1.2	8.5	0.1	1.4	0.1	304	7.8
Lc2	1.1	0.0	0.3	1	0.002	0.001	0.057	0.008	5	0.01	0.00	0.6	1.7	0.0	0.1	0.0	205	1.2
Lc4	0.2	0.0	2.6	20	0.003	0.008	0.085	0.059	17	0.07	0.00	0.4	1.9	0.0	0.3	0.0	105	1.6
M1	0.2	1.5	2.9	84	0.004	0.198	0.089	1.320	370	0.22	0.06	1.0	17.4	0.2	0.8	0.4	195	2.3
N5	0.2	0.7	3.0	9	0.009	0.093	0.149	1.640	238	0.15	0.03	1.1	12.5	0.2	2.4	0.2	192	6.6
N6	0.4	0.1	2.0	8	0.012	0.017	0.112	0.377	47	0.03	0.01	1.3	2.8	0.1	0.5	0.0	363	2.2
N10	0.2	0.7	3.3	11	0.003	0.083	0.258	1.660	171	0.12	0.02	1.0	17.2	0.2	2.0	0.2	182	7.8
O2	0.2	0.1	2.4	10	0.006	0.009	0.222	0.131	17	0.03	0.004	0.5	1.9	0.1	0.4	0.0	154	7.1

O4	0.5	0.0	1.2	1	0.004	0.002	0.029	0.031	15	0.02	0.001	1.1	1.1	0.0	0.1	0.0	116	2.0
O7	0.2	0.1	1.6	16	0.004	0.009	0.132	0.160	19	0.02	0.004	0.5	2.5	0.1	0.4	0.0	152	2.9
P2	0.2	0.1	1.3	28	0.005	0.008	0.241	0.082	21	0.04	0.003	0.3	2.2	0.1	0.4	0.0	117	1.7
P5	0.2	0.1	6.1	9	0.001	0.012	0.208	0.188	25	0.02	0.01	0.8	10.4	0.1	0.5	0.0	133	4.9
P8	0.2	0.2	1.9	1	0.001	0.021	0.100	0.443	49	0.04	0.01	0.9	7.0	0.1	0.6	0.1	93	5.1
Q2	0.2	0.0	0.6	9	0.004	0.004	0.120	0.069	9	0.02	0.00	0.4	3.9	0.0	0.2	0.0	122	1.9
Q4	0.2	0.1	34.0	1	0.000	0.015	0.021	0.209	24	0.02	0.01	0.6	9.3	0.1	0.4	0.0	173	4.3
Q6	0.7	0.1	1.5	261	0.002	0.021	0.042	0.235	39	0.03	0.01	0.8	5.2	0.1	0.5	0.1	140	2.5
R2	0.2	0.2	3.1	1	0.004	0.029	0.014	0.170	39	0.05	0.01	0.9	6.1	0.1	0.8	0.1	289	3.1
Min	0.2	0.01	0.3	1	0.0002	0.0014	0.0140	0.008	5	0.008	0.001	0.2	1.1	0.01	0.1	0.01	70	0.1
Max	1.8	1.5	34.0	560	0.0	0.2	0.3	2.4	370	0.2	0.1	2.8	44	0.2	2.9	0.4	468	11
Prom	0.3	0.4	3.9	50	0.007	0.056	0.119	0.822	124	0.082	0.017	0.7	12	0.1	1.1	0.1	177	4
Desv. Est	0.3	0.4	6.3	105	0.009	0.053	0.086	0.737	109	0.060	0.015	0.4	10	0.1	0.8	0.1	89	3