



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

DEPARTAMENTO DE OCEANOLOGÍA
Laboratorio de Geología Marina



*Geoquímica de los oligoelementos, elementos mayores y
elementos de las tierras raras, en los sedimentos marinos del
distrito minero de Santa Rosalía, B.C.S, México.*

TESIS COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

CON ESPECIALIDAD EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA:

Geol. Griselda Margarita Rodríguez Figueroa

La Paz B.C.S., México. 2004



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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 10:00 horas del día 30 del mes de Enero del 2004 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"GEOQUÍMICA DE LOS OLIGOELEMENTOS, ELEMENTOS MAYORES Y ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS, EN LOS SEDIMENTOS MARINOS DEL DISTRITO MINERO DE SANTA ROSALÍA, B.C.S., MÉXICO"

Presentada por el alumno:

RODRÍGUEZ
Apellido paterno

FIGUEROA
materno

GRISelda MARGARITA
nombre(s)

Con registro:

9	3	0	4	1	0
---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN CIENCIAS MARINAS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA

PRESIDENTE

EVGUENI CHOUMILINE NIKOLAYEVICH
Co-Director

SECRETARIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE

SEGUNDO VOCAL

DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SANCHEZ

TERCER VOCAL

DR. RAÚL MIRANDA AVILES

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. FRANCISCO ARREGUIN SANCHEZ



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 23 del mes Marzo del año 2004, el (la) que suscribe GRISELDA MARGARITA RODRÍGUEZ FIGUEROA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN CIENCIAS MARINAS con número de registro 930410 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA y cede los derechos del trabajo titulado: "GEOQUÍMICA DE LOS OLIGOELEMENTOS, ELEMENTOS MAYORES Y ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS, EN LOS SEDIMENTOS MARINOS DEL DISTRITO MINERO DE SANTA ROSALÍA, B.C.S., MÉXICO" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: grodriguez@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


GRISELDA MARGARITA RODRÍGUEZ FIGUEROA
nombre y firma

DEDICATORIA

A mi madre Imelda Figueroa Robles por la libertad de pensamiento que me regaló y me permite estar en cualquier camino imaginable, con todo mi amor.

A mi hermana Maricarmen Rodríguez Figueroa por que su fuerza y tenacidad siempre me ha alimentado, con todo mi amor.

A mis hermanas Saray y Loreley y mi hermano Alfonso por comprender mis instintos y quererme, con todo mi amor.

A mi padre quien me hizo ser fuerte.

A mis segundas familias, Espinoza-Rodríguez, López-Espinoza, Miranda-Puy y Puy-Alquiza Isabel en donde encontré apoyo y amor.

A mis hijos Axel y Orson porque me hacen única y a mi esposo Jorge Ascencio Valle por todos los buenos momentos de amor en nuestra vida juntos, con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y del Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) durante el desarrollo del trabajo y al Departamento de Oceanología (CICIMAR-IPN).

De manera especial, al Dr. Evgueni Choumiline por su invaluable interés, dedicación y paciencia recibidas durante la elaboración de éste trabajo y mi formación como investigador.

Al Dr. Federico Páez-Osuna por aceptar mi propuesta de tesis, guiarme y dedicarme parte de su tiempo personal durante el análisis de las muestras.

Al Dr. Enrique Nava-Sánchez, Dr. Raúl Miranda-Avilés y Dr. Rafael Cervantes-Duarte por aceptar formar parte de mi comité revisor, las sugerencias y comentarios que sin duda enriquecieron éste trabajo.

De manera especial al Ocean. Lucio Godínez Orta por su continua motivación a estar siempre en constante superación e involucrarme en la investigación de las ciencias marinas.

Gracias a todos mis amigos por su amistad e interés en mi desarrollo, y recordándoles que el orden no altera el producto en especial agradezco ala M.C. Yosune Puy Alquiza y esposo por las interminables discusiones sobre la tesis, a la M.C. A. Patricia Rodríguez Castañeda y M.C. Fernando Aguirre Bahena por su permanente apoyo y colaboración, a la M.C. Durga Rodríguez Meza por ayuda y sugerencias, a la Lic. Malva Laura Manzanos por colaborar ampliamente en la edición de éste trabajo y sólo porque soy su amiga, a Susana Cárdenas por las facilidades en todo momento, al M. en C. Christophe Clarens por su entusiasmo, colaboración y amistad, a Omar Benítez, M. en C. Mirtha O. Albañez Lucero por su aliento y amistad, a Gabriela Cabeza de Vaca, Elizabeth Salas, Toño, Adriana y Santi por su respaldo y amistad, Guillermo Martínez Flores, José A. Hinojosa, Carlos Romero Bañuelos, Juan Fuentes, Ana Judith Marmolejo, René Magallanes, José Borges por su amistad, a Vera Camacho y Cuahutémoc Turret Thomson por su espíritu de cambio y amistad, al Dr.Sergio Troyo por su interés, y a los abuelos de mis hijos.

Y nuevamente al Dr. Evgueni Choumiline por su confianza.

RESÚMEN

Los sedimentos recientes del medio marino y los materiales de los distintos ambientes continentales (arroyo, playa y desechos sólidos) del distrito minero de Santa Rosalía fueron examinados utilizando análisis por activación neutrónica y espectrofotometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), con el objetivo de conocer sus características geoquímicas y el grado de la influencia antropogénica. Quedó demostrado cierto enriquecimiento natural en Co, Ni, Zn, As, Se, Sb, Ba, U y Hg en los materiales de arroyo que corresponde a la composición litogénica y a los emplazamientos minerales de ésta región. En los restantes ambientes las concentraciones excedieron los niveles de referencia, generando anomalías de los oligoelementos mencionados y otras de Cu, Cr, Sr, Cd y Pb relacionadas a la explotación y procesamiento del yacimiento de cobre que causaron el enriquecimiento adicional en los sedimentos de esta área. La acumulación de oligoelementos y elementos de las tierras raras (ETR) está representada por la secuencia: sedimentos de arroyo << arenas de playa << desechos sólidos. Los materiales de los arroyos pueden considerarse sin alteración antropogénica, los sedimentos de playa como enriquecidos y los desechos sólidos como materiales altamente contaminados. Para los elementos de las tierras raras (ETR) se obtuvieron los patrones de sus concentraciones normalizadas con la lutita norteamericana que exhiben el enriquecimiento de los ETR intermedios, sobresaliendo la anomalía positiva de Eu generalmente reportada como producto de efluentes hidrotermales lo cual coincide con la hipótesis del origen del yacimiento. Las distribuciones espaciales de la concentración en los sedimentos marinos revelan la existencia de tres zonas de acumulación para la mayoría de los elementos analizados: a) la dársena de Santa Rosalía, b) la desembocadura del arroyo El Boleo y c) la desembocadura del estero San Luciano. En estas áreas se mostró tendencia de disminución en el contenido de elementos en sus sedimentos marinos con el aumento de la distancia a la costa.

ABSTRACT

The modern marine sediments and materials of different continental environments (arroyo, beach and solid wastes) from the mining district of Santa Rosalía were examined using neutronic activation analysis (NAA) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with the aim to know their geochemical characteristics and the extent of the anthropogenic influence. The results demonstrated certain natural enrichment in Co, Ni, Zn, As, Se, Sb, Ba, U and Hg for materials of arroyo corresponding to the lithogenic composition and the mineral emplacement of this region. The concentrations in other environments exceed background levels of reference, generating the anomalies of contents of the above mentioned trace metals as well as of Cu, Cr, Sr, Co and Pb attributed to the exploitation and processing of the copper ore which caused the additional enrichment in the sediments of this area. The accumulation of the trace metals and the rare earth elements (REEs) follows the next sequence: arroyo's sediments << beach sands << solid wastes. The materials of the arroyo can be considered as not being anthropogenic influenced, the beach sediments as enriched and the solid wastes as highly contaminated. The shale normalized patterns (North American shale composite) obtained for REEs exhibited

the enrichment for the middle REEs, with the dominance of the positive anomalies of Eu, generally reported as a product of hydrothermal effluents, which agree the hypothesis of the ore origin. The spatial distributions of concentrations in the marine sediments showed the existence of three accumulation zones for most of the analyzed elements: a) the Santa Rosalía harbor, b) the mouth of the El Boleo arroyo, and c) the mouth of the San Luciano inlet. The tendency of the marine sediments to decrease in element concentration with increase in distance to the coast was apparent for these areas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. OBJETIVOS	15
4.1. Objetivo General	15
4.2. Objetivos Particulares	15
5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	16
5.1. Area de estudio	16
5.2. Geomorfología	16
5.3. Descripción geológica del área	17
5.4. Yacimientos minerales	19
6. METODOLOGÍA	23
6.1. Localización del área de estudio	23
6.2. Obtención de muestras	23
6.3. Análisis químicos	25
6.3.1. Determinación de carbono orgánico y de los carbonatos	25
6.3.2. Análisis de los elementos mayoritarios y oligoelementos	25
6.3.2.1. Análisis por activación neutrónica instrumental	25
6.3.2.2. Análisis por ICP-MS	27
6.3.2.3. Análisis por absorción atómica	27
6.3.2.4. Determinación del mercurio	28
6.4. Tratamiento de los datos	28
6.4.1. Tratamiento estadístico de los datos y elaboración de las distribuciones espaciales de los elementos	28
6.4.2. Estimación del factor de enriquecimiento de los elementos	28
6.4.3. Normalización para los elementos del grupo de las tierras raras (ETR)	29
7. RESULTADOS	31
7.1. Concentración y distribución espacial de componentes y elementos mayoritarios, oligoelementos y ETR en los distintos ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía.	31
7.1.1. Componentes mayoritarios.	31
7.1.2. Elementos mayoritarios.	35
7.1.3. Oligoelementos en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.	44
7.2. Niveles de concentración y distribución espacial de las concentraciones de elementos de las tierras raras.	74
8. DISCUSIÓN	92
8.1. Factores de enriquecimiento de los elementos mayoritarios y oligoelementos en los diferentes ambientes sedimentarios del distrito minero de Santa Rosalía	92
8.2. Concentraciones normalizadas con la lutita de los elementos de las tierras raras (ETR) en los diferentes ambientes sedimentarios del distrito minero de Santa Rosalía.	97
8.3. Las asociaciones de los elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.	100
8.3.1. Correlaciones entre los elementos mayoritarios, oligoelementos y ETR en los sedimentos marinos superficiales del distrito minero de Santa Rosalía.	100
8.3.2. Análisis de los componentes principales.	101
8.3.3. Análisis de grupos.	102

8.3.4. Análisis de variancia (ANOVA).	104
8.4. Comparación geoquímica de los sedimentos marinos superficiales del distrito minero de Santa Rosalía con los abanico-deltas prístinos de la giganta y Loreto	109
8.4.1. Elementos mayoritarios y oligoelementos.	109
8.4.2. Comparación de los patrones normalizados de los elementos del grupo de las tierras raras con la lutita Norteamericana.	113
9. CONCLUSIONES	114
10. BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS	
Anexo I	127
Anexo II	127
Anexo III	128
Anexo IV	128
Anexo V	129
Anexo VI	129
Anexo VII	129
Anexo VIII	129
Anexo IX	130
Anexo X	130
Anexo XI	130
Anexo XII	130
Anexo XIII	131
Anexo XIV	133
Anexo XV	135
Anexo XVI	136

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.	Localización del área de estudio e hidrología principal de la cuenca de drenaje de Santa Rosalía	20
Fig. 2.	Subprovincias geológicas	21
Fig. 3.	Carta geológica de la cuenca de Santa Rosalía, tomada de Wilson <i>et al.</i> (1955) y modificada por Miranda (2002)	22
Fig. 4.	a) Localización de las estaciones de muestreo en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía, b) Batimetría del área	24
Fig. 5.	Distribución espacial de la concentración de CaCO ₃ (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	32
Fig. 6.	Distribución espacial de la concentración de carbono orgánico (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía Variación del pH con la salinidad durante la mezcla estuarina	34
Fig. 7.	Distribución espacial de la concentración de Na (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	40
Fig. 8.	Distribución espacial de la concentración de K (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	41
Fig. 9.	Distribución espacial de la concentración de Ca (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	42
Fig. 10.	Distribución espacial de la concentración de Fe (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	43
Fig. 11.	Distribución espacial de la concentración de Co (µg/g) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	46

	marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	86
Fig. 39.	Distribución espacial de la concentración de Ho ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	87
Fig. 40.	Distribución espacial de la concentración de Er ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	88
Fig. 41.	Distribución espacial de la concentración de Tm ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	89
Fig. 42.	Distribución espacial de la concentración de Yb ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	90
Fig. 43.	Distribución espacial de la concentración de Lu ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía	91
Fig. 44.	Factores de enriquecimiento de las concentraciones promedio de los elementos en sedimentos de a)arroyos y b) playa	94
Fig. 45.	Factores de enriquecimiento de las concentraciones promedio de los elementos en sedimentos superficiales de a) desechos sólidos y b)marinos	95
Fig. 46.	Comparación de la concentración de ETR en la muestra de mineral de cobre con la lutita norteamericana y también contra su concentración normalizada	97
Fig. 47.	Comparación de la concentración de ETR en los distintos ambientes sedimentarios y con la muestra de mineral de cobre	99
Fig. 48.	Asociaciones de elementos mayores, traza y ETR, por el análisis de factores en los sedimentos de los diferentes ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía.	103
Fig. 49.	Comparación de la concentración normalizada de ETR en el distrito minero de Santa Rosalía y los abanico-deltas de La Giganta y Loreto	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Estándares de referencia de los sedimentos marinos y estuarinos SRM 1346, IAEA-356 Y SD-N-1/2 (IAEA).	26
Tabla 2.	Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos mayores y oligoelementos en los sedimentos de arroyo del distrito minero de Santa Rosalía.	36
Tabla 3.	Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos mayores y oligoelementos en los sedimentos de playa del distrito minero de Santa Rosalía.	37
Tabla 4.	Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos mayores y oligoelementos en los sedimentos de desechos sólidos del distrito minero de Santa Rosalía.	38
Tabla 5.	Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos mayores y oligoelementos en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.	39
Tabla 6.	Concentración de aluminio en los diferentes ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía.	74
Tabla 7.	Concentraciones de las tierras raras (rangos subrayados, promedio y desviación estándar abajo) en los distintos ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía, en la muestra de mineral de cobre y	

	en la lutita norteamericana.	75
Tabla 8.	Concentración promedio, desviación estándar y valores del FE calculados a partir de los análisis realizados por ICPMS, para elementos de importancia ambiental.	96
Tabla 9.	Análisis de componentes principales para los elementos mayoritarios y “traza”, carbonatos y carbono orgánico en los sedimentos marinos superficiales del Distrito Minero de Santa Rosalía.	102
Tabla 10.	Peso de cada elemento dentro de los dos componentes principales con matriz rotada (varimax > a .70).	102
Tabla 11.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov. Evaluación de normalidad	105
Tabla 12.	Prueba de Bartlett. Evaluación de homocedasticidad.	106
Tabla 13.	Prueba de Levene´s (ANOVA) para homogeneidad de variancias.	107
Tabla 14.	Prueba de Tukey	108
Tabla 15.	Factores de enriquecimiento (FE´s) sobresalientes para los sedimentos marinos del Distrito Minero de Santa Rosalía, La Giganta y Loreto.	110
Tabla 16.	Media aritmética, desviación estándar y factor de enriquecimiento de los elementos mayores y oligoelementos de los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía, abanico-delta de La Giganta y Loreto.	112

1. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados (Cu, Zn, Ni, Co, Cd, Pb, Hg, As y otros) se consideran entre los contaminantes de alta prioridad, los cuales en concentraciones altas representan un peligro para los ecosistemas terrestres y marinos (Clark, 1997; Gray *et al.*, 2002). La presencia de tales contaminantes en el medio marino es un resultado de la migración biogeoquímica de los elementos desde las fuentes naturales y antropogénicas situadas principalmente en el continente y transportadas por vías fluviales y atmosféricas hacia las cuencas de depósito final en los mares marginales y en el océano (Förstner, 1979; Salomons and Förstner, 1984; Chester, 1990; Anikiev *et al.*, 2001; Anikiev *et al.*, 2000).

Entre las numerosas fuentes antropogénicas por las cuales ingresan los metales al ambiente, Wittmann y Förstner (1975) proponen las siguientes: (1) procesos industriales minero-metalúrgicos, (2) producción de cemento y consumo de combustibles fósiles, (3) utilización de metales y componentes metálicos, y (4) lixiviación de los metales desde los depósitos de desperdicios sólidos y basura en general. Los procesos anteriores aportan los metales pesados y otros elementos traza al océano a niveles regionales y locales. De manera particular en el área de estudio destacó la actividad minera, por lo cual para ésta investigación se deben tomar en cuenta sobre todo los puntos 1 y 4 antes mencionados. En años recientes se ha incrementado el número de publicaciones orientadas a la geoquímica de este tipo de fuentes y sobre todo a la evaluación de las consecuencias ambientales que provocan la extracción y procesamiento de los minerales en las áreas cercanas a la zona costera, pero en su mayoría estos estudios se realizaron principalmente en zonas con clima templado (Macdonald *et al.*, 1991; Macdonald y Crecelius, 1994; Elbaz-Poulichet y Leblanc, 1996; Achtenberg *et al.*, 1999). Recientemente este tipo de investigaciones biogeoquímicas empezaron a aplicarse a las áreas con clima desértico y semi-desértico (Wray, 1998).

Una de las regiones interesantes para éste tipo de estudios es la conjunción de la Península de Baja California con el Golfo de California. En la porción central de la costa oriental de la península se encuentra el distrito minero de Santa Rosalía, el

cual se destaca por la presencia de yacimientos de minerales de cobre-cobalto, manganeso y yeso (Escandón, 1995., Wilson *et al.*, 1955), los cuales tienen altas concentraciones de metales pesados, tales como Cu, Zn, Co, Pb, Mn, Ag y, probablemente, otros elementos de importancia ambiental (Wilson y Rocha, 1955). La extracción de los minerales de cobre de las numerosas minas subterráneas y la producción del cobre metálico en la planta de fundición fue de gran importancia durante 117 años, entre 1868 y 1985. A partir de su descubrimiento y hasta 1885 se desarrolló la pequeña minería, e inició un segundo período de 1885 a 1948 a cargo de la compañía francesa *Compagnie du Boleo*, posteriormente hay una etapa de transición hasta 1953 durante la cual la empresa estatal mexicana "Santa Rosalía" (1953-1985) se mantuvo operando, la producción total generada durante las actividades mineras fue de 16'333,400 toneladas (Christoffersen, 1997 en Monografía Geológico-Minera del Estado de Baja California Sur, 1999) tanto de mineral de cobre como de cobre metálico, con una producción anual aproximada de 220 mil toneladas de mineral de cobre y 8 mil toneladas de Cu (Wilson y Rocha, 1955). En consecuencia al desarrollo minero-metalúrgico se generaron enormes cantidades de desechos sólidos, los cuales se almacenaron en la costa o fueron vertidos al mar adyacente. Las minas de cobre fueron abandonadas en los años ochenta de siglo XX por razones económicas, pero con nuevas y modernas tecnologías de extracción mineral, las compañías "Curator" (Canadiense) e "Hidromet" (EUA) realizaron un estudio de la factibilidad para reactivar la industria minera extractiva en esta área (Anónimo, 1996).

Con ésta perspectiva (geológico-antropogénica) se considera necesaria una investigación geoquímica para evaluar los niveles de los contenidos de oligoelementos, elementos mayoritarios y del grupo de las tierras raras en tres ambientes sedimentarios arroyo, playa y marino del distrito minero de Santa Rosalía y determinar las características de las distribuciones espaciales de los elementos en los sedimentos costeros del mar adyacente.

2. ANTECEDENTES

Durante las últimas décadas, se han desarrollado estudios de aportes de metales hacia los sedimentos en diferentes ambientes de depósito y sus posibles implicaciones ecológicas que derivan del incremento de las actividades desarrolladas por el hombre y que han multiplicado los aportes naturales de los metales al océano y su participación en los ciclos biogeoquímicos. Existen trabajos básicos sobre las **abundancias de elementos en la corteza** como el de Taylor (1964) que permite tener niveles de referencia, así como el de Loring (1991) sobre normalización de los contenidos de metales pesados en los sedimentos, con la cual se determinan las contribuciones relativas de los elementos y el origen natural ó antropogénico. Voutsinou y Varnavas (1995) analizaron los patrones geoquímicos y sedimentológicos en el Golfo de Thermaikos, en donde determinaron que el Pb, Cu y Zn provienen de una misma fuente, principalmente de las descargas del drenaje, de la zona industrial y de los ríos. Los autores sugieren que la concentración de los metales se asocia a la fracción fina, esencialmente a arcillas y materia orgánica. El cadmio se relaciona pobremente al Pb, y el Cu y Zn proceden de las actividades antropogénicas y del intemperismo de las rocas de composición ofiolítica de la zona. El Fe, Cr, Ni, Co y Mn son de origen natural, y las rocas máficas y ultramáficas son las responsables de su enriquecimiento, siendo esto más evidente para el níquel, ya que se encontró mayormente enriquecido en sedimentos gruesos y mejor seleccionados.

Sobre el papel de la **depositación de metales desde la atmósfera** al ambiente marino, destaca el trabajo de Wu *et al.* (1994) realizado para la Bahía de Chesapeake (Noreste de los Estados Unidos) en dos sitios dentro de la zona costera, donde se examinan las variaciones espacio-temporales de las partículas en el aerosol, las fuentes y flujos de depositación seca sobre la superficie de la Bahía de 44 elementos, incluyendo 14 elementos de interés para calidad de agua (Al, As, Cr, Fe, Mn, S, Se, V, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb). Las concentraciones de elementos no procedentes de la corteza V, Se, Cr y Zn fueron elevadas en invierno y el Al, Fe, y Mn (elementos con substancial residencia en la corteza) durante primavera-verano. Las concentraciones promedio anual son esencialmente diferentes en los sitios de

muestreo. Mediante el cálculo de balance de masas los autores relacionan los contenidos altos de Cr, Cd, Sb y Zn en el aire de la Bahía a incineraciones, V a la combustión de aceite, S a los sulfatos que provienen del yacimiento regional, Se a la combustión de carbón, el As al impacto de la industria del acero, Al, Fe y Mn fueron asociados al tipo de suelo con pequeñas acumulaciones procedentes de la combustión de madera, del carbón y acero. El Pb y Cd tuvieron alta correlación y fueron asociados a la combustión de los vehículos.

De los estudios realizados sobre el **aporte de los metales al mar por vía fluvial**, en el trabajo de Subramanian (1993) se analizó el transporte de elementos traza contaminantes tales como el Fe, Mn, Cu, Pb y Zn en el material particulado suspendido, encontrando que los niveles de estos contaminantes varían estacionalmente y que el enriquecimiento de estos metales es relativo a los sedimentos del fondo del estuario. Las concentraciones de estos contaminantes son comparables a las registradas para ríos como el Rhine y otros sistemas altamente influenciados por el hombre. Cossa (1990) realizó un monitoreo sobre la contaminación metálica (Hg, Cd, Pb, Zn, etc.) pasada y presente del estuario San Lawrence y del fiordo Saguenay tanto en agua, partículas suspendidas, sedimentos y biota, a partir de un serio problema de contaminación con mercurio en los años 70's, los resultados mostraron un considerable descenso en los niveles de este elemento en los últimos 15 años. Sin embargo, los niveles de otros metales (por ejem., Pb) potencialmente tóxicos denotan la influencia antropogénica, pero sin ser peligrosos para la vida marina. Con respecto a las posibles fuentes relacionadas a la **introducción de metales al ecosistema marino** se mencionan la combustión de combustibles, las fábricas cloro-alcalinas y las industrias mineras. También Cossa *et al.* (1992) analizaron un perfil vertical de mercurio de la columna de agua del Atlántico Norte en relación con el arsénico, cadmio y cobre, indicando que las concentraciones pico molar (pM) de estos metales en aguas oceánicas tienen un comportamiento relacionado con los nutrientes, la remineralización de detritos orgánicos, la movilización de sedimentos y la advección de las masas de agua. En el caso del mercurio y arsénico se sugiere la vía atmosférica como primera fuente y el transporte lateral de aguas marginales contaminadas hacia aguas oceánicas.

En cuencas inherentes a regiones de gran actividad industrial y altamente pobladas como en Santa Mónica, California, Finney y Huh C.-A. (1989) han revisado la historia de contaminación por metales a través de núcleos, explicando los eventos (1960-1970) máximos de contaminación por metales (Pb, Zn, Cr) y carbono orgánico y la disminución de los mismos, en años recientes. Además mencionan que la precipitación de otros elementos que se encuentran enriquecidos en la cuenca como Fe, Co, Cu y P se relaciona también a factores como la diagénesis temprana de los sedimentos y la acción antropogénica. Balls *et al.* (1997) realizaron un estudio de oligoelementos (Cd, Cu, Pb, Cr, Zn, As, Ni y Hg) en sedimentos estuarinos y costeros de Escocia, concluyendo que las concentraciones de metales traza en los sitios costeros son similares a los niveles de referencia, en tanto que en los estuarios se detectaron áreas contaminadas. Los metales mostraron correlación cercana con el Al y carbono orgánico, así como a la fracción fina (< de 63 μm) del sedimento. En el artículo de Knoppers *et al.* (1990) se documenta la calidad ambiental con respecto a los nutrientes, metales pesados, y microcontaminantes de la Laguna Guarapina en Brasil. Las concentraciones de nutrientes y metales fueron bajas, parecidas a las condiciones naturales. La excepción es el Pb, que está presente junto con microcontaminantes orgánicos sugiriendo una contaminación menor que ocurre vía atmosférica. Howard y Apte (1988) describen la distribución del arsénico en el estuario Tamar. La concentración en aguas dulces del estuario es de 2.7 $\mu\text{g/L}$ incrementándose a 8.8 $\mu\text{g/L}$ de arsénico en las planicies de inundación (agua salobre). Tal diferencia fue constante con respecto a la salinidad, por lo que la distribución y concentración de As es atribuido al drenaje a través de suelos metalíferos, a las descargas derivadas de la minería y a la actividad industrial. Adicionalmente, mencionan la intervención de los procesos de remoción de arsénico de los sedimentos del fondo como resultado de la mezcla en el estuario, así como a los procesos de metilación del arsénico en periodos de actividad biológica alta. Un caso especial en geoquímica marina de los elementos traza son los **aportes de estos metales por los sistemas hidrotermales** (Chester, 1990). Por ejemplo, Godfrey *et al.* (1994) estudiaron el comportamiento del Pb en ventilas hidrotermales del Atlántico y observaron que los sedimentos de origen hidrotermal son más

elevados en Pb que los ambientes marinos, y consisten de una mezcla de Pb no radiogénico y una fuente radiogénica. La porción radiogénica de plomo es terrígena y el Pb disuelto en el agua marina es atribuible a fluidos hidrotermales. La concentración máxima de Pb se mantuvo constante en la porción superficial de la columna de agua y niveles más bajos se observaron a 1 km de profundidad. Este comportamiento es producto de la invasión de Pb de origen antropogénico dentro de los océanos.

Sholkovitz (1995) realizó un trabajo sobre la **química acuática de los elementos de las tierras raras (ETR)** en ríos y estuarios (Connecticut, Hudson y Mississippi). Las principales implicaciones geoquímicas encontradas fueron: (1) la concentración y fraccionación de las ETR disueltas en las aguas de los ríos son altamente dependientes del pH, de la presencia de coloides y de la salinidad. Con el pH la relación es inversa, a alto pH las concentraciones son bajas y la fraccionación es mayor relativa a la abundancia de la corteza. (2) la existencia de una interrelación directa entre la concentración de coloides y Fe. Y, (3) la adición de agua marina a los ríos causa coagulación de ETR coloidales (<0.22 μm) de la fracción disuelta, induciendo el enriquecimiento de ETR, principalmente de la fracción ligera.

Greaves y Elderfield (1999) hicieron determinaciones de **ETR en agua marina superficial** sobre una sección longitudinal desde Asia hasta América del Norte en donde encontraron que las concentraciones eran significativamente altas cerca de Asia y menores hacia América del Norte, evidenciando que la composición de ETR en el agua marina es significativamente afectada por los procesos oceanográficos cuyas implicaciones están evidenciadas en los registros paleoceanográficos.

Courtois y Hoffert (1977) identifican que el patrón de los **ETR en los sedimentos superficiales** del sur-este del Pacífico es similar a su distribución en agua marina. Se detectó una anomalía negativa de Ce más o menos pronunciada que no puede estar directamente relacionada con el contenido de CaCO_3 en los sedimentos. Se observa una deflexión decreciente hacia la zona costera relacionada con el incremento de la contribución detrítica del continente. En el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico De Baar *et al.* (1985) reportaron los perfiles de ETR en agua marina, observando que las concentraciones de ETR con excepción del Ce, son de dos a tres veces más altas en el Pacífico que lo observado en el Atlántico. La

deflexión del Ce es fuerte en el Pacífico pero menor en la capa del mínimo de oxígeno.

Elbaz-Poulichet y Dupuy (1999) describen el comportamiento de los **ETR en material disuelto y particulado suspendido** en la zona de mezcla con agua salada de los ríos Tinto y Odiel, España y que además son altamente afectados por drenes ácidos-mineros. Ellos encontraron que el material suspendido es mayor por un factor arriba de 3000 comparando con la porción disuelta. Los complejos con SO_4^{2-} tienen un papel dominante en la distribución de las ETR y por lo tanto ambos reflejan la influencia de zonas urbanas industrializadas también de que en parte de sus cuencas se incluye uno de los mayores depósitos de sulfuros en el mundo. Mitra y Elderfield (1994) estudiaron **fluidos submarinos hidrotermales y plumas** en la cordillera Media-Atlántica, especificando el enriquecimiento por factores de 10^2 en ETR ligeras, 10^3 en Eu y 10^1 en ETR pesadas con respecto al agua marina. El efecto es conservativo a 0.5 m y hay dilución desde 100 m hasta 700 m a mayor distancia (40-100 m) de la ventila hidrotermal decayendo a niveles propios del ambiente marino. Por otra parte, se demostró que los procesos de captura durante la precipitación de oxihidróxidos de hierro eliminan el impacto de la actividad hidrotermal sobre el agua marina. Douglas y Adeney (2000) en estudios in-situ sobre los ciclos diagenéticos de **ETR en los sedimentos estuarinos** (Swan, Australia) coinciden en que concentraciones significativas de ETR se acumulan bajo condiciones redox oxidantes durante la formación de oxihidróxidos de Fe-Mn diagenéticos. Este proceso depende de los cambios en los aportes de elementos traza tanto en la columna de agua como en el sedimento y de cambios físico-químicos en el fondo y agua intersticial. Mencionan que al preservarse los oxihidróxidos de Fe-Mn en la capa superficial de los sedimentos, la diagénesis secundaria puede entonces enriquecer el perfil sedimentario y la disolución parcial ó completa de los productos diagenéticos puede empobrecerlos. En ambos casos los registros históricos de las fuentes naturales ó antropogénicas de elementos traza pueden ser modificados provocando una sobreestimación ó subestimación de los flujos de elementos traza según sea el caso. Los procesos diagenéticos pueden ocurrir rápido ó ser influenciados estacionalmente.

La **geoquímica de los sedimentos de la plataforma continental** canadiense es analizada por MacDonald y Pedersen (1991). Ellos sugieren que existe influencia terrígena de las plataformas cercanas, que el estado químico de los sedimentos depende de la tasa de material incorporado y de la energía de erosión y depositación, así como de la composición orgánica e inorgánica del sedimento. Finalmente los rasgos anteriores más las características del agua del fondo controlan el estado redox en el ambiente. La comparación con ambientes sedimentarios antiguos cercanos al área proporciona información necesaria para el establecimiento cronológico de eventos naturales e impacto antropogénico.

Crecelius *et al.* (1991) estudiaron sedimentos de plataforma interna del mar de Beaufort (Océano Ártico), encontraron que las concentraciones de metales traza en los sedimentos son consistentes con otras áreas costeras cercanas, y que la variabilidad de concentración se relaciona a la distribución del tamaño de grano. El resultado de las correlaciones entre los elementos es razonable por lo que se sugiere una fuente de material para los metales estudiados sin encontrar contaminación relacionada a las actividades de la zona costera.

Martín *et al.* (1993) estimaron los contenidos de **elementos traza disueltos y particulados en el estuario** del río Lena (Rusia), observando que su distribución refleja la proporción del material detrítico (90%-50%) suspendido en la zona de mezcla. Las concentraciones detectadas son comparables con otros sitios prístinos en el mundo. Algunos elementos se asociaron preferentemente a la materia orgánica y otros como el Cu y el Ni a las arcillas minerales, para el Pb y Zn no se diferenciaron ninguna asociación. Se encontró que la porción disuelta y la fase particulada mantienen una pequeña transferencia elemental, con excepción del Fe que usualmente es removido y el As que puede ser capturado por el fitoplancton. Loring *et al.* (1995) indicaron que la mayor parte de la materia orgánica de los sedimentos del Mar Pechora (Rusia) son de origen marino, mezclados con material terrígeno proveniente de áreas costeras cercanas. El resultado de la normalización de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V y Zn indicó niveles naturales debidos a la variabilidad mineralógica y sedimentológica. Sin embargo, el contenido de As (radioactivo) fue alto en la fracción fina y asociado a las explosiones nucleares durante los 50s y 60s.

Contrastando con otras partes en el mundo, **en México** son considerablemente menores los estudios que se desarrollan en el área del **conocimiento geoquímico**. El **Golfo de México** es un sistema adyacente a zonas de gran actividad industrial, comercial y de transporte por lo que el ambiente ha sido analizado ampliamente en cuanto a concentración y distribución de metales. Villanueva y Botello (1992) examinaron las concentraciones de elementos tóxicos (Hg, Pb, Cd y Cr) **en sedimentos** de algunas **lagunas costeras y ríos** de los estados de Veracruz, Tabasco, Tamaulipas y Campeche durante 1972 – 1984. Determinaron que existe tendencia al incremento de contaminación metálica producto de la introducción masiva y constante de efluentes mineros, de la industria galvanoplástica y de fertilizantes, así como de las emisiones atmosféricas y de la petroquímica. Los mismos autores (Villanueva y Botello, 1998) presentaron la revisión de los datos sobre contaminación por los metales pesados de las áreas costeras de México en el que consideran las principales fuentes, niveles y efectos de los metales con enfoque especial sobre el mercurio y plomo en agua y sedimentos de las zonas costeras.

Para el sistema estuarino Coatzacoalcos (**Golfo de México**), con problemas típicos de contaminación urbana-industrial, Páez-Osuna *et al.* (1986) lo comparan con la laguna Ostión en apariencia sin ningún tipo de influencia y situada a 18 km del sistema. Determinaron que las concentraciones de Fe, Ni, Co y Cr en el **estuario** Coatzacoalcos y en la laguna Ostión son del mismo orden de magnitud y tan altos como los registros en ambientes sujetos a descargas de metales. En éste artículo al igual que en otros, las concentraciones altas de elementos se incrementan a mayores proporciones de limo-arcillas (con algunas excepciones), a las actividades antropogénicas y en el caso de la laguna a las características volcánicas de la región.

En la región costera del **Pacífico Mexicano**, Páez-Osuna *et al.* (1984) analizan las concentraciones de algunos metales pesados en una laguna tropical de Oaxaca sin alteraciones antropogénicas. Determinaron que los niveles de Fe, Co, Ni y Cd son comparables con sistemas afectados y que Cu, Zn Cr y Pb están en niveles inferiores reflejando en ambos casos la composición de las rocas ultrabásicas y básicas del área.

En Mitla (Oaxaca), Páez-Osuna *et al.* (1987) analizaron **un núcleo** con el objetivo de estimar el flujo de metales. Los niveles de Cu, Zn, Pb y Cr fueron menores a los estimados para un área contaminada del puerto de Los Ángeles (E.U.A), del mismo orden que la zona estuarina de la Bahía de Narragansett (E.U.A) y del Lago Erie (E.U.A.-Canadá) y relativamente más altos que en las cuencas de California (E.U.A) y Guaymas (México). En general, asocian los niveles de Cu y Zn a condiciones redox y mencionan que a partir de los perfiles de Mn, Cu, Zn y presencia de material calcáreo es posible inferir cambios fuertes en las condiciones oxidantes - reductoras de la laguna.

En el **puerto y antepuerto de Mazatlán**, Osuna-López *et al.* (1986) examinaron **sedimentos** superficiales considerando textura, contenido de carbonatos, materia orgánica y contenido total y biodisponible de Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn. Las concentraciones máximas en la fracción total se detectaron en la zona afectada por descargas municipales e industriales y los máximos en la fracción potencialmente disponible a la biota en los sedimentos localizados frente al canal de navegación y planta termoeléctrica. Los datos obtenidos son comparables a niveles básicos naturales en otras regiones y solamente el Pb resultó más elevado. Osuna-López *et al.* (1989) investigaron la distribución espacial y estacional de metales pesados en la **fracción disuelta y particulada** de las aguas del puerto de Mazatlán y encontraron que el efecto de los aportes antropogénicos en los sedimentos y agua se limitó al área inmediata de descarga, la concentración se asoció a salinidad y concentraciones del material suspendido (orgánico e inorgánico) particulado así como con las fluctuaciones estacionales. En años recientes, los resultados del estudio de Green-Ruiz *et al.* (2001) en sedimentos del sistema lagunar Pabellón Altata-Ensenada muestran la asociación evidente entre las descargas de la agricultura y la generación de anomalías de Cr, Cu, Mn y Pb. En Ruiz-Fernández *et al.* (2002, 2003) se examinaron perfiles sedimentarios para conocer la historia reciente del impacto antropogénico en el río y estuario de Culiacán, los resultados indicaron el incremento del carbón, fósforo y nitrógeno en los sedimentos contaminados relacionados.

Para la **Laguna de La Paz** Godínez-Orta *et al.* (1997) presentan resultados litológicos-geoquímicos de los **sedimentos superficiales** del ambiente,

los componentes principales de los sedimentos fueron cuarzo, fragmentos de roca, carbonato biogénico, así como feldspatos, micas y oolitos fosfáticos. Además, en la Bahía de La Paz se realizaron estudios completos de metales pesados en sedimentos (Rodríguez-Castañeda, 2001) y materia particulada suspendida en el agua superficial (Romero-Bañuelos, 2003). Así mismo, en Bahía Concepción se cuenta con el trabajo de Shumilin *et al.* (1996) quienes definen los principales componentes sedimentarios, demostrando que el material dominante es de origen biogénico y en menor parte terrígeno y que las diferencias texturales y de composición química reflejaron el tipo de fuentes de proveniencia, por lo que la distribución y concentración de los elementos traza en los sedimentos variaron.

El estudio de Kot *et al.* (1999) trata sobre la concentración y distribución de mercurio en sedimentos de la Laguna de La Paz. Los autores señalan que el intervalo de concentración de éste elemento es natural. Los valores más bajos (<0.015 µg/g) de Hg se asociaron a sedimentos arenosos y con bajos contenidos de carbono orgánico, el segundo intervalo varía de 0.015- 0.035 µg/g, estos sedimentos son arenas de grano fino con mayor proporción de carbono orgánico. El tercer intervalo de 0.035- 0.050 µg/g de mercurio, corresponde a sedimentos lodosos enriquecidos en Fe y carbono orgánico.

Piper (1991) analizó la **Formación San Gregorio** de Baja California Sur y propone que su enriquecimiento en fosfato es derivado de los productos geoquímicos de los océanos antiguos. La depositación fue en un ambiente de plataforma con condiciones de alta productividad (surgencias) y relacionados a componentes volcánicos (cenizas) y marinos (apatito, ópalo, calcita, materia orgánica y trazas de sulfuros e hidróxidos metálicos), además de su asociación con la circulación oceánica, anoxia y posición geográfica durante el **Oligoceno** del área.

En la misma región, Álvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) examinaron muestras de fosforitas y arenas fosfáticas. La composición determinada en su mayoría es P₂O₅ 30.5% (82.3% como apatita), algo de materia orgánica 2%, CaO 24%, y otros elementos traza destacando la concentración de Cr (342 µg/g). La procedencia de las arenas fosfáticas se explica como producto de la erosión y redepositación de las fosforitas (Oligoceno-Mioceno) antiguas.

Acerca de **metales pesados** en roca, Páez-Osuna *et al.* (1989) analizaron **basaltos** colectados en la boca del Golfo de California y describieron las variaciones en la concentración de Ni, Co, Cr, Fe, Mn y Pb lo que indica cierta movilización de elementos. El nivel de Co, Cr, Pb, Mn y Fe mostró tendencia a disminuir y Ni, Zn, Cd y Ag a concentrarse ligeramente, mientras que el Cu no indicó ninguna preferencia.

Para los **sedimentos superficiales** del bajo Golfo de California Páez-Osuna *et al.* (1990), Páez-Osuna *et al.* (1991) realizaron extracciones químicas secuenciales en sedimentos superficiales y núcleos. En los sedimentos superficiales la mayoría de los metales estuvieron asociados a la fracción litógena y las concentraciones más elevadas de Fe, Cu y Co se presentaron en la fracción reducible y no en la oxidable y al contrario para Ni, Cr, Pb y Mn.

En los núcleos se determinó un patrón contrastante de las fases sedimentarias y entre los elementos asociados a la diagénesis. En el núcleo (hemipelágico) predominaron Co, Cr, Zn, Pb, Fe, Ni y Mn asociados a la fracción litogénica y constituidos por material (verde-olivo) rico en diatomeas, con redox reducidos, y carbono orgánico relativamente alto, mientras que en el pelágico (arcillas, café-rojizas) la asociación es Cr, Zn, Pb, y Fe, con redox oxidantes y materia orgánica relativamente baja. Tales diferencias son consecuencia de las condiciones de depósito.

La acumulación y distribución de fósforo en los sedimentos del Golfo de California fueron analizados por Páez-Osuna *et al.* (1991). El fósforo inorgánico fue la forma más abundante, las concentraciones altas ocurrieron como parches sobre la plataforma y coinciden con el florecimiento fitoplanctónico. La tasa de acumulación (total e inorgánico) de fósforo fue la más baja comparada con sistemas de acumulación lenta (cuencas) y 3 órdenes de magnitud mayor que sedimentos depositados rápidamente como en la plataforma continental. Para la cuenca de Guaymas se sugiere la incorporación de fósforo a partir de los fluidos hidrotermales que atraviesan la columna sedimentaria.

Ortega-Osorio y Páez-Osuna (1989) discuten la geoquímica y mineralogía de los **sedimentos en la Dorsal del Pacífico Mexicano** (21° N) y de la depresión sur de la **Cuenca de Guaymas**. En ambas localidades se encontraron depósitos tipo sulfuros, con marcadas diferencias de concentración y composición metálica. En el

primer sitio (21° N) la precipitación de sulfuros es mayor y ocurre directamente cerca de los **ventilas hidrotermales** formando las edificaciones mientras que, en la Cuenca de Guaymas las aguas hidrotermales pasan dentro de la columna sedimentaria (400 m) antes de escapar sobre el fondo, por lo que las reacciones de los fluidos y sus productos son diferentes y de menor concentración. Entre el campo hidrotermal activo de la Dorsal del Pacífico Mexicano 21° N y la boca del Golfo de California Páez-Osuna *et al.* (1989) evaluaron varios núcleos sedimentarios. Proponen que la actividad hidrotermal se puede tipificar de acuerdo a las razones de Mn/Fe, Ni/Fe, Cu/Fe, Zn/Fe y Co/Fe. Se menciona también que la concentración de Co y Ni sucede durante la precipitación química del Mn (Dorsal) hidrotermal. En las muestras de la Cuenca Mazatlán no se encontraron evidencias de hidrotermalismo.

En **sedimentos superficiales** de la Bahía Sebastián-Vizcaíno, Baja California, Daesslé *et al.* (2000) asocia la ocurrencia de metales a la fracción detrítica con algunas variaciones. En la fracción no-litogénica la presencia del Cu, Cr, Ni, Cd y Zn está controlada por la materia orgánica relacionada a surgencias, el Sr por los carbonatos y el Cd por carbonatos y/o oxihidróxidos de Fe-Mn.

De acuerdo a Shumilin *et al.* (1999, 2000) los **sedimentos de la costa este** de Baja California, son mezcla de partículas biogénicas y terrígenas. En los perfiles verticales se observaron dos tipos de influencia antropogénica:

- (a) el incremento de Zn, Zr y As que corresponde al periodo de actividad minera y
- (b) el cambio en la relación Ca/Sc

El contenido de Ca es mayor en las capas superiores a causa de la depositación de CaCO₃ inducido por la elevación del CO₂ en la atmósfera y/o al incremento de la productividad primaria en el Golfo.

3. JUSTIFICACIÓN

El sistema de abanico-deltas del área de Santa Rosalía reúne una variedad de condiciones geológicas (rocas volcánicas y yacimientos minerales entre otros) y características de origen antropogénico (desarrollo minero-metalúrgico) que permiten suponer la existencia de anomalías geoquímicas en sus sedimentos marinos superficiales. Por lo cual, el propósito básico de ésta investigación fue establecer los niveles de concentración de metales y metaloides en los ambientes sedimentarios de arroyo, playa y porción marina del distrito minero de Santa Rosalía y en áreas prístinas de referencia (abanico-deltas La Giganta y Loreto), explicar las características de acumulación de los metales y metaloides de la región e inferir posibles manifestaciones, partiendo del conocimiento sobre la importancia de los metales y metaloides en los ciclos biogeoquímicos. Principalmente, en cuanto a su relación con la toxicidad que pueden generar algunos elementos como el Cd, Hg, Pb, Cr aún en muy bajas concentraciones y también con elementos como el Cu, Fe, Zn, Co y Mn que son esenciales para el adecuado funcionamiento de los organismos.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Caracterización geoquímica de los materiales sedimentarios modernos (superficiales) de diferentes ambientes de depósito (arroyo, playa, desechos sólidos y marino) del distrito minero de Santa Rosalía y la evaluación de su contaminación antropogénica causada por las actividades de minería y producción del cobre en el siglo pasado.

4.2 Objetivos particulares

1. Evaluar las concentraciones de elementos y componentes mayoritarios (carbono orgánico, carbonatos, Na, K, Ca y Fe), oligoelementos (Sc, Cu, Co, Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, As, Br, Se, Rb, Sr, Zr, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, Th, U y Hg) y elementos del grupo de las tierras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu), en sedimentos marinos superficiales (área costera adyacente) del distrito minero de Santa Rosalía, así como en sedimentos de arroyo, playa y desechos sólidos.
2. Conocer las características principales de la distribución espacial de los elementos y componentes mayoritarios, oligoelementos y ETR en los sedimentos marinos del área del Golfo de California adyacente al distrito minero de Santa Rosalía.
3. Calcular los Factores de Enriquecimiento (FE) de los elementos y componentes mayoritarios, oligoelementos de los diferentes materiales sedimentarios del distrito minero de Santa Rosalía, tomando de referencia la composición química de la corteza terrestre, así como realizar la normalización de los contenidos de los ETR con respecto a la lutita norteamericana y su comparación con los sedimentos costeros de las zonas prístinas de la península de Baja California.
4. Determinar las asociaciones geoquímicas de los elementos y componentes mayoritarios, oligoelementos y ETR en los sedimentos del distrito minero de Santa Rosalía.

5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1. Área de estudio

El distrito minero de Santa Rosalía se encuentra en el margen oriental costero de la porción central de la Península de Baja California, a 450 km al NNW de de la Paz entre los paralelos 27° 00' N y 27°50' N y los meridianos 112°15' W y 112°22' W (Fig.1). La cuenca de Santa Rosalía está limitada al N y NW por sistema volcánico plio-cuaternario de Las Tres Vírgenes-La Caldera-La Reforma y al S y SW por la Sierra de Santa Lucia. El tipo de clima es muy árido con temperatura media de 23.4°C y una máxima extrema de 44°C siguiendo la clasificación de Köppen, modificada por García (1988). La precipitación en Santa Rosalía es muy variable por lo que no es posible establecer una tendencia (Anónimo, 1996), a pesar de ello la media anual calculada fue de 117.2 mm, la mediana de 87.4 mm y la moda de 53.5 mm. El régimen de lluvias presenta su máximo en el mes de agosto continuando durante septiembre y octubre; el período más seco transcurre de marzo a junio. Estos datos fueron calculados considerando un periodo de 63 años resultando además que la lluvia en un 52.4% fue menor a 100 mm.

5.2 Geomorfología

Una de las características geomorfológicas de esta área es la formación del abanico-delta (Santa Rosalía). Esta geoforma es producto de la erosión de las rocas, transporte de los sedimentos desde la cuenca de drenaje y su posterior depósito en la zona de descarga al mar. El relieve en el distrito minero de Santa Rosalía está caracterizado por una serie de mesas alineadas por cañones lo cual indica una disección profunda del drenaje en la cuenca. La hidrografía obedece a las características geológicas y al control estructural en el área. Este tipo de estructuras (mesetas) dominan en el paisaje y se presentan en diferentes estadios de erosión, un ejemplo de intemperismo avanzado se localiza en el arroyo el Boleo, mientras que en otras áreas como en el Cerro del Sombrero Montado se presenta una topografía intermedia por lo tanto más elevada y sólo decrece hacia los depósitos volcánicos de la Formación Comondú.

A lo largo del litoral dominan las playas de pendiente fuerte a moderada, alimentadas por los abanico-deltas, los cuales son el producto de la erosión de las rocas de las cuencas de drenaje, remoción de los sedimentos por la escorrentía fluvial y su posterior depósito en el litoral. Los abanico-deltas son de pendiente suave (3-4°), sedimento grueso (arcillas hasta bloques) y se desarrollan en la desembocadura de arroyos grandes como son de norte a sur, los arroyos Infierno, El Boleo, La Soledad, El Purgatorio, La Providencia y Santa Águeda.

En la trasplaya de las zonas entre abanico-deltas, se localizan escarpes y acantilados con alturas promedio de 8 a 10 m.

La morfología subacuosa es muy irregular, con una plataforma muy estrecha y de pendiente fuerte, que en algunas partes es inexistente. De igual manera, el talud es de pendiente fuerte en donde se observan pequeñas cuencas marginales y lineamientos que forman cañones submarinos. Esta morfología de talud se continúa hasta el fondo de la Cuenca Guaymas localizada a una profundidad de 1800 a 2000 m. En registros del subfondo marino se han observado bloques deslizados lo que indica que los procesos gravitacionales son activos (Nava-Sánchez *et. al.*, 2001). Debido a la pendiente fuerte del fondo marino se infiere que algunos de los abanico-deltas aportan sedimentos a la plataforma y otros lo hacen directamente al talud continental.

5.3 Descripción geológica del área

El área de estudio está incluida en la subprovincia geológica de la Sierra de La Giganta que se extiende sobre la porción oriental de la Península de Baja California Sur. Esta subprovincia geológica está representada de manera general por el basamento Pre-terciario de 78 a 144 m.a. expuesto parcialmente a lo largo de la zona costera (McFall, 1968; Gastil *et al.*, 1978), Formaciones marinas del Terciario Temprano y un grueso complejo volcánico y volcanoclástico, denominado "Formación Comondú" (Heim, 1922). La cual está constituida por intercalaciones de areniscas volcánicas y aglomerados, brechas volcánicas de composición andesítico-dacítico-riolítica. Además en la parte superior se aprecian aglomerados y otros productos piroclásticos. Existen variaciones litológicas que son producto de las diferentes facies

volcánicas no marinas, que de acuerdo a Hausback, 1984 son 3 (proximal, central y distal) zonas (Fig. 2) con elevaciones máximas de 1200 m y mínimas de 100 m. Son el grupo más expuesto, desde el paralelo 28°N donde se localiza la región minera de Santa Rosalía hasta ciudad de La Paz. Tal secuencia fue formada y depositada durante el Mioceno temprano y medio, hace 25 a 14.5 m.a. Sobreyaciendo de manera discordante (erosional, angular y paralela) a la Formación Comondú se encuentran varias secuencias de origen marino de edad Mioceno superior y Plioceno. En cuenca de Santa Rosalía, las unidades litoestratigráficas existentes son El Boleo, Tirabuzón e Infierno, así como el volcanismo Plio-cuaternario de Tres Vírgenes y de la caldera La Reforma, terrazas pleistocénicas y materiales aluviales (aluvión) Holocénicos. En la carta geológica de la cuenca de Santa Rosalía (Fig. 3) se observa la distribución de tales Formaciones geológicas.

La Formación El Boleo (Wilson, 1948) es una secuencia vulcanosedimentaria marina transgresiva (constituída por calizas basales de composición manganesífera y ferruginosa, típicamente tobácea, limolitas, argilitas y areniscas, intercaladas con tobas montmoriloníticas semicompactadas y horizontes conglomeráticos. Tal secuencia vulcanosedimentaria de origen marino deltaico funciona de roca huésped a la mineralización de cobre, cobalto, manganeso y yeso del distrito minero. Por otra parte, la **Formación Gloria ó Tirabuzón** definida por Wilson, 1948 y Applegate, 1978 respectivamente, es una secuencia que descansa en contacto discordante con la Formación Boleo. Es un paquete de sedimentos de grano fino (limolitas y areniscas) a medio, fosilíferas, semicompactadas, con la presencia de un basamento conglomerático y lutitas intercaladas. Esta Formación infrayace a su vez a la **Formación Infierno** definida por Wilson (1948) de edad Plioceno temprano-medio (Carreño, 1982 en Monografía Geológico-Minera del Estado de Baja California Sur, 1999) y está integrada por areniscas compactas de grano fino-medio con intercalaciones de conglomerado basal polimíctico y esporádicos horizontes de coquina y limolita con presencia de yeso rellenando fracturas ó planos de estratificación, características de un ambiente transicional entre costero de poca profundidad, hasta continental (Romero-Rojas *et al.*, 1997 en Monografía Geológico-Minera del Estado de Baja California Sur, 1999).

5.4 Yacimientos minerales

En el distrito minero de Santa Rosalía, de acuerdo a Wilson (1955), afloran depósitos minerales incluidos en las secuencias estratigráficas regionales las cuales están afectadas por fallamiento sinsedimentario. Estos yacimientos son cuerpos tabulares interstratificados con capas de tobas arcillosas relativamente impermeables pertenecientes a la Formación El Boleo. Ésta Formación contiene 5 capas principales con espesores variables, la zona mineralizada es en promedio de 80 cm de espesor y en algunas otras minas llegan a alcanzar 1-2 m y excepcionalmente hasta 5 m que reporta Minera Curator (Anónimo, 1996).

Los minerales primarios en el yacimiento ("El Boleo") fueron explotados de una toba arcillosa con alto contenido de humedad. Los minerales de mena principales en orden de importancia son calcocita >> calcopirita (sulfuros) >> bornita >> covelita y cobre nativo. Además, también se encuentra una variedad de óxidos, carbonatos, silicato y oxicluros, incluyendo algunas otras especies minerales raras. Los minerales de ganga son montmorillonita (arcilla), junto con óxidos de hierro y manganeso, así como yeso, calcita, calcedonia y jaspe en menor proporción (Anónimo, 1996). Entre los metales potencialmente importantes en el distrito minero de Santa Rosalía, desde el punto de vista económico además del cobre, se consideran el zinc, plomo y cobalto. En este trabajo (Wilson, 1955), se indica además, que el yacimiento es una mezcla de óxidos y sulfuros, lo que evidencia los procesos diagenéticos en el área. Los minerales han sido oxidados fuertemente desde la superficie y hasta el contacto con el nivel freático, el cual anteriormente se encontraba alrededor de 25 m sobre el nivel medio del mar en la porción norte-este y a 7 m sobre el nivel medio del mar al sur-este.

Dentro del distrito además se encuentra el depósito de manganeso Lucifer, interstratificado con la Formación Boleo y algunos depósitos de yeso que se encuentran en la base de dicha Formación.

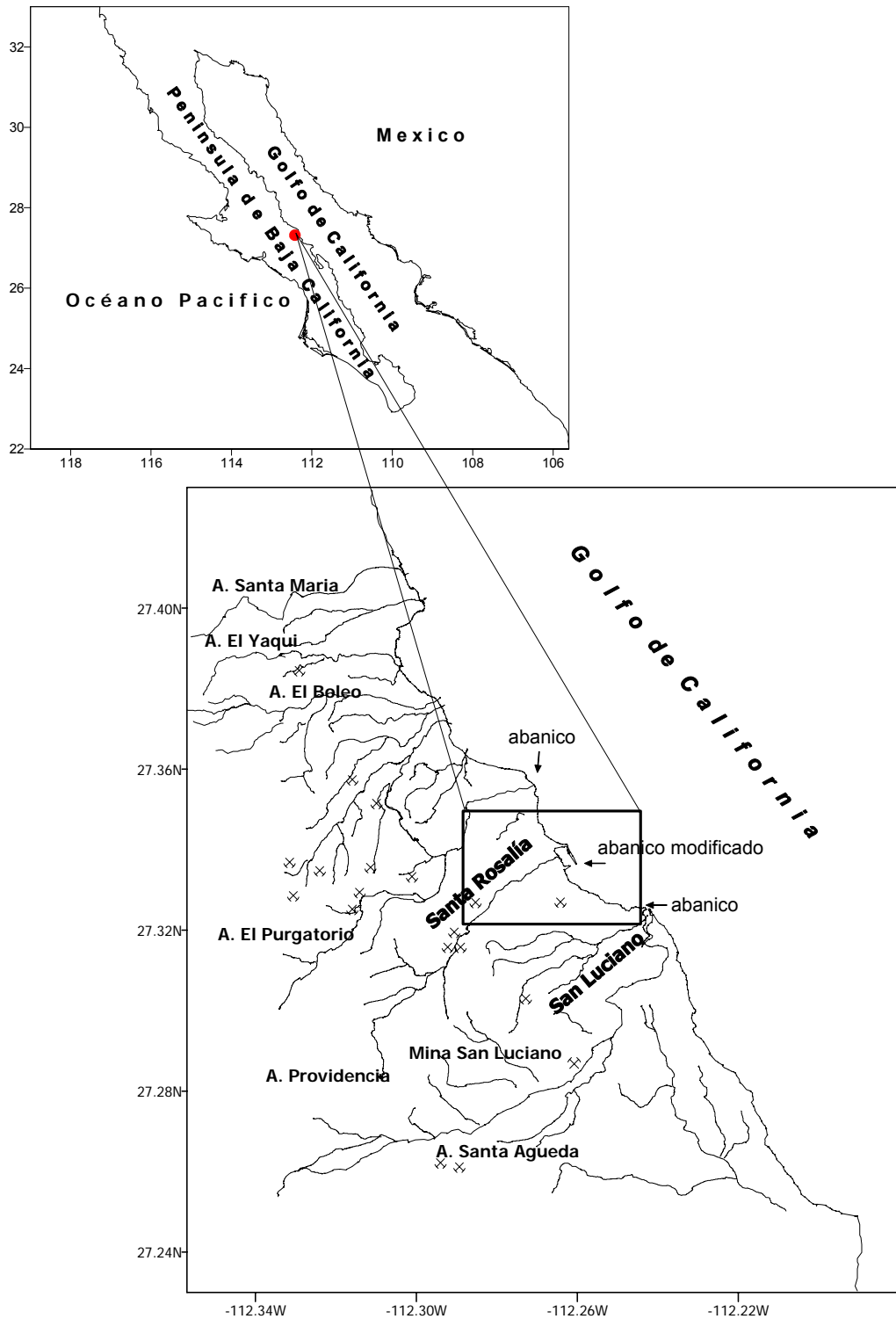


Figura 1. Localización del área de estudio e hidrología principal de la cuenca de drenaje del distrito minero de Santa Rosalía



Figura 2. Subprovincias geológicas, tomada de López Ramos, 1979.

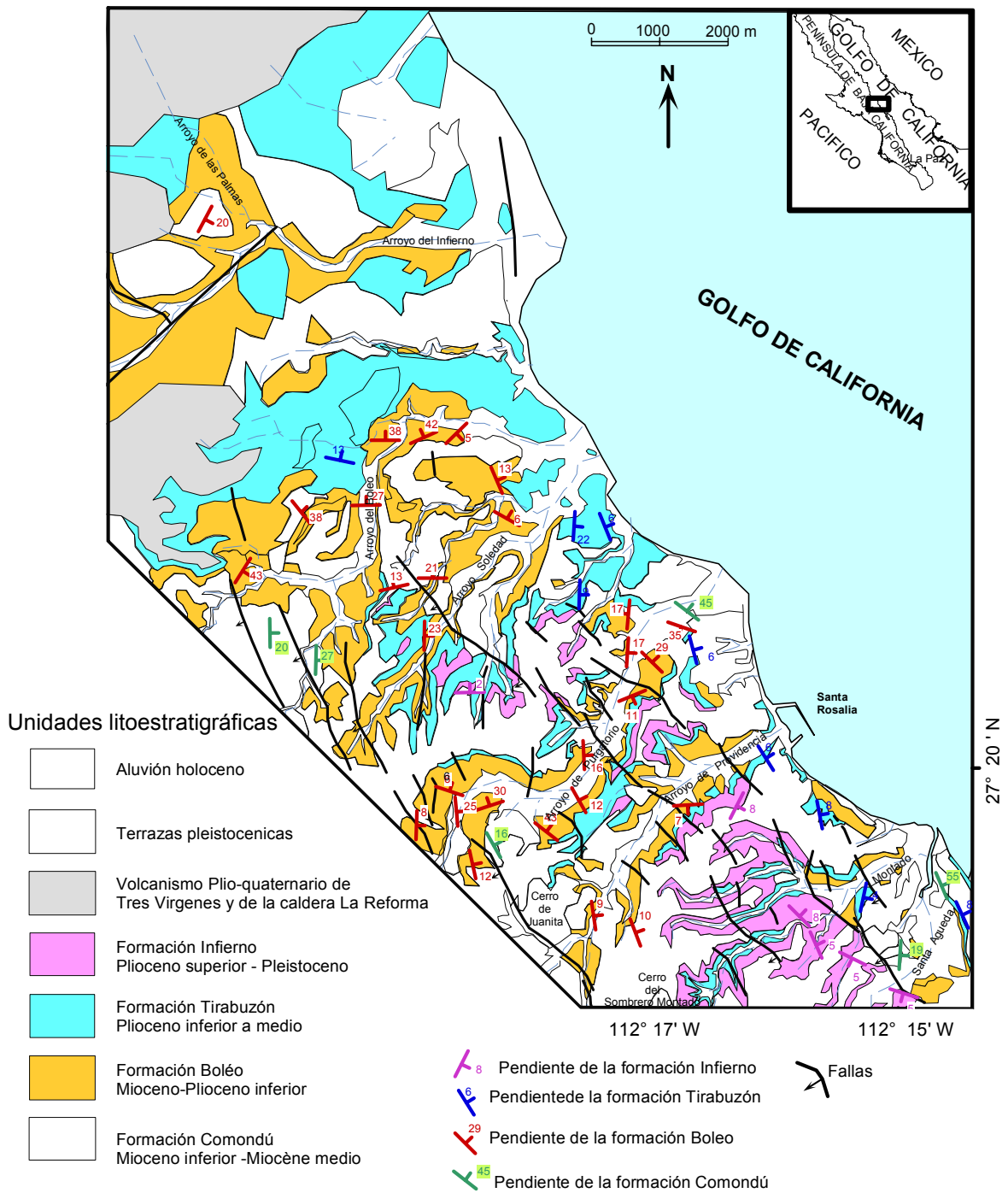


Figura 3. Carta geológica de la cuenca de Santa Rosalía, tomada de Wilson *et al.* (1955) y modificada por Miranda (2000).

6. METODOLOGÍA

6.1. Localización de los puntos de muestreo

Para conocer la composición química de los diferentes depósitos de los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía, en octubre de 1998 se colectaron muestras de sedimento superficial en los cauces de arroyos principales de esta zona, (con atención especial a los sitios cercanos a las minas abandonadas), en los depósitos de los desechos sólidos de la minería y de los procesos de fundición (jales mineros, terreros), en las llamadas “playas negras” y en una franja cercana a la línea de costa adyacente (Figura 4). La posición geográfica de las estaciones de muestreo se determinó por medio de geoposicionador por satélite “Magellan” (Anexo I).

6.2. Obtención de muestras

Los materiales sedimentarios en la porción continental se obtuvieron con un muestreador plástico de mano. Las muestras de los sedimentos marinos someros entre 2 y 100 m de profundidad se tomaron desde la lancha con una draga tipo Van Veen. A mayores profundidades, los sedimentos fueron recuperados en el buque oceanográfico “El Puma” mediante un nucleador de caja Reinecke, con capacidad de área de muestreo de 60x60x70 cm y nucleador de gravedad con tubos de polivinilcloruro de 10 cm de diámetro y de 1.5 m a 3.0 m de largo. La extrusión y corte de los núcleos se realizó a bordo del buque. Los núcleos fueron submuestreados tomando sólo los primeros 5 centímetros de la columna sedimentaria. Las muestras se empaquetaron en bolsas de polietileno debidamente lavadas y fueron transportadas en refrigeración hasta su procesamiento.

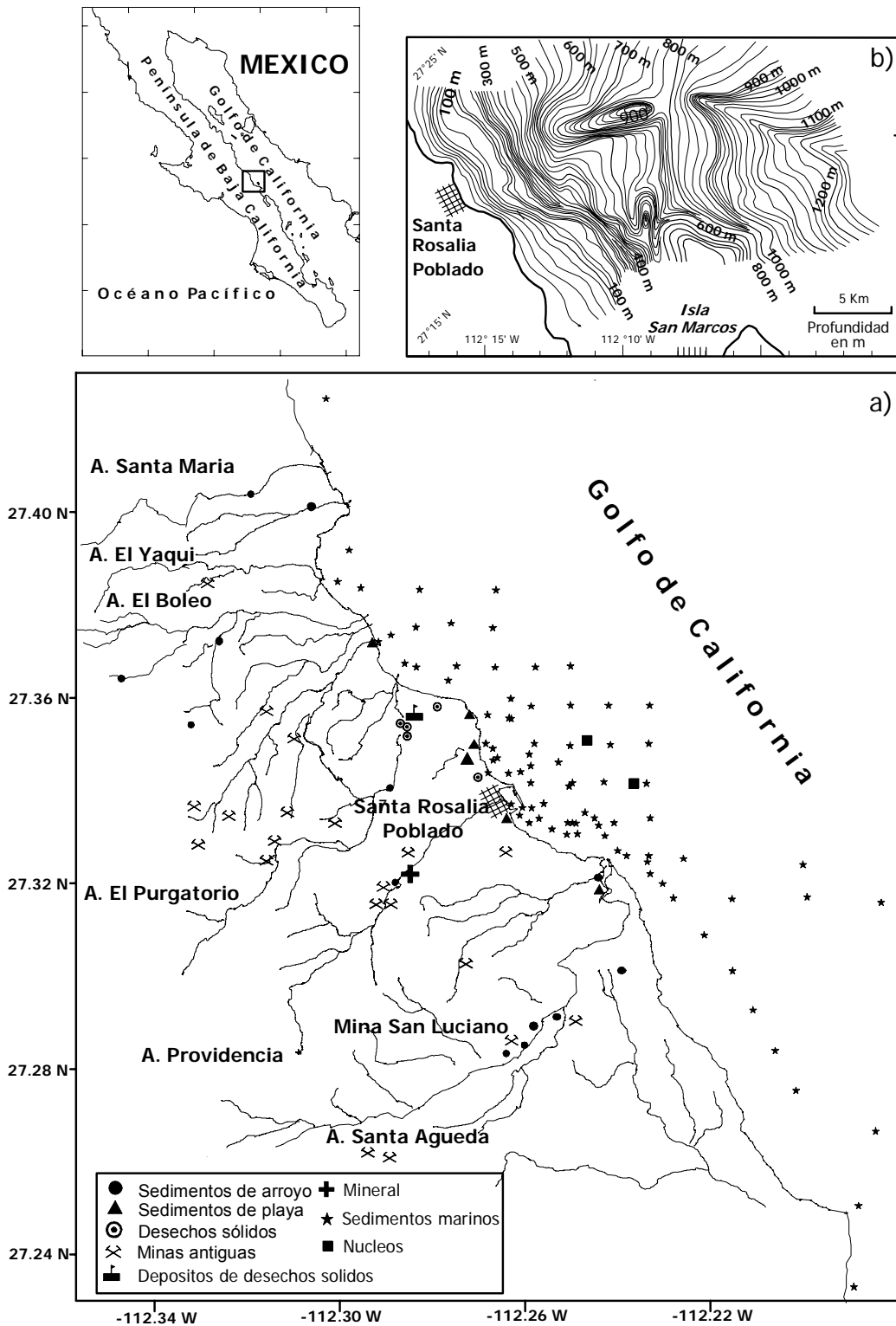


Figura 4. (a) Localización de las estaciones de muestreo en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía; (b) Batimetría del área, tomada de Nava-Sánchez, (2000).

6.3. Análisis químicos

Los procedimientos analíticos para la determinación de metales en sedimentos marinos han sido descritos ampliamente en la literatura.

6.3.1. Determinación de carbono orgánico y carbonatos

La concentración de C orgánico se determinó mediante la técnica de oxidación húmeda (Loring y Rantala, (1992) en Soto, 2002), utilizando $K_2Cr_2O_7$ 1 N y titulación con $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0.5 N. Para cuantificar el contenido de carbonatos, se tituló el exceso de HCl 1 M con NaOH 0.5 M (Rauret *et al.*, 1988 en Soto, 2002). La exactitud para ambas técnicas fue comparada con una solución estándar de dextrosa, cantidades conocidas de carbonatos y urea, correspondientemente.

6.3.2. Análisis de los elementos mayoritarios y oligoelementos

El análisis químico se realizó sobre las muestras de sedimentos sin tamizar, algunos autores mencionan que esto es aplicable a un amplio rango de tipos de sedimentos y minimiza las dificultades en la selección de las concentraciones de referencia (base) así como el tiempo que se consume en la separación de las fracciones finas (Rule 1986).

6.3.2.1 Análisis por activación neutrónica instrumental

El K, Rb, Cs, Ca, Sr, Ba, Fe, Cr, Co, As, Sb, Sc, Hf, Th, U, Ta, Zr, Ni, Se, Zn y los elementos del grupo de las tierras raras La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu se determinaron por activación neutrónica instrumental en el Instituto de Geoquímica y Química Analítica de V.I. Vernadsky de la Academia de Ciencias de Rusia (Moscú, Rusia). El método de INAA es el siguiente: aproximadamente 100 mg de sedimentos son empaquetados en papel aluminio (además de los estándares de referencia) y como tal, las muestras son irradiadas por un flujo de neutrones termales (2.8×10^{13} n/s cm^2). La radioactividad (inducida) de cada muestra sedimentaria es medida en un espectrómetro de rayos gamma (Nokia con 4096 canales) con detector de Ge (Li) de alta resolución. Para la calibración instrumental fueron utilizadas las fuentes espectrométricas de rayos gamma (^{152}Eu) (Shumilin *et al.*, 1996; Godínez-

Orta *et al.*, 1997; Shumilin *et al.*, 2000b). La precisión y exactitud se evaluó mediante el uso de los estándares de referencia de los sedimentos marinos y estuarinos SRM 1346, IAEA-356 Y SD-N-1/2 (IAEA). Los resultados de estas calibraciones se observaron dentro del intervalo de confianza certificado para la mayoría de los elementos analizados. Los datos se presentan en la Tabla 1. La metodología utilizada tiene un error estándar de 2-5% para: Sc, Cr, Fe, Co, La y Sm; de 8-10% para K, Rb, Cs, Ca, As, Sb, Ta y Tb y 10-15% para Sr, Ba, Zr y Nd.

Tabla 1. Estándares de referencia de los sedimentos marinos y estuarinos SRM 1346, IAEA-356 Y SD-N-1/2 (IAEA).

ELEMENTO	ESTÁNDAR SEDIMENTO MARINO IAEA-356		ESTÁNDAR SEDIMENTO MARINO SD-N-1/2		ESTÁNDAR SEDIMENTO ESTUARINO SRM 1646 ^a	
	valor certificado	valor determinado	valor certificado	valor determinado	valor certificado	valor determinado
Na%	1.39	1.17±0.03	1.04	0.93±0.2	0.74	0.84±0.14
K%	1.26	0.86±0.3			0.86	1.27±0.76
Ca%	8.87	9.3±0.4	5.3	4.9±0.2	0.519	1.08±0.07
Fe%	2.41	2.73±0.13	3.6	3.6±0.11	2	2.25±0.12
Rb µg/g	71	86.9±5.45	74	74.9±7	38	41.5±5.5
Cs µg/g	4.6	5.43±0.22	4.9	5.2±0.39		
Th µg/g	6.64	8.49±1.92	7.04	6.8±0.8	5.8	6±0.8
Sr µg/g	170	132±66.58	291	196±141	68	106±64
Ba µg/g	548	590±52.2	289	268±59	210	283±61
Sc µg/g	6.9	7.1±0.15	7.1	6.9±0.3	5	5.2±0.2
U µg/g	3.2	3.07±1.54	2.1	2.6±0.7	2	3.1±1.8
Zr µg/g	117	143±103	0.04	0.02±0.003		
Hf µg/g	2.96	2.61±0.28	8.4	6.6±1.2		
Ta µg/g	0.61	0.51±0.17	1.1	1.07±0.16		
Cr µg/g	69.8	69.4±2.6	149	109±8.5	41	39.4±4
Co µg/g	15	14.7±0.71	12	15±6	5	7.2±4.5
Zn µg/g	977	1167±79.37	439	460±0	49	50±8.2
As µg/g	26.9	35.5±2.89	50	60±9	6.23	8.1±2.5
Sb µg/g	8.33	7.19±1.21	3.6	3.2±0.44	0.3	0.43±0.2
Se µg/g	0.76	0.52±0.11	2.9	1.27±1.1	0.2	1.6±1.5
Br µg/g	7.6	2.97±0.2				
Cd µg/g					0.148±0.007	0.06±0.03
Cu µg/g					10.01±0.34	12.5±0.7
Pb µg/g					11.7±1.2	13.2±0.5
Ni µg/g					23	21.7±0.6
La µg/g	19.3	15.9-20.6				20.1±1.9
Sm µg/g	3.5	3.4-2.8				3.57±0.42

6.3.2.2 Análisis por ICP-MS

La determinación de Cu, Zn, Ba, Cd, Co y Pb se realizó aplicando la técnica de espectrofotometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Utilizando digestión ácida (HNO_3 , HF y HCl) de los sedimentos secos, molidos y homogeneizados. Los sedimentos fueron digeridos con la mezcla de ácidos en contenedores de teflón en un horno de microondas con una presión controlada de 120 PSI. Las soluciones resultantes fueron analizadas por ICP-MS usando un VG Elemental modelo PQ3, (procedimiento e instrumentación recomendada por Jarvis *et al.*, 1996). Los límites de detección fueron mejores a 50 partes por trillón. La calibración del aparato se hizo a partir de una solución multi-elemental de referencia (SPEX-alta pureza). Los efectos de la matriz y del instrumento fueron eliminados por el uso de ^{115}In (10 ppb) como estándar interno. La validez del procedimiento analítico fue asistido por la precisión de las pruebas en el laboratorio y valores de referencia certificados (MAG-1). Los resultados del análisis del material de referencia (estándar) 1646 (Sedimento estuarino, NBS USA) se presentan en la Tabla 1. Todas las determinaciones tienen una precisión mejor al 3%.

6.3.2.3 Análisis por absorción atómica

Este análisis se efectuó en el laboratorio de la Estación Mazatlán del ICMYL de la UNAM para las muestras colectadas en 1994 en las áreas de referencia (las áreas prístinas frente a los abanico-deltas de la Giganta y Loreto). La digestión de los sedimentos se hizo con una mezcla de HNO_3 -HCl (agua regia invertida) en proporción 3:1 respectivamente, de acuerdo al procedimiento descrito por Breder (1982) modificado por Páez-Osuna y Osuna-López (1990). Las soluciones finales fueron analizadas por el método de espectrometría de absorción atómica con un instrumento Shimadzu AA-630-12 (flama aire-acetileno). Los elementos analizados por ésta metodología fueron Ag, Cu, Co, Ni, Pb, Cd, Zn, Cr y Mn.

6.3.2.4 Determinación del mercurio

Las determinaciones de Hg fueron realizadas en el Instituto de Problemas Ecológicos del Agua de la Academia de Ciencias de Rusia (Khabarovsk, Rusia) por la técnica de digestión húmeda. Ésta metodología permite obtener la extracción máxima de Hg con pérdida mínima del elemento. Se utiliza una mezcla de $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HClO}_4$ $(\text{NH}_4)_2 \text{S}_2 \text{O}_8 + \text{KMnO}_4$ a calentamiento moderado durante 15 minutos en frascos Kjeldahl (Goryachev *et al.*, 1997 en Kot *et al.*, 1999). Para la determinación de Hg se utilizó la espectrofotometría de absorción atómica combinada con un procedimiento de balance “a vapor frío”. Durante el proceso se emplearon soluciones estándar G50-3497-86 provenientes del Instituto de Físico-Química de la Academia Nacional de Ciencias de Ucrania. La precisión del análisis fue de 0.01 $\mu\text{g/g}$.

6.4 Tratamiento de los datos

6.4.1. Tratamiento estadístico de los datos y elaboración de las distribuciones espaciales de los elementos

Con los valores de concentración de los elementos analizados se determinaron los parámetros estadísticos básicos como media, desviación estándar, máximos y mínimos para los contenidos de los elementos en el material sedimentario analizado por medio del software Statistica 5.0 y se generaron las bases de datos para obtener los mapas de la distribución espacial (software Surfer 6.0) de la concentración de los elementos en los sedimentos marinos.

6.4.2 Estimación del factor de enriquecimiento de los elementos

Para tener posibilidad del análisis comparativo con la composición de la corteza terrestre se calculó el factor de enriquecimiento de los elementos mayoritarios y oligoelementos (Windom *et al.*, 1989 y Loring *et al.*, 1991) (*FE*) utilizando las concentraciones absolutas de cada elemento analizado y sustituyéndolo en la fórmula siguiente:

$$FE = (EI/Sc)_{\text{sedimento}} / (EI/Sc)_{\text{corteza}}$$

Las concentraciones metálicas totales (EI/Sc) del sedimento se determinan en relación a la concentración metálica (EI/Sc) promedio en la corteza. El Sc se utiliza como elemento de referencia, ya que sus contenidos en la corteza terrestre son conservativos (Taylor 1964).

6.4.3. Normalización para los elementos del grupo de las tierras raras (ETR)

La normalización para los ETR se hizo a partir de la tabla de concentración promedio para *ETR* determinada por Taylor y McLennan (1985) en donde utilizan los contenidos promedio en la lutita norteamericana:

$$N_m = (EI)_{\text{sedimento}} / (EI)_{\text{lutita}}$$

A los resultados del cálculo del FE y normalización se les aplicaron pruebas estadísticas de análisis de componentes (factores) principales y el análisis de grupos (cluster) (Danielsson, 1998). El análisis de cluster consiste de un número de técnicas diferentes (Sharma, 1996; tomado de Danielsson, 1998), donde el método explica algunas estructuras simples dentro de datos de un material complejo. Los datos son reducidos y así se detectan las posibles interrelaciones. Algo de lo más criticado del análisis en cuestión es la insuficiente objetividad, puesto que dependiendo de la técnica de cluster usada, los resultados obtenidos pueden ser diferentes. Una mejor técnica no existe, sino que los resultados dependen del tipo de datos y de los objetivos particulares de estudio (Sebert *et al.*, 1998 tomado de Danielsson, 1998). La combinación de estas pruebas geoestadísticas se utilizó en este estudio para:

- (1) Identificar los elementos de mayor importancia estadística en cuanto a su concentración en las áreas de estudio;
- (2) Determinar las principales asociaciones entre los elementos;
- (3) Correlacionar las asociaciones y la distribución espacial de cada elemento.

A las concentraciones promedio de ETR se les aplicó también la razón con respecto a los valores dados por Evensen (Rollinson, 1993) para condrita, con la finalidad de observar si existe diferencia significativa con respecto a la razón con la lutita norteamericana.

7. RESULTADOS

7.1 Concentración y distribución espacial de los componentes y elementos mayoritarios, oligoelementos y ETR en los distintos ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía.

7.1.1 Componentes Mayoritarios

Carbonatos

La concentración promedio de carbonatos en las muestras de continente es variable el promedio es de 10%, mientras que en los sedimentos marinos superficiales (Figura 5) la media se incrementó a 21%, la dársena mostró entre 10 y 20% de carbonatos y hacia el norte y sur se observó un gradiente de mayor concentración.

Con respecto a otros sitios en el Golfo de California, la concentración es esencialmente la misma. En los sedimentos de La Laguna de La Paz se registraron contenidos desde 21% de carbonatos (Green-Ruíz y Larrinaga-Cunningham, 1986) hasta 24% (Rodríguez-Meza, 1999) y en La Bahía de La Paz 27% (Rodríguez-Castañeda, 2001) ligeramente mayor que nuestro resultado. Del otro lado del Golfo de California, en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón localizado en Sinaloa, Soto-Jiménez (2002) encontró bajos contenidos de CaCO_3 en sedimentos limo-arcillosos los cuales oscilan entre 0.1 a 9% a diferencia de los porcentajes descritos para los sedimentos costeros de la península de Baja California Sur. En todos los casos, los autores mencionan que la causa de la concentración máxima de carbonatos está asociada a la abundancia de fragmentos de conchas.

En la muestra del mineral de Cu se cuantificaron 24.6% de CaCO_3 .

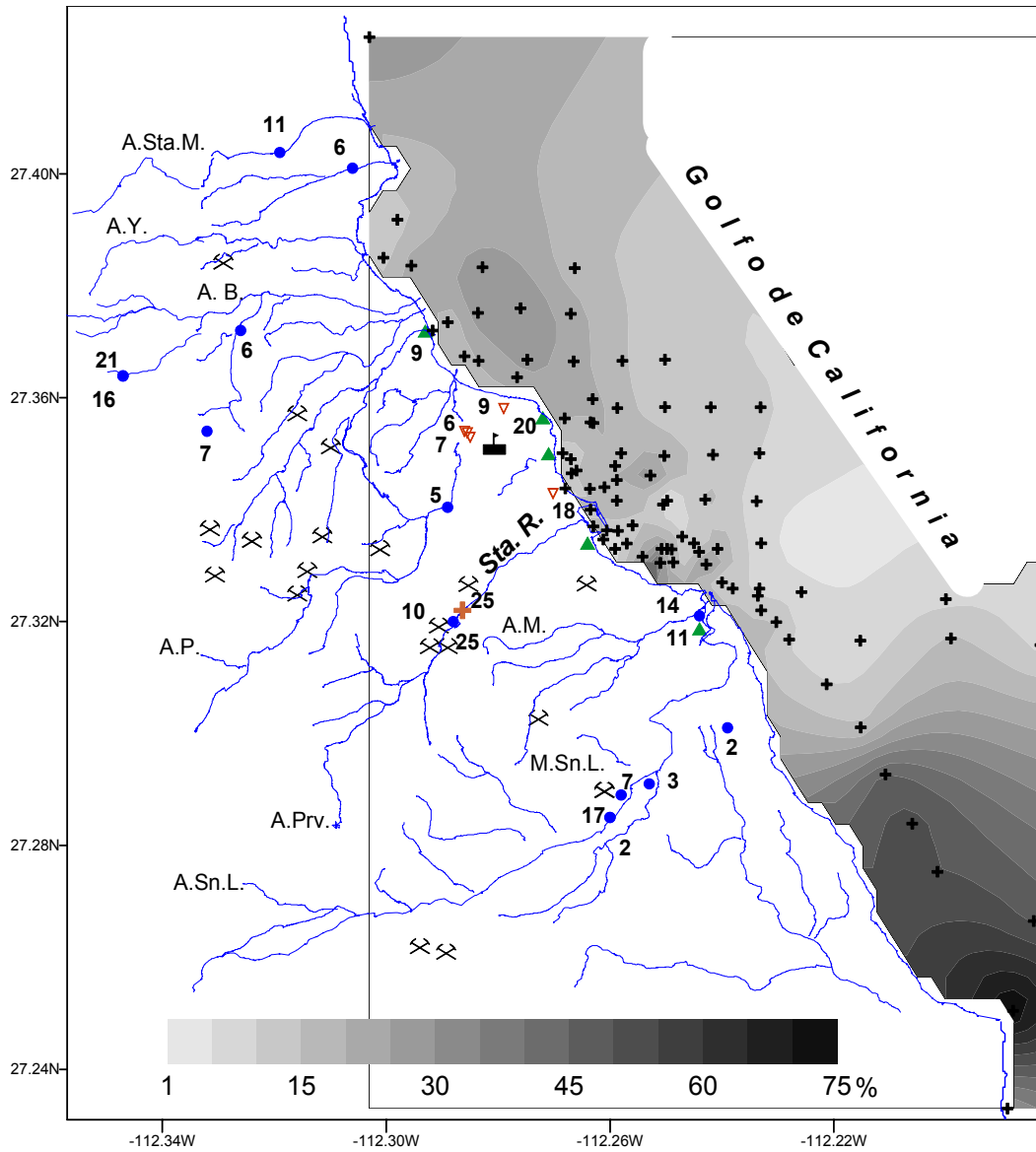


Figura 5. Distribución espacial de la concentración de CaCO₃ (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Carbono orgánico

El contenido de C_{org} en los sedimentos continentales oscila de 0.16% en los arroyos a 0.26% en sedimentos de playa y desechos sólidos. La concentración promedio en sedimentos marinos es de 0.29%, con una distribución homogénea. Los máximos de concentración (Fig. 6) se encontraron en sedimentos finos (limo-arcillosos) que están relacionados a la acumulación de material orgánico y a una alta productividad biológica marina. En el área de estudio se observó que tales características se agruparon al interior de la dársena y generan influencia hacia mar abierto. Contrastando éstos resultados con los datos obtenidos para la Laguna de La Paz que mostraron en promedio 1% de carbono orgánico en los sedimentos finos (Rodríguez-Meza, 1999) y para la Bahía de La Paz 0.83% de carbono orgánico (Rodríguez-Castañeda, 2001), puede verse que los valores determinados en los sedimentos del área de estudio son menores, probablemente como una consecuencia de las diferencias granulométricas del sedimento en cada área. Ésta tendencia también es mencionada en el trabajo de Soto-Jiménez (2002) que además encuentra una condición a decrecer del $CaCO_3$ y C_{org} conforme el aumento de profundidad.

El carbono orgánico en los sedimentos continentales refleja cierta acumulación en los arroyos Purgatorio, Providencia y San Luciano, asociados a los desechos sólidos y minas antiguas. En las muestras restantes los contenidos son bajos.

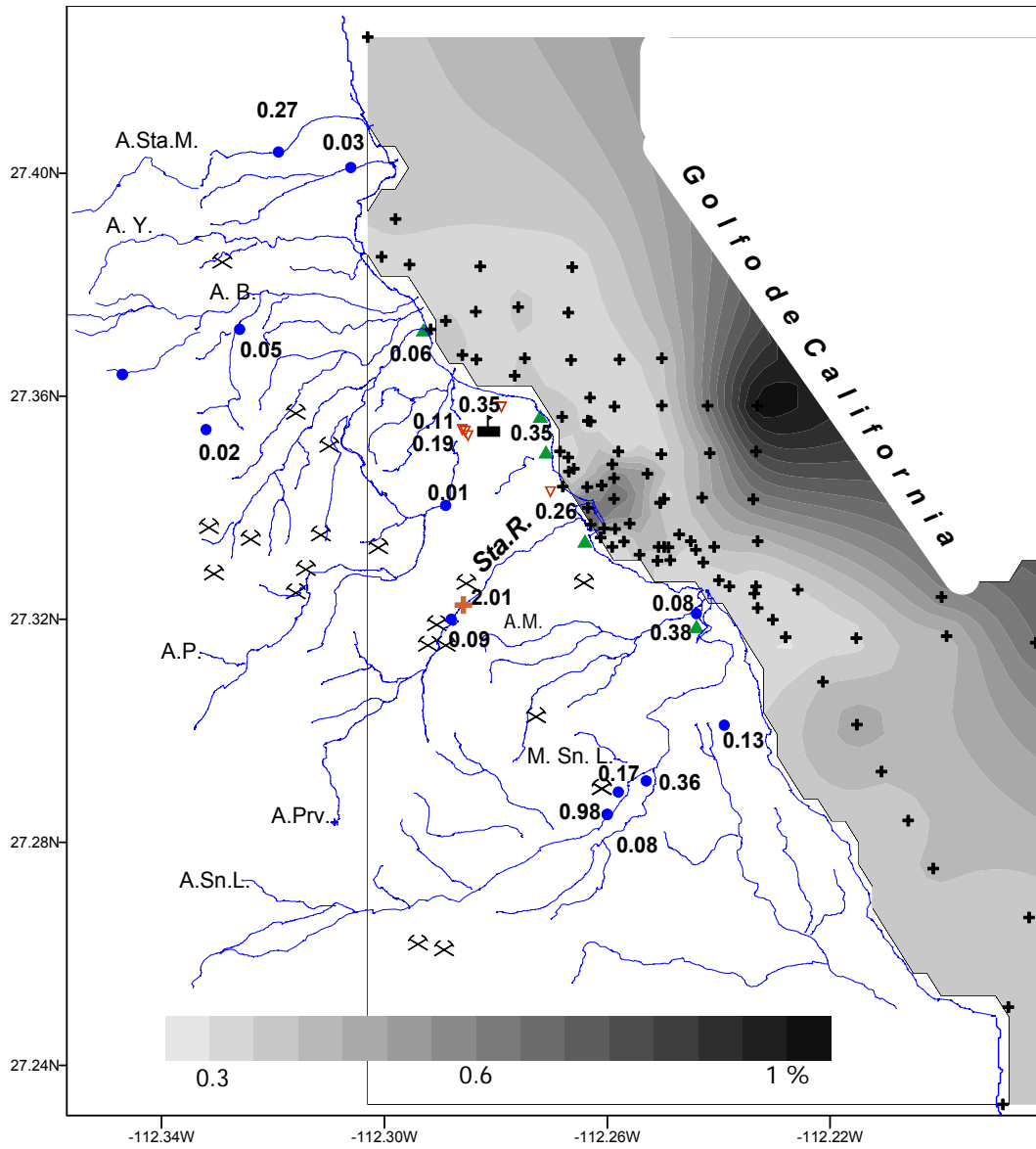


Figura 6. Distribución espacial de la concentración de Carbono orgánico (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

7.1.2 Elementos Mayoritarios

El sodio, potasio y calcio en los **materiales de los arroyos (Tabla 2)** tienen en promedio 4.4%, 1% y 7.7 %, respectivamente. La concentración promedio del Na y Ca es superior a la concentración de la corteza terrestre y el K menor a ésta. En las muestras de **playa (Tabla 3)** el contenido de sodio decrece a 2%, ligeramente menor que el 2.3 % de la corteza. El calcio en los sedimentos de playa 3% (4.15% corteza). En los **desechos sólidos (Tabla 4)** las concentraciones de éstos elementos fueron menores a los de la corteza, 1.80 % de Na, 0.4 % de K, y 2.89 % de Ca versus 2.36 % Na, 2.09% K, y 4.15 % Ca.

En los **sedimentos marinos** la distribución espacial de Na, K y Ca resultó semejante, evidenciando interrelación entre los elementos y el ambiente de depósito; las concentraciones más típicas fueron entre 2 y 3.5 % de Na y entre 2 y 4% de K (**Tabla 5**) (Figs. 7, 8 y 9). Sin embargo, los contenidos de calcio mayores al promedio en la corteza son los dominantes, los máximos (de más de 12%) tienen una mayor área de su distribución a diferencia de los elementos anteriores en el que los valores máximos son casi puntuales (Fig. 9). En comparación con los sedimentos de la Bahía de La Paz, la concentración de calcio es menor pero con respecto a lo determinado en la Laguna de La Paz, el ambiente marino de Santa Rosalía es aparentemente más rico en éste elemento incluso en los sedimentos que pertenecen a los arroyos y zona de playa; sólo en los desechos sólidos del distrito minero de Santa Rosalía es notorio el decremento de calcio con respecto a la laguna mencionada. La variabilidad del calcio en los diferentes ambientes está relacionada con el origen del mismo. Ya que para Santa Rosalía las concentraciones pueden estar influenciadas en gran parte por las altas concentraciones de malaquita (Cu. CaCO_3).

Las concentraciones de Fe en los diferentes ambientes continentales son 6% en los arroyos, 5% en los sedimentos de playa y hasta 10% en los desechos sólidos, disminuyendo hasta 3% en los sedimentos marinos. En cuanto a la distribución espacial (marina) del Fe, se observó acumulación relacionada a la dársena, en un rango de 2.5% a 5 % que se extiende desde el norte de la dársena hasta el sur, finalizando un poco antes del estero San Luciano (Fig. 10). De manera distinta a las

distribuciones de otros elementos, no hay una acumulación marcada en las desembocaduras de los arroyos y/o el estero San Luciano. Sólo se muestra un descenso progresivo de la concentración de Fe desde el continente hacia el ambiente marino adyacente.

La presencia de Fe en los sedimentos marinos es relativamente baja, ocasionada quizá por efectos de dilución de los constituyentes biogénicos en relación a los terrígenos. La muestra del mineral de cobre contiene sólo 2.5% de Fe.

Tabla 2. Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos mayores y oligoelementos en los sedimentos de **arroyo** del distrito minero de Santa Rosalía.

<i>Elemento</i>	Media aritmética	Desviación Estándar	Valor Máximo	Valor Mínimo	F.E.	Corteza Continental
Na %	4.44	1.60	6.66	1.24	3.23	2.36
K %	1.05	0.42	1.67	0.41	0.86	2.09
Ca %	7.74	3.02	15.7	3.63	3.20	4.15
Fe %	6.33	3.71	17.2	3	1.93	5.63
Sc µg/g	12.82	3.86	18.3	5.99	1	22
Cr µg/g	54.69	21.70	109	15.7	0.94	100
Co µg/g	206	237	784	11.2	14.13	25
Ni µg/g	159	67.48	300	60	3.64	75
Zn µg/g	1663	1792	4530	40	40.77	70
As µg/g	32.19	35.41	118	1.9	30.69	1.8
Br µg/g	0.07	0.05	0.17	0.014	0.05	2.5
Se µg/g	1.64	1.48	6.61	0.39	56.34	0.05
Rb µg/g	34.41	13.66	61.8	7.84	0.66	90
Sr µg/g	687	388	1395	10	3.15	375
Zr µg/g	200	105	390	78	2.08	165
Sb µg/g	1.27	1.07	3.76	0.24	10.88	0.2
Cs µg/g	2.38	1.16	4.61	0.43	1.36	3.0
Ba µg/g	1222	845	3045	335	4.94	425
Hf µg/g	3.35	1.24	6.09	0.97	1.92	3.0
Ta µg/g	0.59	0.45	1.55	0.056	0.51	2.0
Th µg/g	3.72	1.52	8.01	1.94	0.66	9.6
U µg/g	17.59	15.33	58.8	2.3	11.18	2.7
Hg µg/g	0.41	0.77	3.16	0.14	8.75	0.08

Tabla 3. Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos mayores y oligoelementos en los sedimentos de **playa** del distrito minero de Santa Rosalía.

<i>Elemento</i>	Media aritmética	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo	F.E.	Corteza Continental
Na %	3.01	1.67	5.64	1.13	2.57	2.36
K %	-	-	-	-	-	2.09
Ca %	6.62	3.66	13	1.62	3.22	4.15
Fe %	4.82	1.28	6.49	3.32	1.73	5.63
Sc µg/g	10.89	2.18	14.2	7.96	1	22
Cr µg/g	63.36	30.55	113	18.8	1.28	100
Co µg/g	578	480	1358	62.5	46.68	25
Ni µg/g	182	163	480	10	4.90	75
Zn µg/g	1652	1106	2880	340	47.67	70
As µg/g	24.23	17.13	47.60	6.30	27.19	1.8
Br µg/g	0.14	0.12	0.33	0.01	0.11	2.5
Se µg/g	3.06	2.73	7.70	0.36	124	0.05
Rb µg/g	21.77	8.11	29.90	10.70	0.49	90
Sr µg/g	2386	3351	9070	320	12.85	375
Zr µg/g	407	368	1100	48	4.99	165
Sb µg/g	4.67	4.91	12.10	0.40	47.14	0.2
Cs µg/g	1.47	0.56	1.97	0.43	0.99	3.0
Ba µg/g	2388	1369	4200	675	11.35	425
Hf µg/g	2.25	1.42	4.23	0.65	1.51	3.0
Ta µg/g	0.90	0.36	1.38	0.36	0.91	2.0
Th µg/g	3.26	0.65	4.35	2.67	0.69	9.6
U µg/g	70.54	58.13	163	6.68	52.77	2.7
Hg µg/g	0.07	0.06	0.16	0.01	1.77	0.08

- No determinado

Tabla 4. Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos y oligoelementos en los sedimentos de **desechos sólidos** del distrito minero de Santa Rosalía.

Elemento	Media aritmética	Desviación Estándar	Valor máximo	Valor mínimo	F.E.	Corteza Continental
Na %	1.80	0.61	2.64	0.99	1.78	2.36
K %	0.40	0.11	0.52	0.30	0.44	2.09
Ca %	2.89	1.16	4.61	1.55	1.63	4.15
Fe %	9.66	8.72	25.20	4.70	4.01	5.63
Sc µg/g	9.41	2.88	11.90	4.48	1.00	22
Cr µg/g	222	298	751	28.40	5.18	100
Co µg/g	937	488	1732	574	87.63	25
Ni µg/g	627	703	1420	80	19.53	75
Zn µg/g	2486	563	3410	1930	83.01	70
As µg/g	39.38	38.6	107	17.10	51.14	1.8
Br µg/g	0.10	0.06	0.17	0.01	0.10	2.5
Se µg/g	2.41	1	3.56	1.30	113	0.05
Rb µg/g	22.05	14.4	44.40	9.33	0.57	90
Sr µg/g	2253	3650	8735	335	14.04	375
Zr µg/g	622	452	1100	110	8.81	165
Sb µg/g	9.12	8.9	19.60	0.51	107	0.2
Cs µg/g	2.50	2	4.75	0.14	1.94	3.0
Ba µg/g	4094	1817	7130	2250	22.52	425
Hf µg/g	1.08	0.39	1.53	0.61	0.84	3.0
Ta µg/g	0.91	0.17	1.10	0.72	1.06	2.0
Th µg/g	2.11	1	3.55	0.97	0.51	9.6
U µg/g	129	53.5	184	48.80	112	2.7
Hg µg/g	0.17	0.01	1.77	0.01	4.87	0.08

Tabla 5. Estadística descriptiva, factor de enriquecimiento (F.E.) y concentración en la corteza continental de los elementos y oligoelementos en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.

Elemento	Media aritmética	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo	F.E.	Corteza continental
Na %	3.05	1.16	5.96	0.81	2.48	2.36
K %	2.74	1.73	7.25	0.22	1.66	2.09
Ca %	9.94	4.11	21.7	1.56	4.76	4.15
Fe %	3.53	1.28	10.7	0.78	1.12	5.63
Sc µg/g	11.31	2.99	20.7	2.50	1.00	22
Cr µg/g	58.65	26.82	130	16.10	1.18	100
Co µg/g	112	248	1205	2.72	8.87	25
Ni µg/g	136	96	380	10	2.96	75
Zn µg/g	521	896	5270	10	14.68	70
As µg/g	6.98	6.48	34.7	0.69	6.47	1.8
Br µg/g	0.51	0.45	2.43	0.02	0.24	2.5
Se µg/g	1.03	0.74	4.15	0.08	42.40	0.05
Rb µg/g	29.01	13.93	71.4	0.3	0.59	90
Sr µg/g	1163	1025	8685	150	5.96	375
Zr µg/g	167	150	990	3	2.65	165
Sb µg/g	0.72	1.90	17.6	0.02	3.65	0.2
Cs µg/g	1.74	1.01	5.04	0.24	1.09	3.0
Ba µg/g	911	1072	5155	70	4.11	425
Hf µg/g	2.89	1.19	6.27	0.06	1.73	3.0
Ta µg/g	0.40	0.29	1.45	0.04	0.37	2.0
Th µg/g	2.72	0.98	6.28	0.29	0.51	9.6
U µg/g	11.5	24.7	164	0.7	9.27	2.7
Hg µg/g	0.10	0.09	0.35	0.01	2.41	0.08

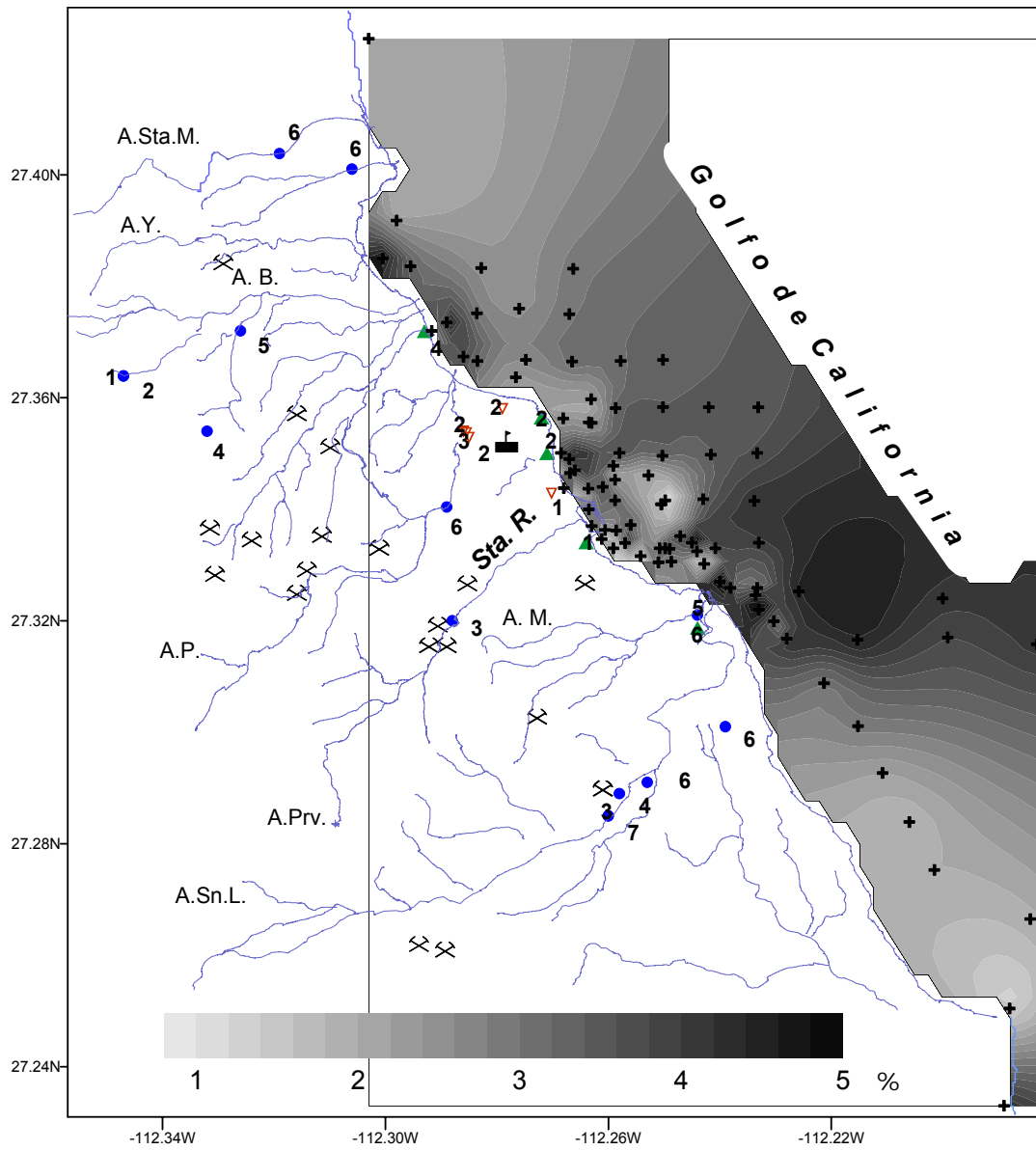


Figura 7. Distribución espacial de la concentración de Na (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

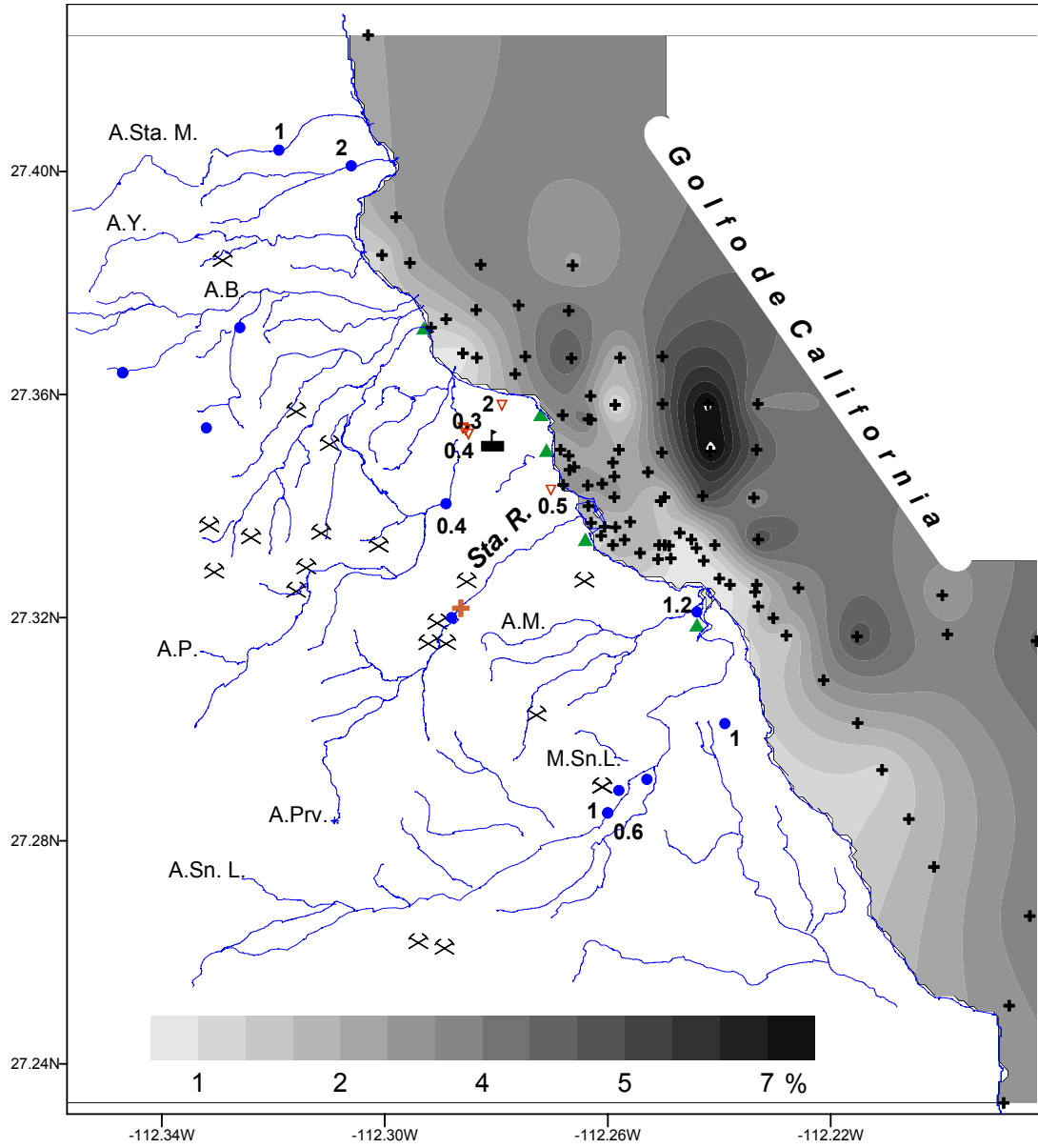


Figura 8. Distribución espacial de la concentración de K (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía

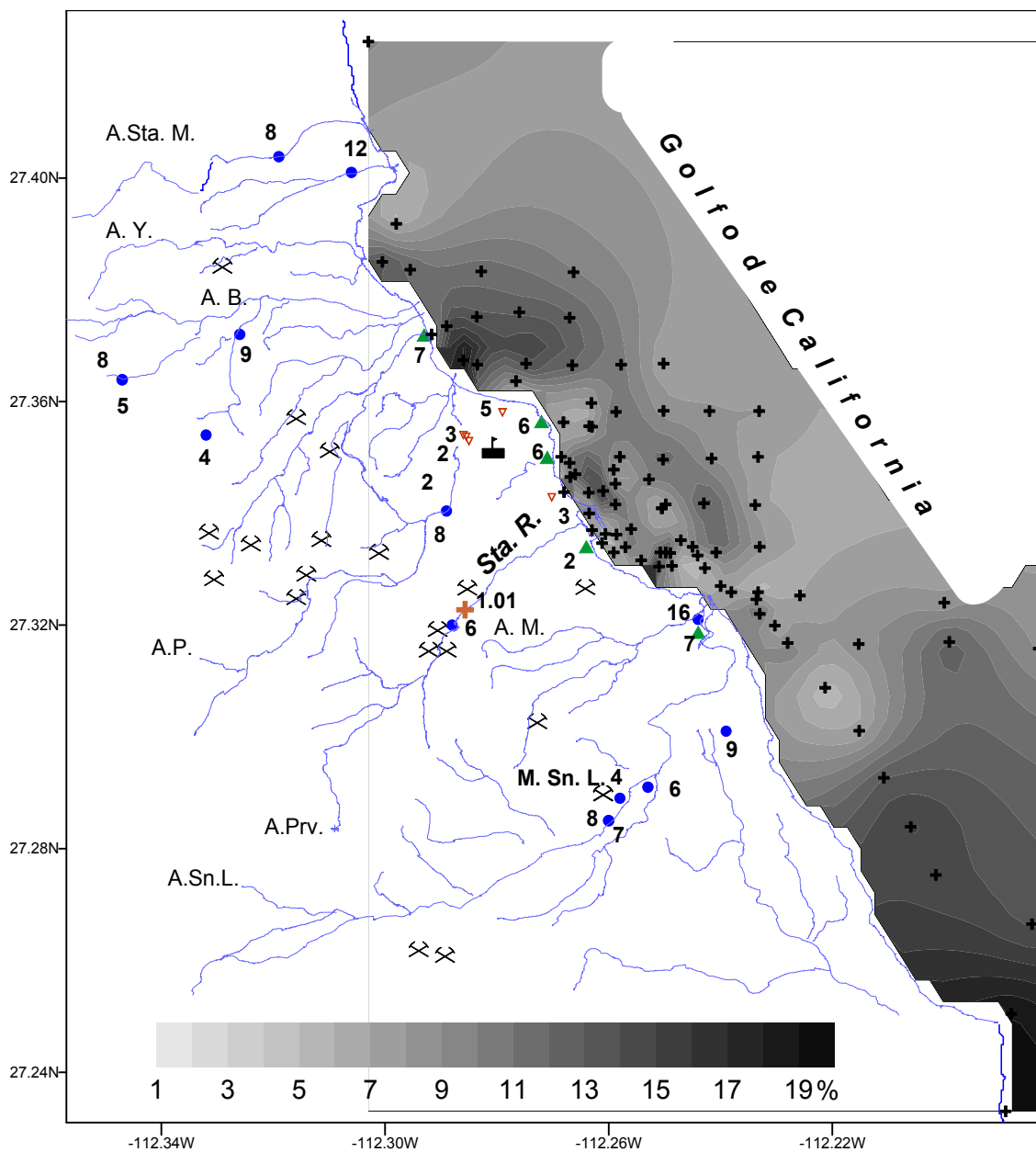


Figura 9. Distribución espacial de la concentración de Ca (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía

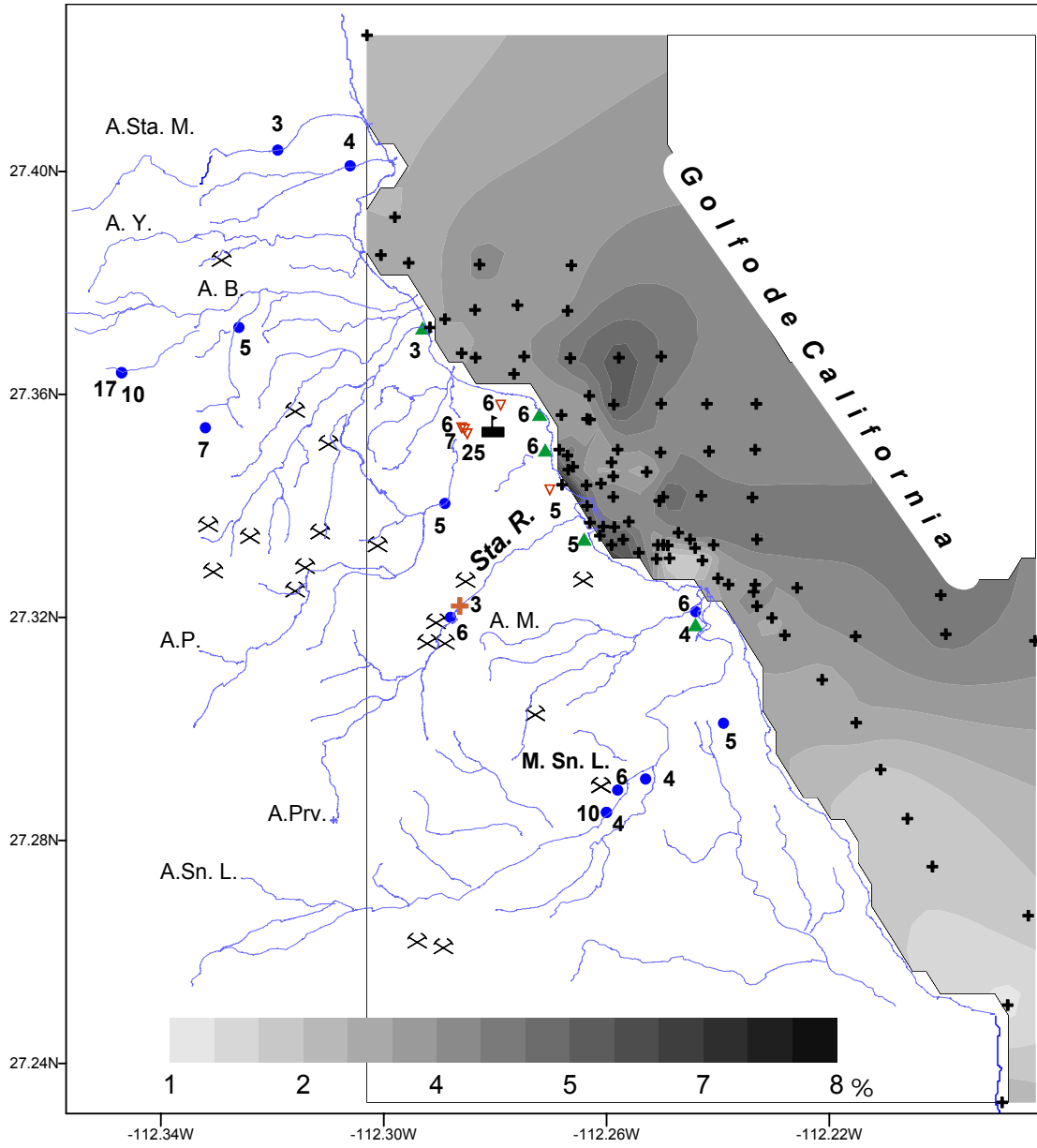


Figura 10 . Distribución espacial de la concentración de Fe (%) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

7.1.3 Oligoelementos en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Del análisis primario de la concentración y distribución espacial de los oligoelementos en los sedimentos marinos se pudieron distinguir diferentes grupos relacionados a las condiciones de su origen. Estos grupos **serán descritos en orden de importancia en relación a la concentración y a las características de su distribución espacial**. Se descubrieron altos contenidos de elementos (terrígenos) procedentes del intemperismo natural de las rocas y asociados a las estructuras minerales de la región. Las concentraciones relevantes de metales y metaloides fueron las de Co, Zn, Cr, Zr, Ba, Ni, Cu, As, Sb, Sr, Se, Hg y Pb. Algunos de estos elementos son considerados como metales pesados contaminantes, particularmente el Hg, Cd, Ni y Cr (Páez-Osuna y Villanueva 1986). Meador *et al.* (1994) consideran a la mayoría de los elementos mencionados como habitualmente utilizados para conocer el impacto de las actividades humanas. Otros como el As, Ba y Zr evidencian condiciones vulcanogénicas.

Cobalto y zinc

Las distribuciones espaciales de las concentraciones de cobalto y zinc en diferentes depósitos del distrito minero de Santa Rosalía son similares. En los sedimentos de arroyo los niveles promedio son de 206 $\mu\text{g/g}$ de Co y 1662 $\mu\text{g/g}$ de Zn, en los sedimentos de playa 578 $\mu\text{g/g}$ de Co y 1652 $\mu\text{g/g}$ de Zn. Los mayores contenidos se encontraron distribuidos en los depósitos de desechos sólidos con 937 $\mu\text{g/g}$ de cobalto (37 veces más que los 25 $\mu\text{g/g}$ de la concentración promedio de éste elemento en la corteza) y 2486 $\mu\text{g/g}$ de zinc (24 veces más en comparación a los 70 $\mu\text{g/g}$ para la corteza). La muestra 15^a que corresponde al mineral de Cu, presenta un importante enriquecimiento de Co 113 $\mu\text{g/g}$ y Zn 2060 $\mu\text{g/g}$.

Para ambos elementos los niveles naturales pueden considerarse en los sedimentos del arroyo Santa María (11 $\mu\text{g/g}$ Co, 90 $\mu\text{g/g}$ Zn), El Yaqui (25 $\mu\text{g/g}$ Co, 70 $\mu\text{g/g}$ Zn) y en algunas muestras del arroyo y estero de Santa Águeda (Fig. 11,12). En tanto que, entre los arroyos El Boleo y Providencia se localizaron los contenidos máximos, de 1732 $\mu\text{g/g}$ de cobalto y 4530 $\mu\text{g/g}$ de Zn en algunas muestras.

A manera de comparación regional, se cuenta con el estudio del distrito minero de Santa Rosalía elaborado por el Consejo de Recursos Minerales (1997) en el que se determinó por el método analítico de emisión de plasma, el contenido de cobalto en 355 muestras de arroyo, mostrando (carta geoquímica G12-1) un intervalo (3.75 $\mu\text{g/g}$ a 182 $\mu\text{g/g}$) de concentración menor a nuestros resultados. Lo mismo sucede con los sedimentos de la Laguna y Bahía de La Paz (Rodríguez-Meza, 1999 y Rodríguez-Castañeda, 2001) que presentan concentraciones de Co y Zn menores, incluso lo determinado por Taylor, (1964). También para el sistema costero del Golfo de México, los valores más altos de Co son 227 $\mu\text{g/g}$ en los sedimentos de la Laguna Ilusión (Villanueva y Botello, 1996) y 57 $\mu\text{g/g}$ en los sedimentos de la Laguna Ostión, Veracruz (Páez-Osuna, *et al.*, 1986), siendo por tanto inferiores. En los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía, las concentraciones decrecen notoriamente a 108 $\mu\text{g/g}$ de Co y 501 $\mu\text{g/g}$ de Zn en promedio, sin embargo los sedimentos continúan enriquecidos, el Co es 4 veces mayor al contenido de la corteza y el Zn más de 8. Las concentraciones al interior de la dársena (Fig 11 y 12) son muy altas, desde 159 $\mu\text{g/g}$ (est. 25) hasta 867 $\mu\text{g/g}$ de cobalto (est. 21) y 1860 $\mu\text{g/g}$ (est. 25) hasta 2450 $\mu\text{g/g}$ (est. 21) $\mu\text{g/g}$ de Zn. En general, la concentración de Zn en los sedimentos del distrito minero de Santa Rosalía supera en mucho lo determinado en sedimentos marinos contaminados de zonas industrializadas (por ejemplo, 362 $\mu\text{g/g}$ en la Bahía de Golden Horn, Vladivostok, Rusia) (Tkalin *et al.*, 1996). En el área exterior de la dársena (sur-este) se observan altos contenidos y gran variabilidad entre las muestras, principalmente para el cobalto, mientras que la concentración de éste elemento en las restantes estaciones tiende a la homogeneidad.

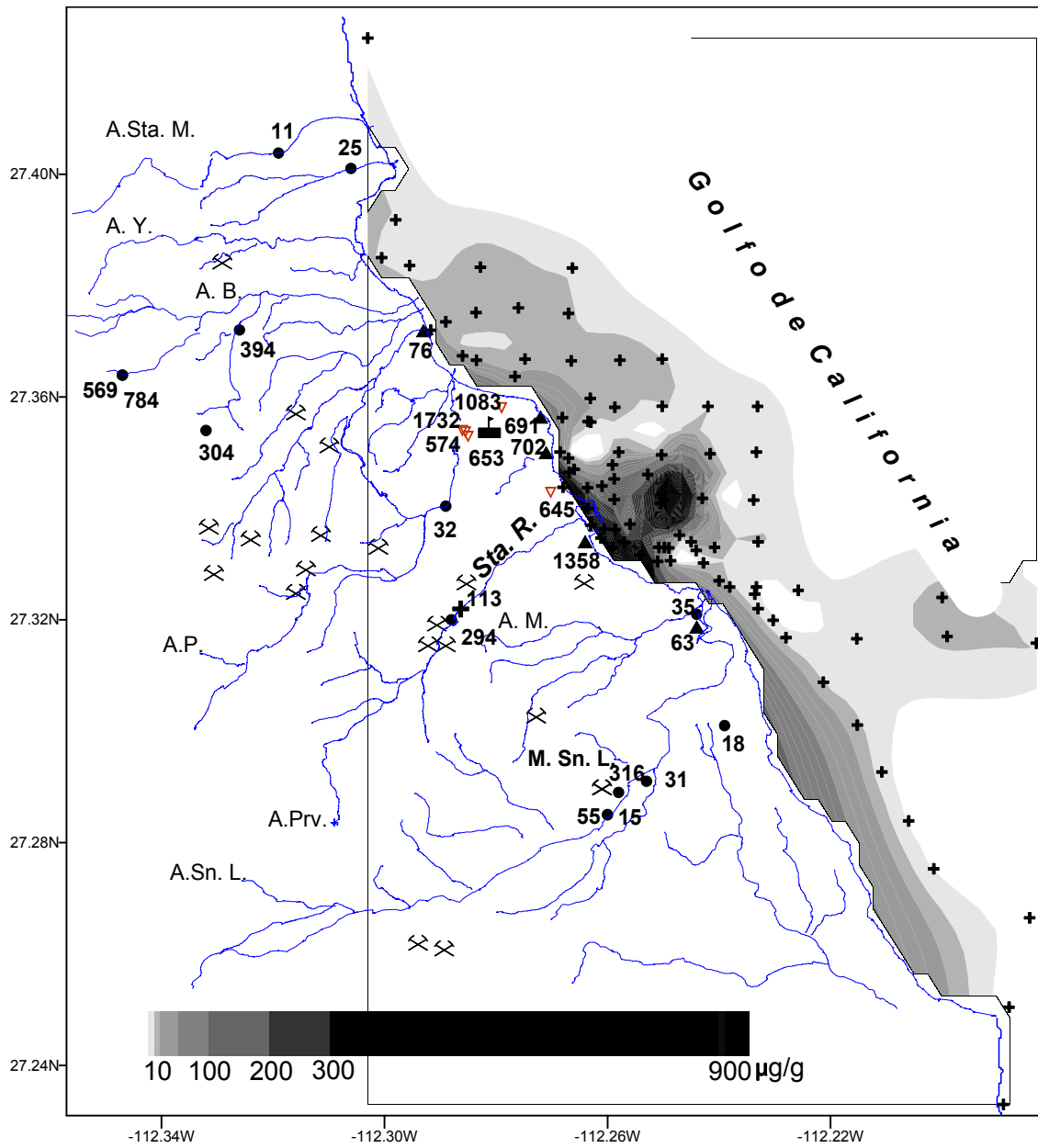


Figura 11. Distribución espacial de la concentración de Co ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

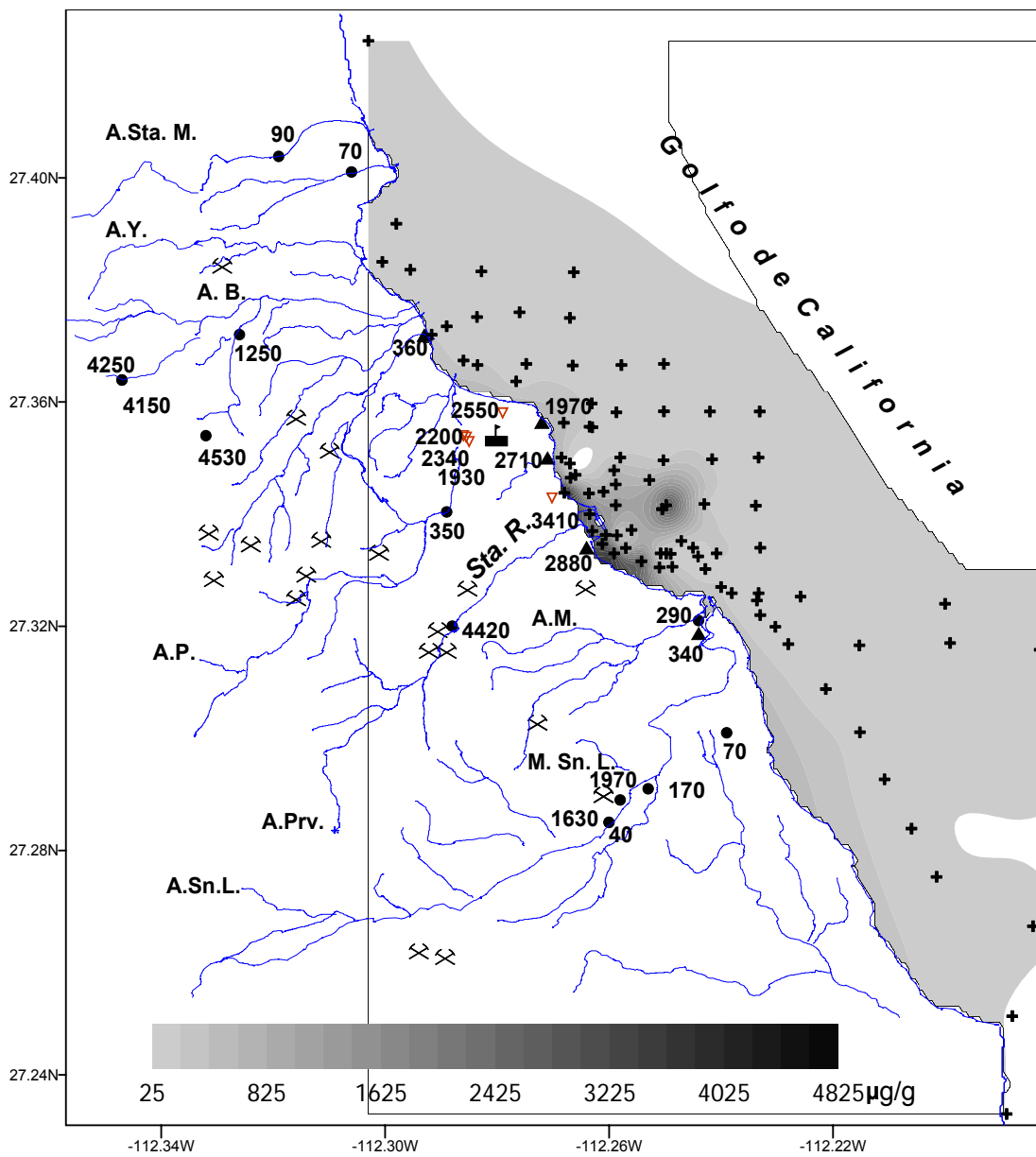


Figura 12 . Distribución espacial de la concentración de Zn ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Cromo, zirconio, bario y níquel

Con algunas excepciones, estos elementos muestran acumulación similar en los diferentes ambientes continentales. Los niveles basales de Cr, Zr, Ba y Ni (Figuras 13, 14, 15 y 16) se observaron en los sedimentos de los arroyos. El contenido de cromo en éste ambiente es de 55 $\mu\text{g/g}$, incrementándose gradualmente la concentración hacia los sedimentos de playa (63 $\mu\text{g/g}$), observándose un máximo de 221 $\mu\text{g/g}$ encontrado en los desechos sólidos; mientras el valor promedio en la corteza es de (100 $\mu\text{g/g}$). El zirconio en todos los ambientes fue superior a 175 $\mu\text{g/g}$ (corteza), en los arroyos 200 $\mu\text{g/g}$, 400 $\mu\text{g/g}$ en los sedimentos de playa y 622 $\mu\text{g/g}$ en los desechos sólidos.

El valor promedio de Ba exhibió un fuerte enriquecimiento desde los arroyos (Tabla 2) con 1222 $\mu\text{g/g}$ tres veces mayor a los 425 $\mu\text{g/g}$ reportado para la corteza terrestre por Taylor (1964), 5 veces más (2388 $\mu\text{g/g}$) en los sedimentos de playa y hasta 10 veces más (4094 $\mu\text{g/g}$) en los desechos sólidos.

El cambio de concentración de Ni fue de 159 $\mu\text{g/g}$ en los arroyos, 182 $\mu\text{g/g}$ en la playa y 627 $\mu\text{g/g}$ en los desechos sólidos.

En el medio ambiente marino, las concentraciones significativamente altas (mayores a la corteza) de la mayoría de los elementos se distribuyen en tres áreas diferentes. La zona I, que se limita a la parte media de la región en un radio aproximado a 5 km a partir de la dársena. La zona II, ubicada frente a la desembocadura de arroyo El Boleo, se extiende también hasta 5 km a partir de la línea costera. La zona III se forma en la parte sur de la dársena, en donde se localiza el estero San Luciano, es de menor extensión y agrupa sólo a muestras cercanas a la costa dentro de un radio aproximado de 2.5 km.

En la zona I los sedimentos marinos presentaron las concentraciones máximas regionales de Cr, Zr, Ba y Ni. El Cr fluctuó de 75 hasta 115 $\mu\text{g/g}$ (Fig. 13) con un promedio de 58 $\mu\text{g/g}$. El Zr mantiene niveles altos desde 300 hasta 600 $\mu\text{g/g}$ restringidos al interior de la dársena y 214 $\mu\text{g/g}$ en promedio. El bario varía de 500 $\mu\text{g/g}$ hasta más de 2000 $\mu\text{g/g}$ con 853 $\mu\text{g/g}$ en promedio (2 veces más la concentración de la corteza). Los contenidos de níquel en los sedimentos marinos

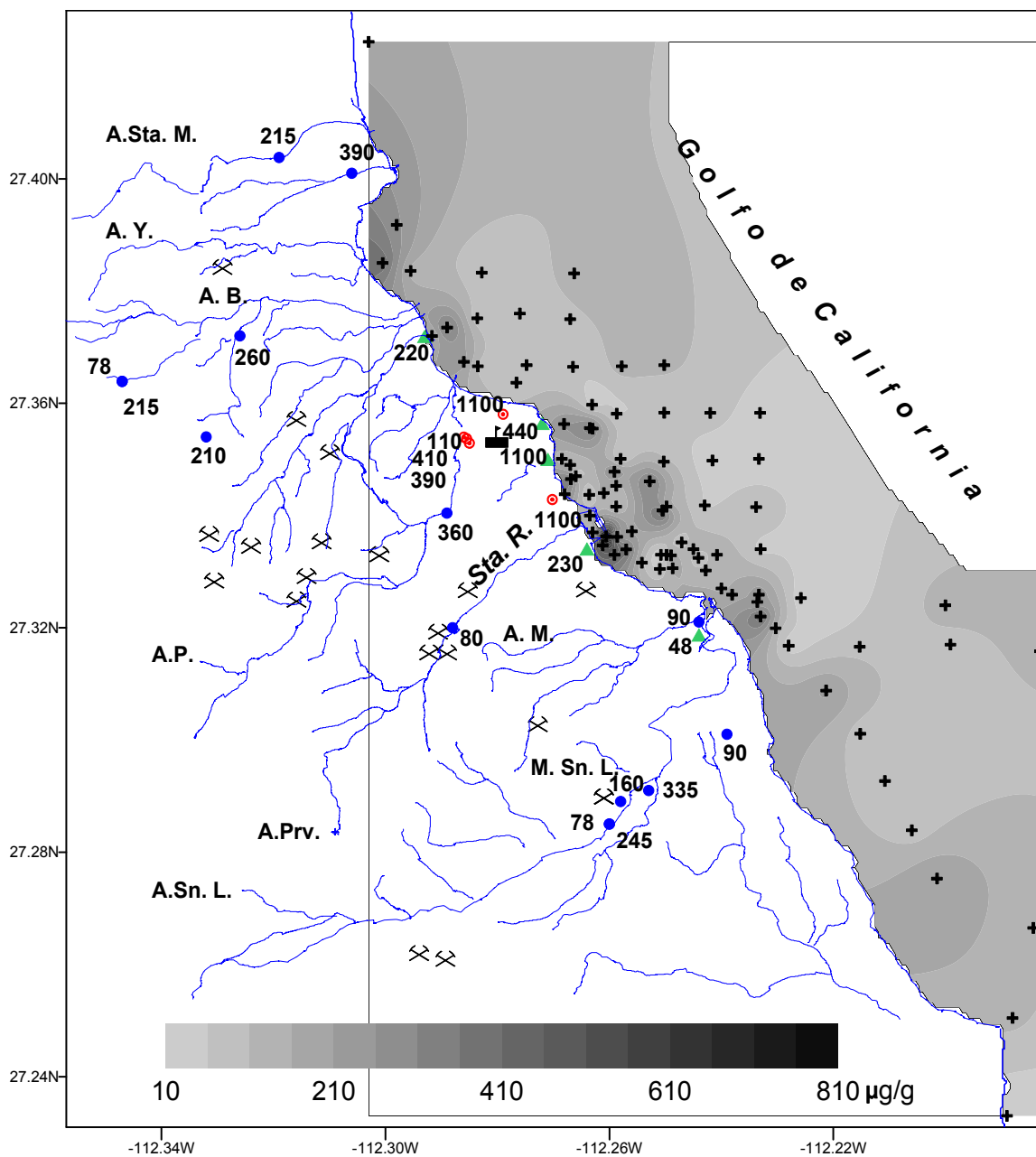


Figura 14. Distribución espacial de la concentración de Zr ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

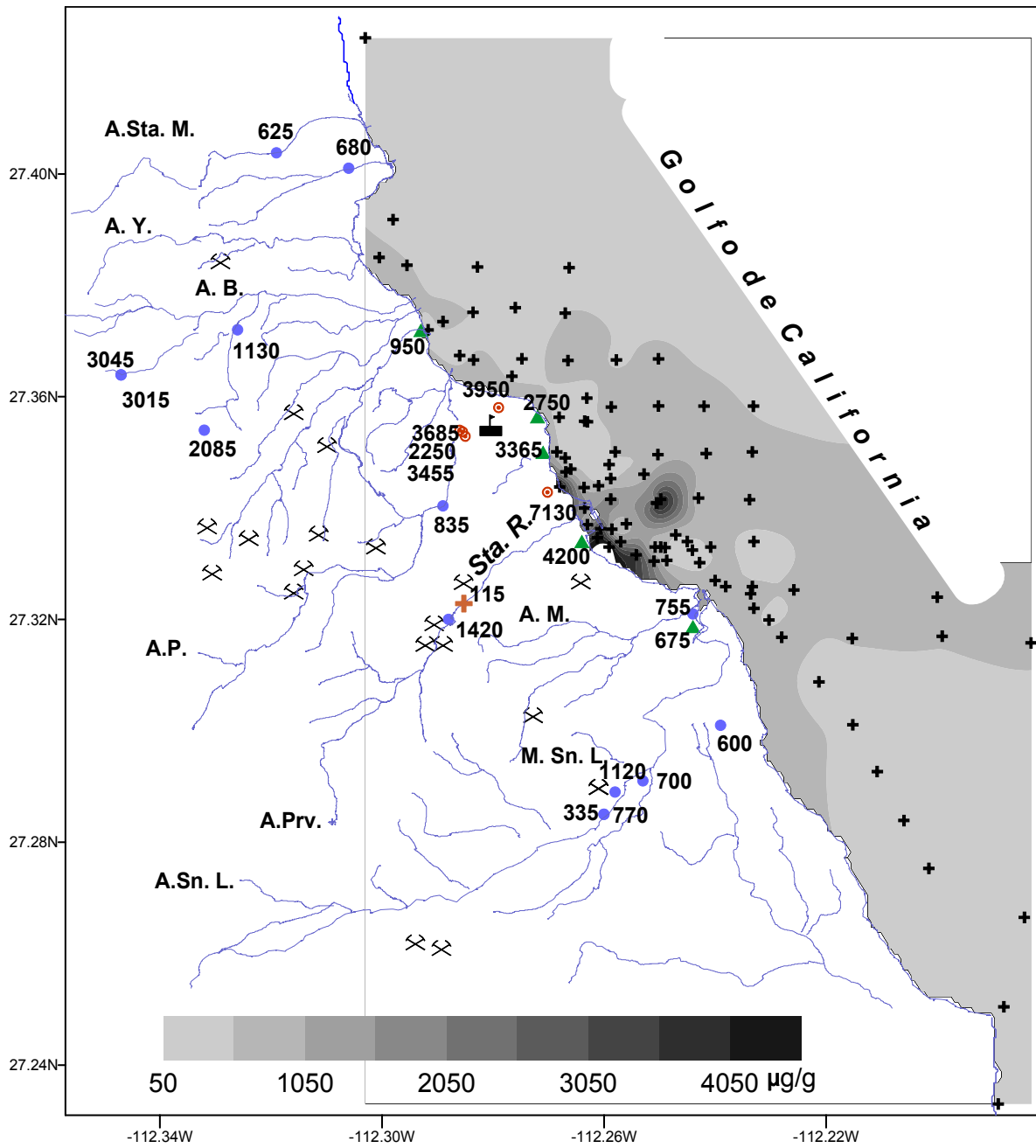


Figura 15. Distribución espacial de la concentración de Ba ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

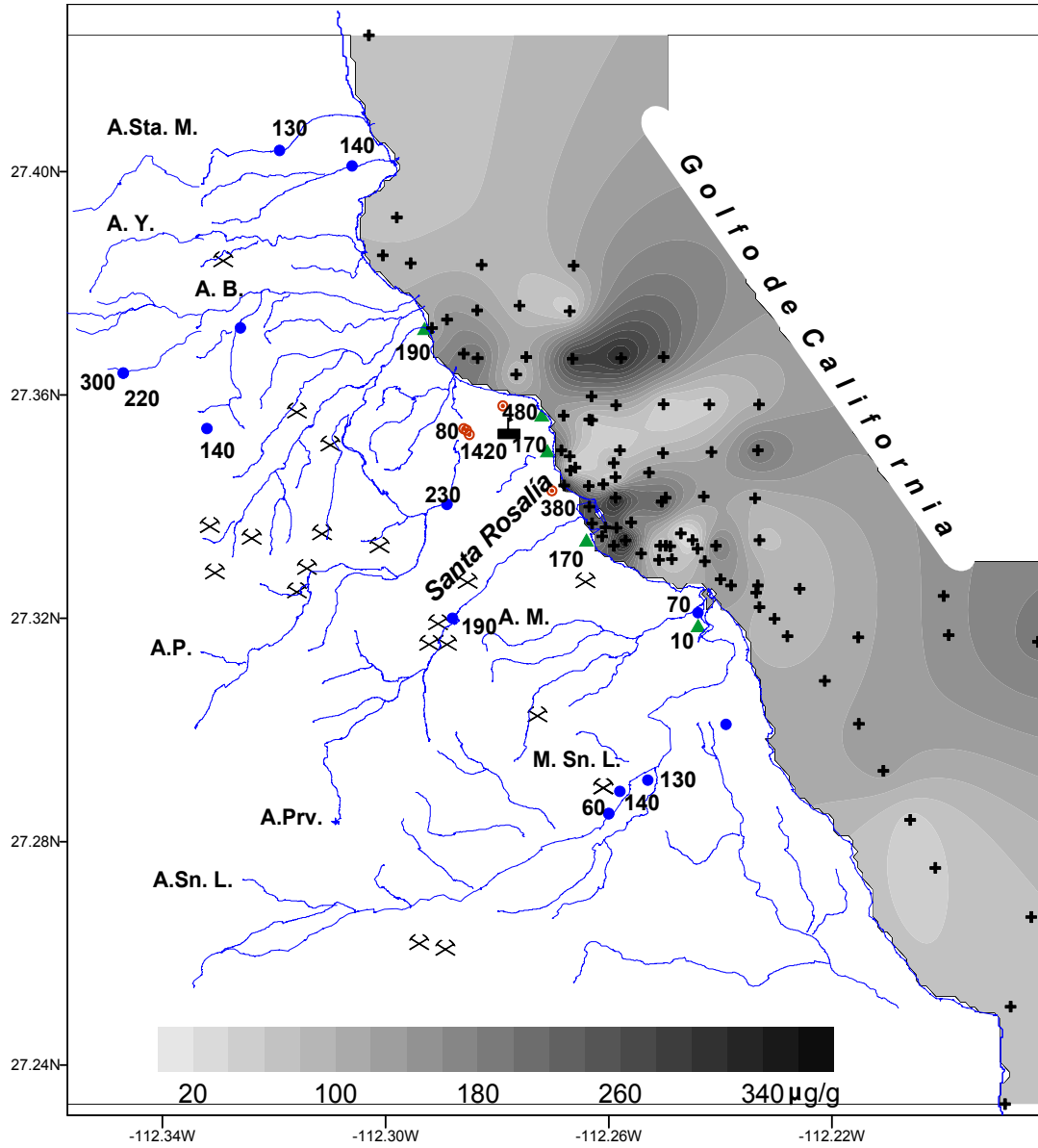


Figura 16. Distribución espacial de la concentración de Ni ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Cobre

El patrón de la distribución espacial del cobre en los depósitos del distrito minero de Santa Rosalía se presenta en Figura 17. El contenido mínimo se encontró en el arroyo Yaqui (estación 13 con 169 µg/g) y Santa Agueda en su parte baja (estación 4, 149 µg/g). Estos valores representan los niveles regionales (naturales) de Cu, sin embargo en la mayoría de las muestras de los arroyos Santa Agueda, Santa Rosalía, El Purgatorio y El Boleo (Fig. 17) el Cu está fuertemente enriquecido (445 µg/g - 5758 µg/g) comparado con la cuenca de La Laguna de La Paz (parte sur de la Península de Baja California) que contiene sólo 10 ± 9 µg/g (Shumilin *et al.*, 2001).

En las arenas de “playas negras” del distrito minero de Santa Rosalía las concentraciones de cobre exceden los niveles obtenidos por Macdonald *et al.* (1991) para los depósitos de desechos ricos en cobre adyacentes a aguas costeras y por Tkalin *et al.* (1996) quienes analizaron sedimentos marinos próximos al puerto y zonas industriales de Vladivostok (Rusia). Aún cuando éstos datos provienen de regiones contaminadas, sus valores son comparables con lo determinado para los sedimentos costeros del Golfo de California (Shumilin *et al.*, 2001) y con los resultados obtenidos en áreas costeras de mares marginales (Macdonald and Crecelius 1994; Páez-Osuna *et al.*, 1986).

En los depósitos de desechos sólidos la concentración promedio de Cu es de 1995 µg/g, el valor mínimo determinado fue de 46 µg/g hasta 1952 µg/g como máximo (estación 25) lo cual demuestra la varianza entre las muestras.

En los sedimentos marinos (Fig.17) se observa que el espacio de concentración y distribución de cobre es la dársena (zona I), a partir de ésta la acumulación decrece gradualmente hacia la porción marina más lejana. Las concentraciones máximas determinadas en los sedimentos marinos de ésta área, son uno o dos ordenes de magnitud mayor que las concentraciones registradas en los sedimentos de las lagunas de La Mancha, Llano y Salada en el estado de Veracruz, México (50-70 µg/g) (Villanueva y Botello, 1998) y que en los sedimentos altamente contaminados de zonas industrializadas (181 µg/g en la Bahía Golden Horn, Vladivostok, Russia) (Tkalin *et al.*, 1996). Este “punto crítico” (hot spot) de concentración de cobre en los sedimentos de la dársena en Santa Rosalía es de

limitada extensión ya que los sedimentos en las márgenes (zona II y III) muestran contenidos mucho más bajos (ej: 48 $\mu\text{g/g}$ en la estación 16 y 46 $\mu\text{g/g}$ en la estación 31). La distribución espacial de los contenidos de cobre en los sedimentos marinos indica no sólo la posición de los sitios de gran abastecimiento de material que contiene cobre sobre la costa, sino que, también revela la dirección principal de transporte de materiales sedimentarios contaminados en el mar adyacente. El movimiento de los sedimentos debe ser controlado por la circulación en el Golfo de California que es complicada; sin embargo autores como Rosas-Cota (1977) y Maluf, (1983) coinciden en una dirección de flujo geostrofico hacia el Noreste durante el verano e inversa (Sureste) para el invierno (Estudio ambiental básico, 1996).

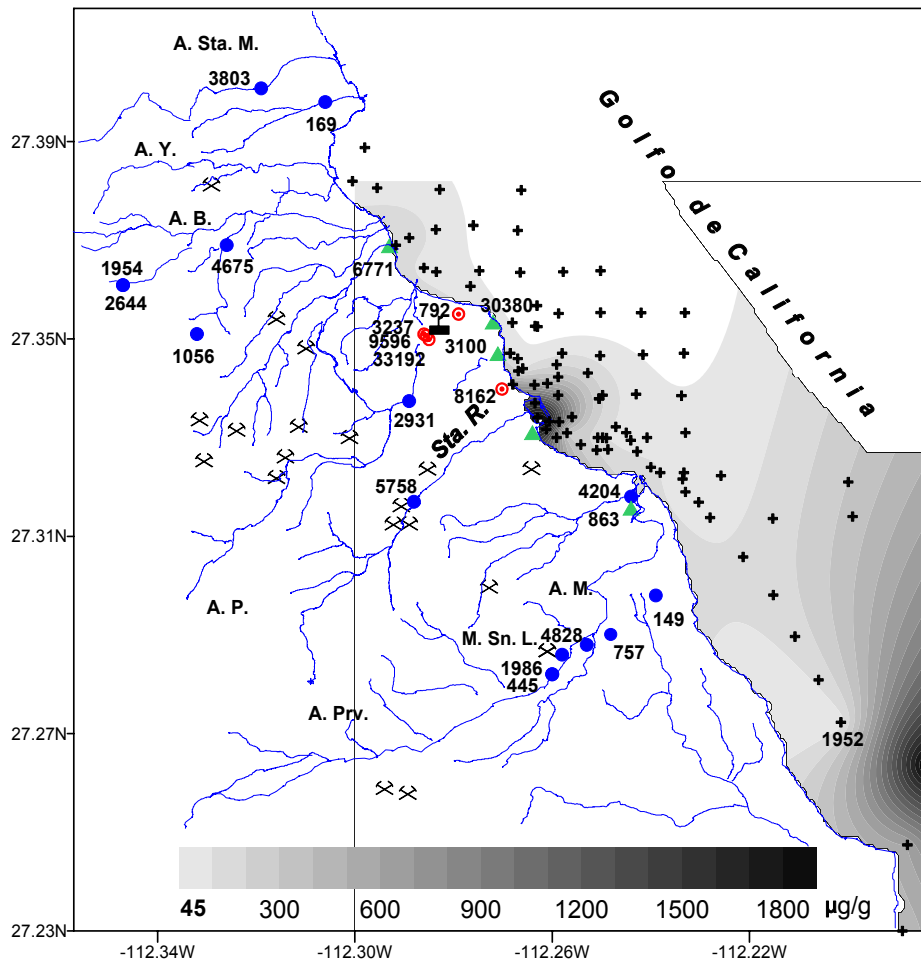


Figura 17. Distribución espacial de la concentración de Cu ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Arsénico

El arsénico es un importante constituyente de los sedimentos de Santa Rosalía, éstos se encuentran altamente enriquecidos en éste elemento. La concentración de éste elemento en los sedimentos de los arroyos resultó ser 18 veces mayor que el promedio de la corteza (Tabla 2, 3, 4 y 5). En las arenas de playa el enriquecimiento disminuye a 14 veces y en los desechos sólidos se incrementa a 22 veces mayor que el contenido promedio de la corteza. Si comparamos éstos datos con lo registrado para La Laguna y Bahía de La Paz, Santa Rosalía es la zona de mayor concentración de arsénico en sus sedimentos continentales. Sin embargo, en los sedimentos marinos el comportamiento es distinto a las áreas mencionadas porque la concentración promedio para el distrito minero es de 6.9 µg/g, mientras que en los sedimentos superficiales de La Laguna y Bahía de La Paz hay 9 µg/g y 11.2 µg/g de arsénico respectivamente (Rodríguez-Meza, 1999 y Rodríguez-Castañeda, 2001). No obstante, el As continúa enriquecido con respecto a la corteza terrestre 3.8 veces más que el promedio de 1.8 µg/g de ésta (Taylor, 1964).

La Figura 18 ilustra el patrón de los contenidos de arsénico en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía. Como se puede observar, la zona I y II presentan las mayores concentraciones entre 8 y 22 µg/g para la mayoría de las muestras. El máximo determinado es de 34.7 µg/g (20 veces más que en la corteza terrestre) y el mínimo de 0.69 µg/g.

En los sedimentos de otras zonas del mundo se han registrado valores del contenido As de 3 µg/g en el río Mississippi (Goldschmidt, 1958), 8 µg/g en el Mar Rojo, 55 µg/g en el Mar Pechora (Loring *et al.*, 1995). En la Bahía Commencement Crecelius *et al.* (1985) registraron valores entre 15-20 µg/g y determina que valores cercanos a 7 µg/g reflejan condiciones preindustriales. Todas las áreas referidas, exceptuando el río Mississippi, son ambientes en condiciones naturales sin alteración antropogénica.

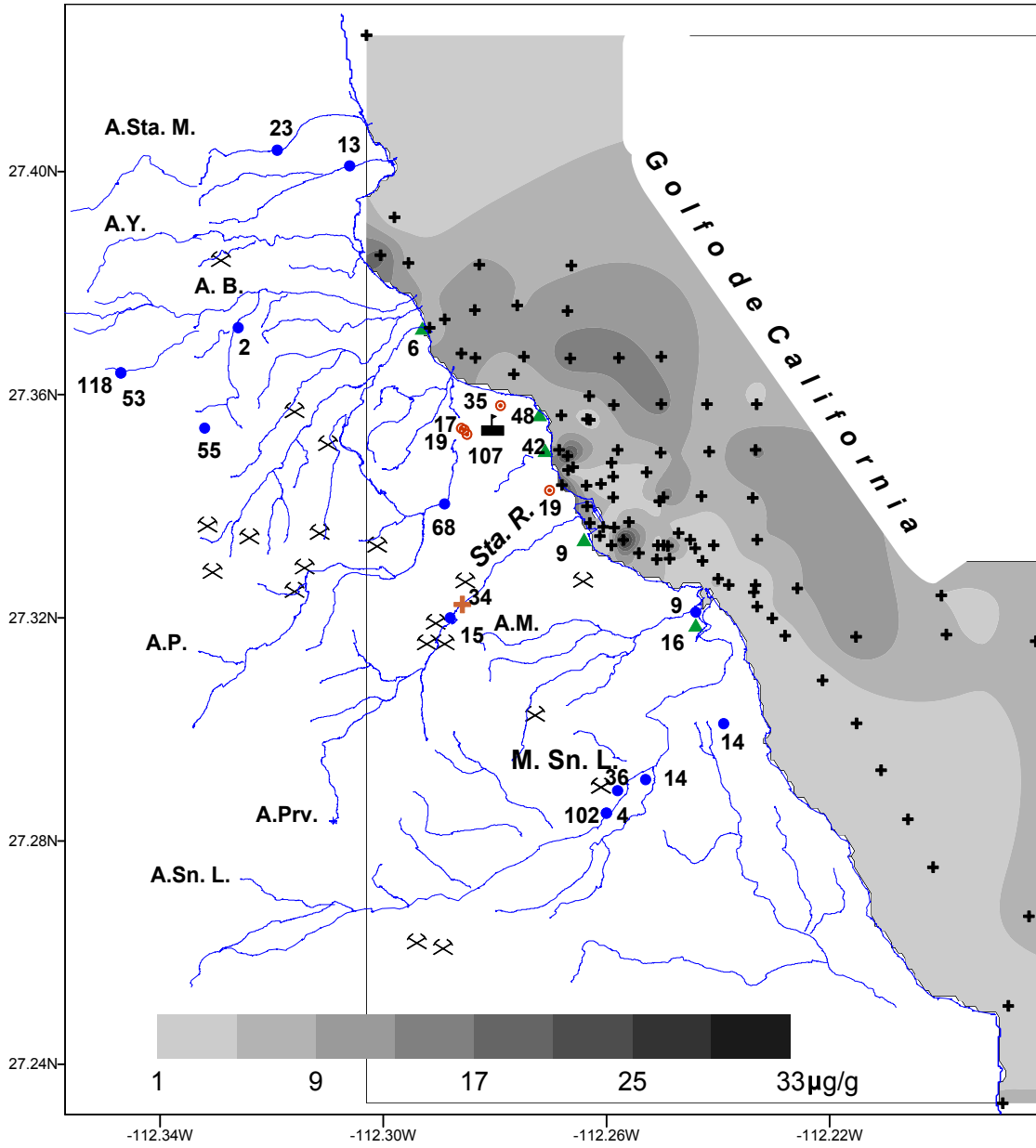


Figura 18. Distribución espacial de la concentración de As ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Antimonio

El promedio de antimonio en la corteza es de 0.2 µg/g (Taylor, 1964) de manera que los ambientes continentales en Santa Rosalía pueden considerarse como enriquecidos ya que desde el nivel de referencia en los arroyos (1.2 µg/g) las concentraciones son altas, seguido por los sedimentos de playa con 4.6 µg/g y particularmente los desechos sólidos con la acumulación máxima de 9.1 µg/g.

En los sedimentos marinos, la distribución espacial de las concentraciones de antimonio (Figura 19) presenta como particularidad un marcado incremento en las muestras localizadas fuera de la influencia costera (1.3 µg/g (est. 116), 1.8 µg/g (est. 130)). Igual que en otras distribuciones de elementos en la zona I y II se localizaron los contenidos más altos, hasta 17.6 µg/g (est. 110), 1.9 µg/g (est. 109). El intervalo de concentración en la zona I es entre 0.5 y 1 µg/g de Sb y ligeramente menor a éste la zona II. Alrededor del estero San Luciano (zona III), la concentración es entre 0.2 y 0.5 µg/g y decrece hasta valores bajos menores de 0.2 µg/g con excepción de las muestras 103, 104 y 105 que contienen 1.12, 0.82 y 0.92 µg/g de antimonio respectivamente.

En general, el promedio de Sb es menor (0.7µg/g) con respecto a la Laguna de La Paz (1 µg/g) (Rodríguez-Meza, 1999) y a la Bahía de La Paz 0.9 µg/g (Rodríguez-Castañeda, 2001), aunque más abundante (3.5 veces) que en la corteza.

En la literatura se reportan niveles de antimonio entre 25 y 33 veces mayores a su abundancia en la corteza terrestre: 5 µg/g en Long Island Sound (Greig *et al.*, 1977) y 7 µg/g de Sb en una veta de un yacimiento mineral en Durango (Canseco *et al.*, 1997) respectivamente.

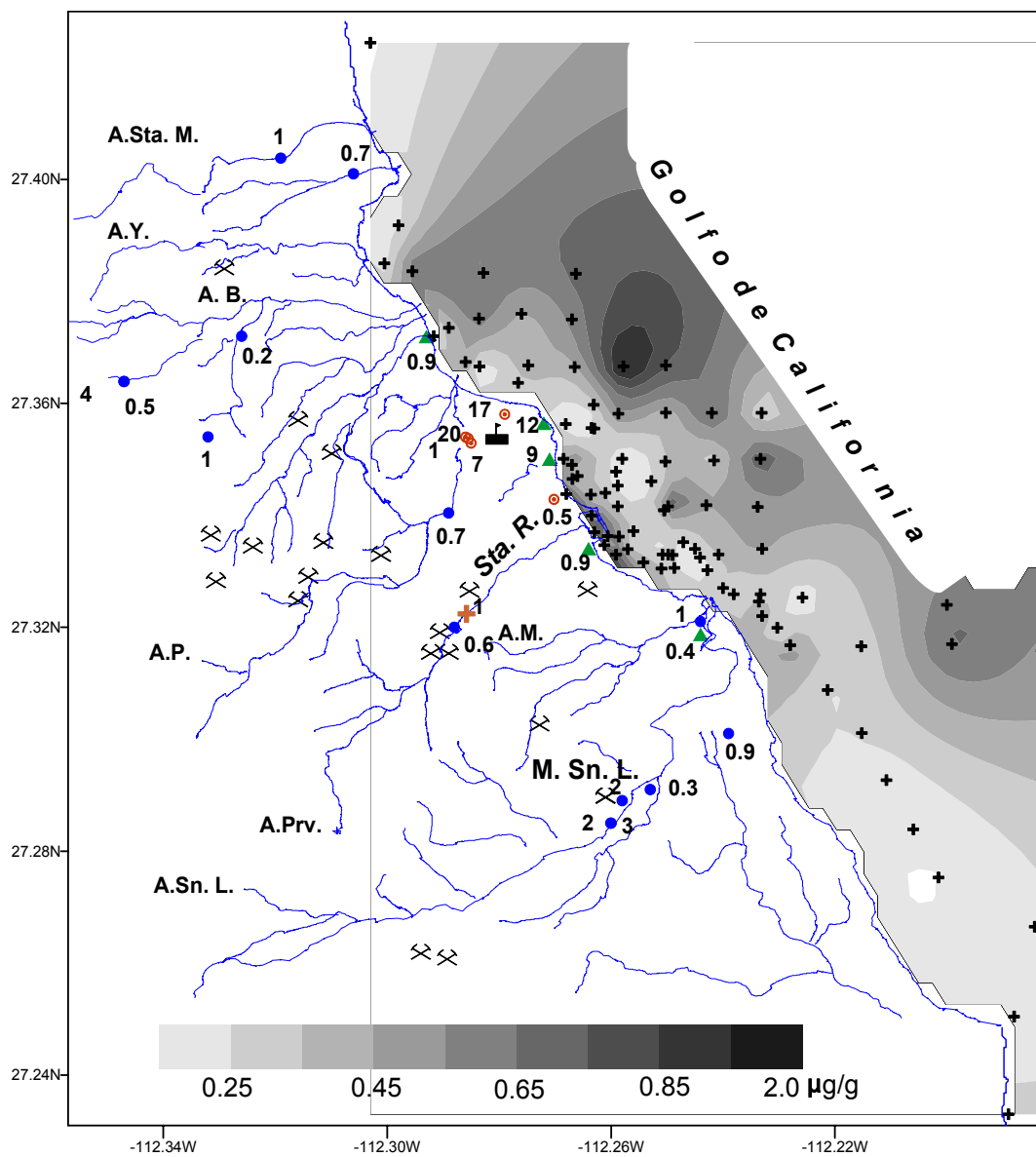


Figura 19. Distribución espacial de la concentración de Sb ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Estroncio

En los sedimentos de arroyo el promedio de la concentración de Sr fue 687 $\mu\text{g/g}$, equivalente a 1.8 veces más la concentración de la corteza y 2.3 veces más que lo reportado en el área de La Laguna de La Paz (Rodríguez-Meza, 1999) para sedimentos terrígenos. En comparación con los ríos Yangtze (150 $\mu\text{g/g}$), Amarillo (220 $\mu\text{g/g}$) (Yuan-Hui *et al.*, 1984) y Cerro Prieto (237 $\mu\text{g/g}$) en Baja California (Quintanilla y Suárez, 1996) los niveles de Sr son 4.5, 3.1 y 2.8 veces mayores, respectivamente. Referente a los sedimentos terrígenos cercanos a la Bahía de La Paz, se observó similitud con el área estudiada ya que contienen 564 $\mu\text{g/g}$ (Rodríguez-Castañeda, 2001) de Sr en sus sedimentos de arroyo.

En los desechos sólidos el contenido promedio de (2,253 $\mu\text{g/g}$) Sr fue 6 veces más que en la corteza y de manera singular los materiales de las playas mostraron los niveles máximos (2386 $\mu\text{g/g}$).

El estroncio es uno de los elementos con distribución más uniforme (Figura 20) en los sedimentos de la porción marina, relacionado quizá a su origen biogénico. Los contenidos son de proporciones anómalas, ya que la concentración promedio en éste ambiente es de 1,100 $\mu\text{g/g}$, cerca de 3 veces más el valor de la corteza. A su vez, éste valor es 1.7 veces más que lo que tienen los sedimentos lagunares (Rodríguez-Meza, 1999) pero menor que la concentración (1,550 $\mu\text{g/g}$) de Sr en los sedimentos de la Bahía de La Paz (Rodríguez-Castañeda, 2000). Los niveles más altos de estroncio se registraron en los sedimentos de la dársena de Santa Rosalía (zona I) y del Estero San Luciano (zona III) hacia el sur, en donde se forma una franja extensa de acumulación de 750 $\mu\text{g/g}$ hasta 3000 $\mu\text{g/g}$. Entre éstas dos zonas se encontraron los valores máximos con más de 3000 $\mu\text{g/g}$ (8 veces más que lo registrado por Taylor, 1964).

Hacia las desembocaduras de los arroyos el Yaqui y El Boleo (zona II) las concentraciones de Sr fueron también altas.

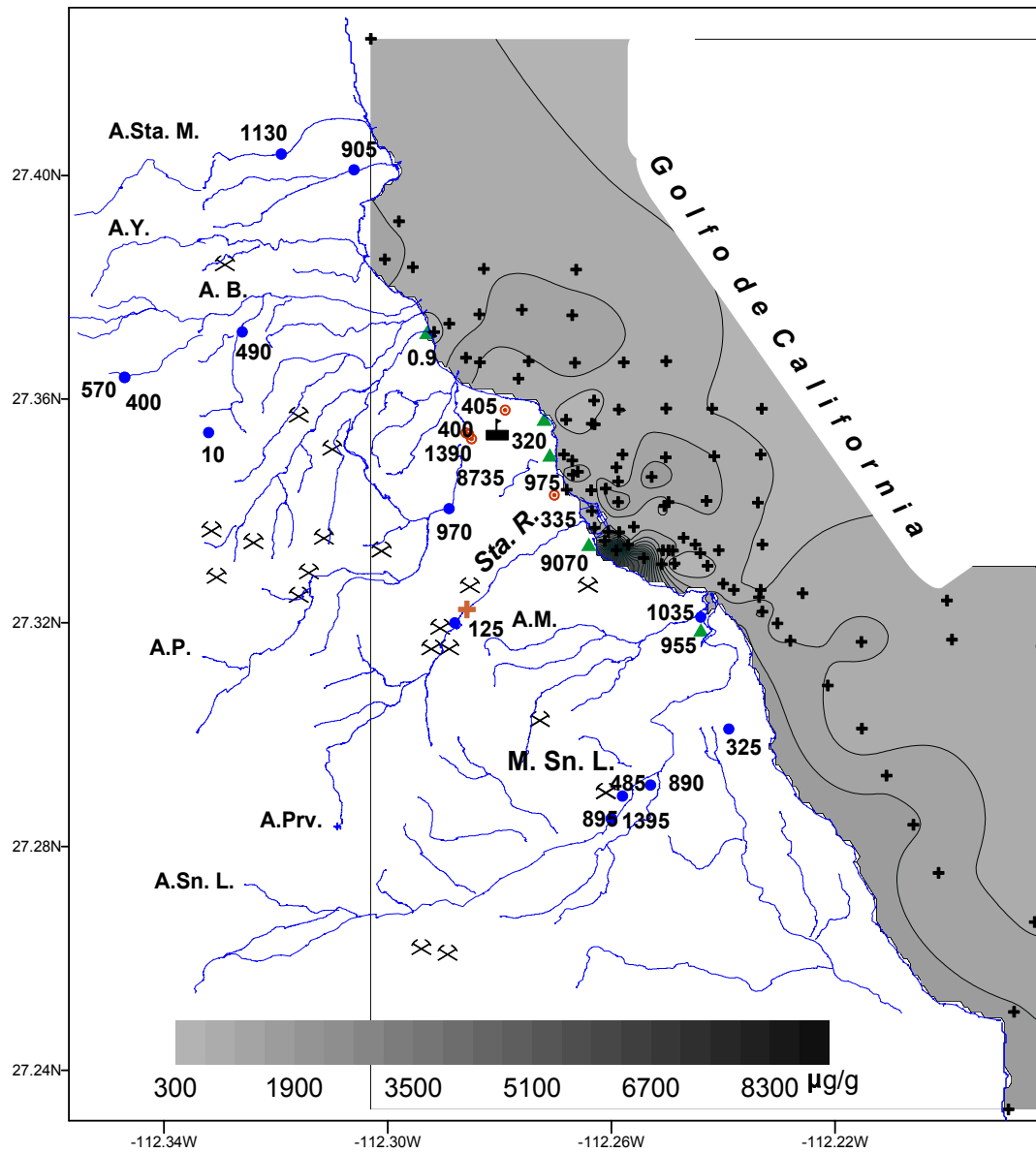


Figura 20. Distribución espacial de la concentración de Sr ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Selenio

La concentración y distribución de éste elemento concordó con la del Sr, los máximos contenidos de selenio fueron determinados en el ambiente de playa (3.06 $\mu\text{g/g}$), los desechos sólidos tienen 2.4 $\mu\text{g/g}$ y en los arroyos hay 1.6 $\mu\text{g/g}$. Todos éstos valores fueron mayores a los promedios de La Bahía de La Paz (1.04 $\mu\text{g/g}$) y Laguna de La Paz (1 $\mu\text{g/g}$).

En comparación con las concentraciones en materiales terrígenos de otras regiones del mundo que han sido considerados como anómalos y con influencia antropogénica, como La Bahía de San Francisco (Johns *et al.*, 1988) con más de 4 $\mu\text{g/g}$, Long Island Sound con 1.5 $\mu\text{g/g}$ (Greig *et al.*, 1977) y ambientes estuarinos de Gran Bretaña con 1.5 $\mu\text{g/g}$ (Bryan and Langston; 1992); el distrito minero de Santa Rosalía puede quedar incluido en ésta clasificación. Por su parte, en la porción marina se confirmó tal tendencia; pues la distribución es de mayor amplitud con respecto a otros elementos e incluso la concentración mínima (0.21 $\mu\text{g/g}$) es 4 veces mayor que el contenido promedio de la corteza.

La distribución de la concentración de Se (Fig. 21) en los sedimentos al interior de la dársena (zona I) es homogénea, entre 0.5 y 1.5 $\mu\text{g/g}$, al exterior de la misma los niveles aumentaron entre 30 y 60 veces más que el promedio de la corteza (0.05 $\mu\text{g/g}$ Taylor, 1964) es decir, valores entre 1.5 – 3.0. Éste mismo intervalo se observa en las zonas II y III.

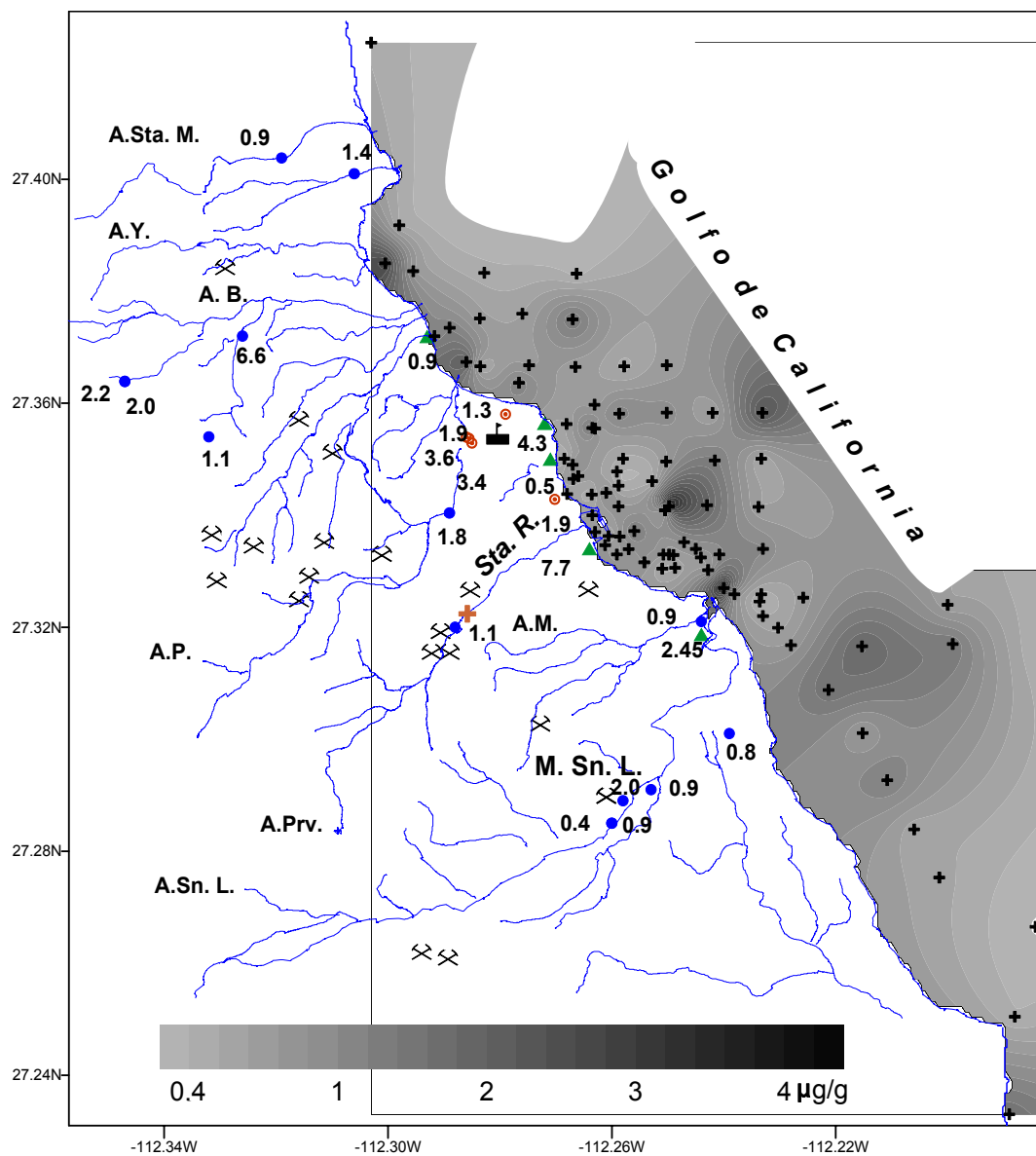


Figura 21. Distribución espacial de la concentración de Se ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Mercurio

Los niveles de los contenidos de Hg en las diferentes matrices sedimentarias presentaron la secuencia siguiente: $0.07 \pm 0.06 \mu\text{g/g}$ en sedimentos de playa, $0.09 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$ en sedimentos marinos, $0.41 \pm 0.77 \mu\text{g/g}$ en sedimentos de los arroyos y $0.45 \pm 0.66 \mu\text{g/g}$ en los desechos sólidos. Dentro de cada ambiente, la concentración total de Hg entre muestras fue variable y significativamente alta en algunos puntos (Fig. 22) a lo largo del arroyo Providencia donde los contenidos son de $0.81 \mu\text{g/g}$ y de $3.16 \mu\text{g/g}$ en el arroyo San Luciano, ambas localidades son cercanas a las minas abandonadas.

Los valores indicados para los sedimentos de playa y marinos son comparables con la concentración promedio de Hg en la corteza ($0.08 \mu\text{g/g}$), en la Laguna de La Paz (Rodríguez-Meza, 1999) y en otras lagunas del estado de Veracruz (Villanueva y Botello, 1992), así como, con lo determinado en los sedimentos de la Bahía Baffin ($0.09 \mu\text{g/g}$), Bahía Fundy ($0.06 \mu\text{g/g}$) (Campbell y Loring, 1980) y en el Mar Pechora en Rusia ($0.02 \mu\text{g/g}$) (Loring *et al.*, 1995).

En los materiales de los arroyos y desechos sólidos la tendencia es hacia concentraciones mayores, semejantes a resultados obtenidos en ambientes urbanos estudiados por Meador (1994).

En los sedimentos marinos la mayoría de las muestras contienen entre 0.04 y $0.08 \mu\text{g/g}$ de Hg. En los depósitos de los arroyos Santa María, El Yaqui y El Boleo (Fig. 39, zona II) se distingue un intervalo de concentración entre 0.08 a $0.24 \mu\text{g/g}$ de Hg. La zona I, típica de concentraciones máximas, presentó entre 0.08 y $0.35 \mu\text{g/g}$ de mercurio y cerca del estero San Luciano (zona III) sólo algunas estaciones exhibieron valores altos. Tal disposición de las concentraciones de mercurio se ajustó positivamente a la del carbono orgánico; con un coeficiente de correlación significativo ($\rho < 0.05$).

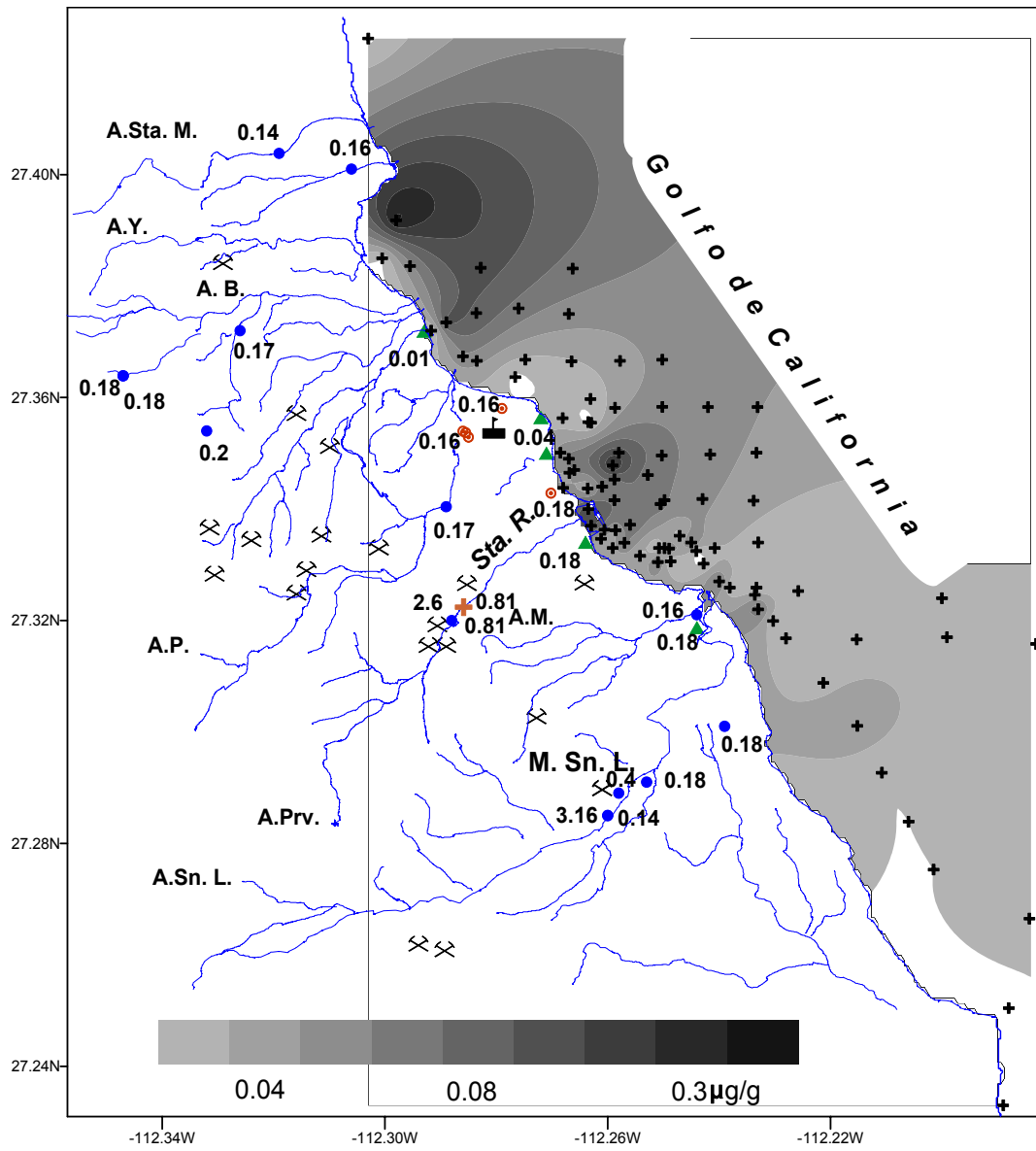


Figura 22. Distribución espacial de la concentración de Hg ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Plomo

El plomo se distribuye diferencialmente en los arroyos. Contenidos considerablemente altos (1618 $\mu\text{g/g}$) se hallan en sedimentos próximos (est. 0) a la mina San Luciano. En el arroyo el Boleo y otros cercanos a éste la concentración fue entre 200 y 800 $\mu\text{g/g}$. Los arroyos con menores contribuciones de plomo (niveles regionales de referencia) fueron los sedimentos de los arroyos El Yaqui (27 $\mu\text{g/g}$) y Santa Agueda (entre 13 y 21 $\mu\text{g/g}$).

El patrón de distribución de éste elemento destacó, debido a que las proporciones mayores de plomo se detectaron en los materiales de playa (estaciones 32, 33 y 34) y no en los desechos sólidos, no fueron regulares y tuvieron un intervalo de concentración entre 458 y 2095 $\mu\text{g/g}$ de Pb. En los depósitos de desechos sólidos las concentraciones decrecieron y la variación fue de 37 $\mu\text{g/g}$ hasta 612 $\mu\text{g/g}$.

En los sedimentos marinos (Fig. 23) las concentraciones de Pb disminuyeron, las muestras marginales contienen de 12 $\mu\text{g/g}$ (estaciones 16, 17 y 18) hasta 218 $\mu\text{g/g}$ en la muestra 21 que está altamente impactada. Respecto a La Laguna de La Paz Shumilin *et al.*, (2001) registran valores desde 50 $\mu\text{g/g}$ a 89 $\mu\text{g/g}$ y consideran que la influencia de las actividades humanas generaron tales niveles.

En el estudio de Calvert y Price (1971), los sedimentos arcillo-diatomáceos de la parte central del Golfo de California (que corresponde a la misma zona en que se realizó éste estudio) contienen entre 37 y 65 $\mu\text{g/g}$ de Pb. Otros valores conocidos son de Villanueva y Botello (1998) para sedimentos costeros de la Laguna Ilusiones en Tabasco, contienen 159 $\mu\text{g/g}$ y fueron catalogados como altos en Pb por los autores; en el artículo de Tkalin *et al.*, (1996) establecen a la Bahía Golden Horn (zona industrializada) Vladivostok, Russia como altamente contaminada; sus sedimentos contienen 214 $\mu\text{g/g}$ en promedio. El Pb es también analizado en el estudio de Meador (1994) para los sedimentos de la costa del Pacífico, las concentraciones encontradas no fueron mayores a 110 $\mu\text{g/g}$; sin embargo son consideradas como significativamente altas en comparación al valor de referencia utilizado de 22 $\mu\text{g/g}$.

En el trabajo de Velinsky *et al.* (1994) los sistemas estuarinos urbanizados del área de Washigton, D.C. fueron analizados, encontrándose concentraciones de Pb con un amplio intervalo de concentración y varían de 32 $\mu\text{g/g}$ a 3,630 $\mu\text{g/g}$.

En un estudio reciente de Matthai *et al.* (2001) sobre detección de Pb antropogénico (entre otros elementos) en el sedimento total sobre la zona de plataforma interna fue sólo de 8.2 $\mu\text{g/g}$.

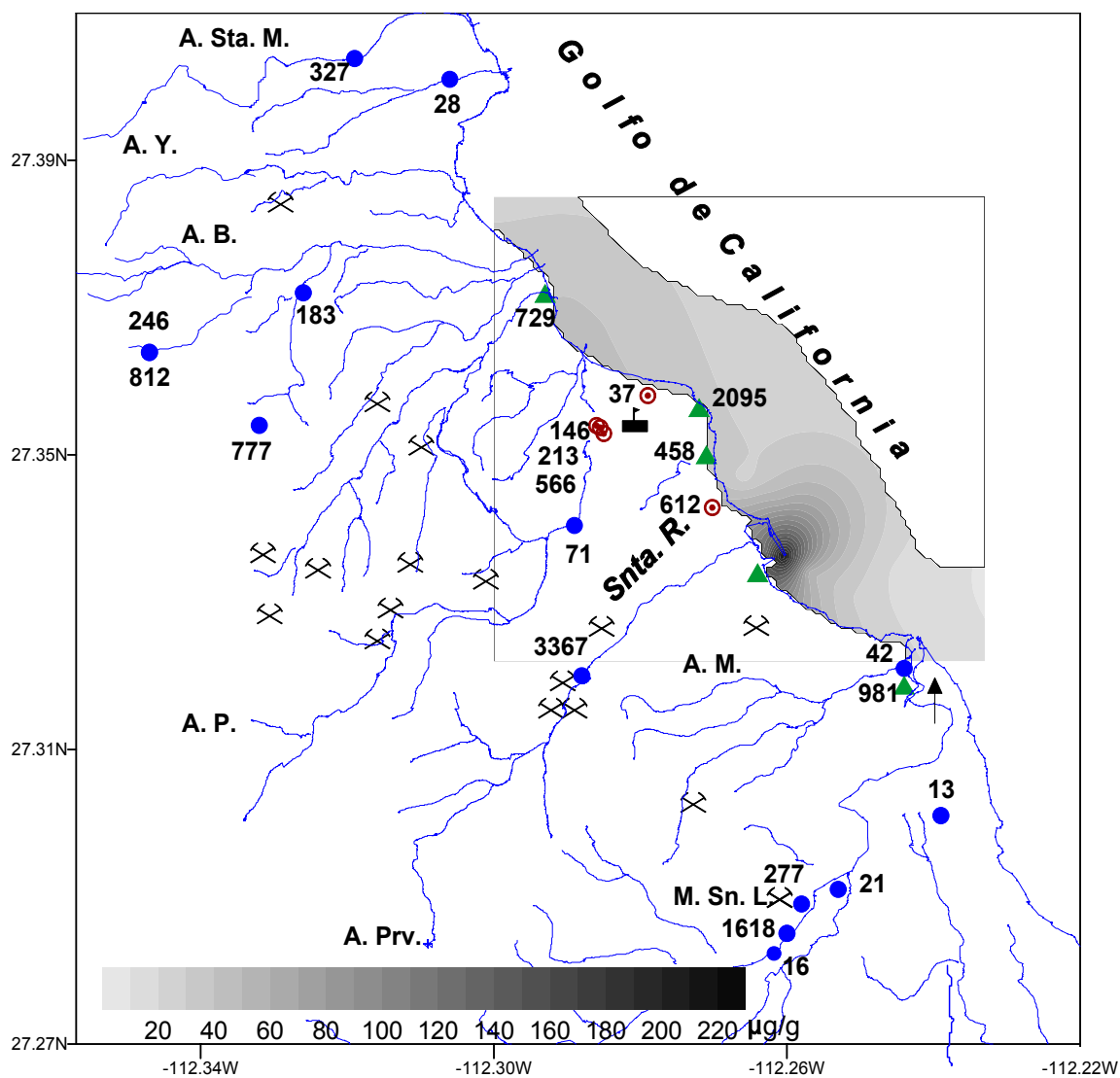


Figura 23. Distribución espacial de la concentración de Pb (ppm) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Uranio

El contenido medio de uranio (Figura 24) en los sedimentos de Santa Rosalía fue alto comparado con los 2.7 $\mu\text{g/g}$ de la corteza. En las muestras de los arroyos se tienen 18 $\mu\text{g/g}$ de U. En contraste las concentraciones se incrementan a 70 $\mu\text{g/g}$ en los sedimentos de playa y 129 $\mu\text{g/g}$ en los desechos sólidos. En la muestra de mineral de cobre se cuantificaron 17 $\mu\text{g/g}$.

En la porción marina el uranio continúa 4 veces mayor (11 $\mu\text{g/g}$) que el valor de la corteza y su distribución espacial se limita a la dársena (zona I).

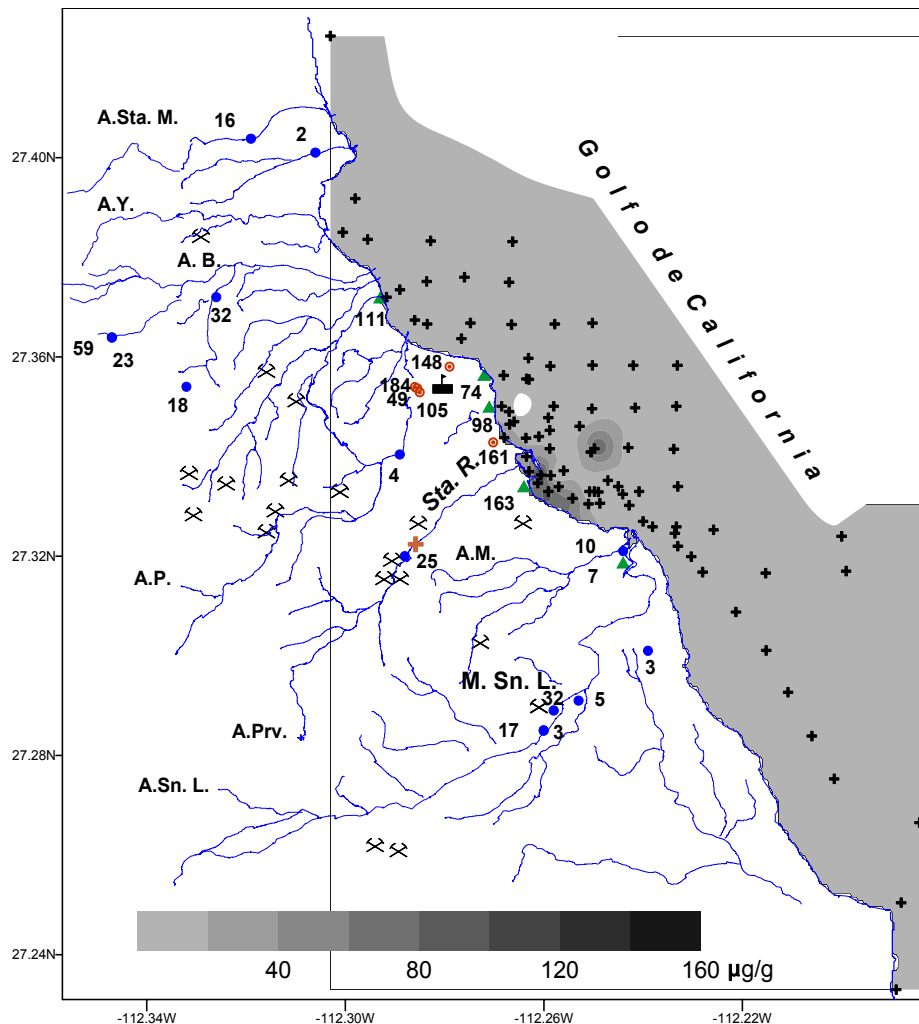


Figura 24. Distribución espacial de la concentración de U ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Escandio

El Sc es un elemento de origen terrígeno, en la zona estudiada los contenidos son inferiores a la abundancia en la corteza terrestre. La causa de lo anterior puede relacionarse a procesos de dilución del material terrígeno con los materiales biogénicos marinos (carbonatos), por el componente silíceo y los carbonatos de Cu entre otros. Otro factor que influye es su afinidad a las fracciones limo-arcillosas. Esto es visible en la Fig. 24 en donde se muestra la tendencia del incremento de la concentración de Sc hacia los materiales finos característicos de la zona marina profunda. La secuencia de acumulación fue: sedimentos arroyos (12.8 µg/g) > materiales de la playa (10.8 µg/g) > desechos sólidos (9.4 µg/g). El escandio en el ambiente marino presentó una distribución uniforme (Fig. 25) con un promedio de 10.7 µg/g, tal concentración fue ligeramente mayor que el promedio de los sedimentos superficiales de la Bahía de la Paz de 7.9 µg/g (Rodríguez-Castañeda, 2001) y de la Laguna de La Paz (6 µg/g) (Rodríguez-Meza, 1999). En general los niveles de Sc en el área de estudio así como en la Laguna y Bahía de La Paz indican contenidos bajos de éste elemento en la región. En el artículo de Greig *et al.* (1977) se encontró un valor de 3.5 µg/g para los sedimentos de Long Island Sound inferior a nuestros resultados; de la distribución espacial del Sc se puede mencionar que guarda cierta similitud con la del Na y K y muestra menor analogía con el Fe.

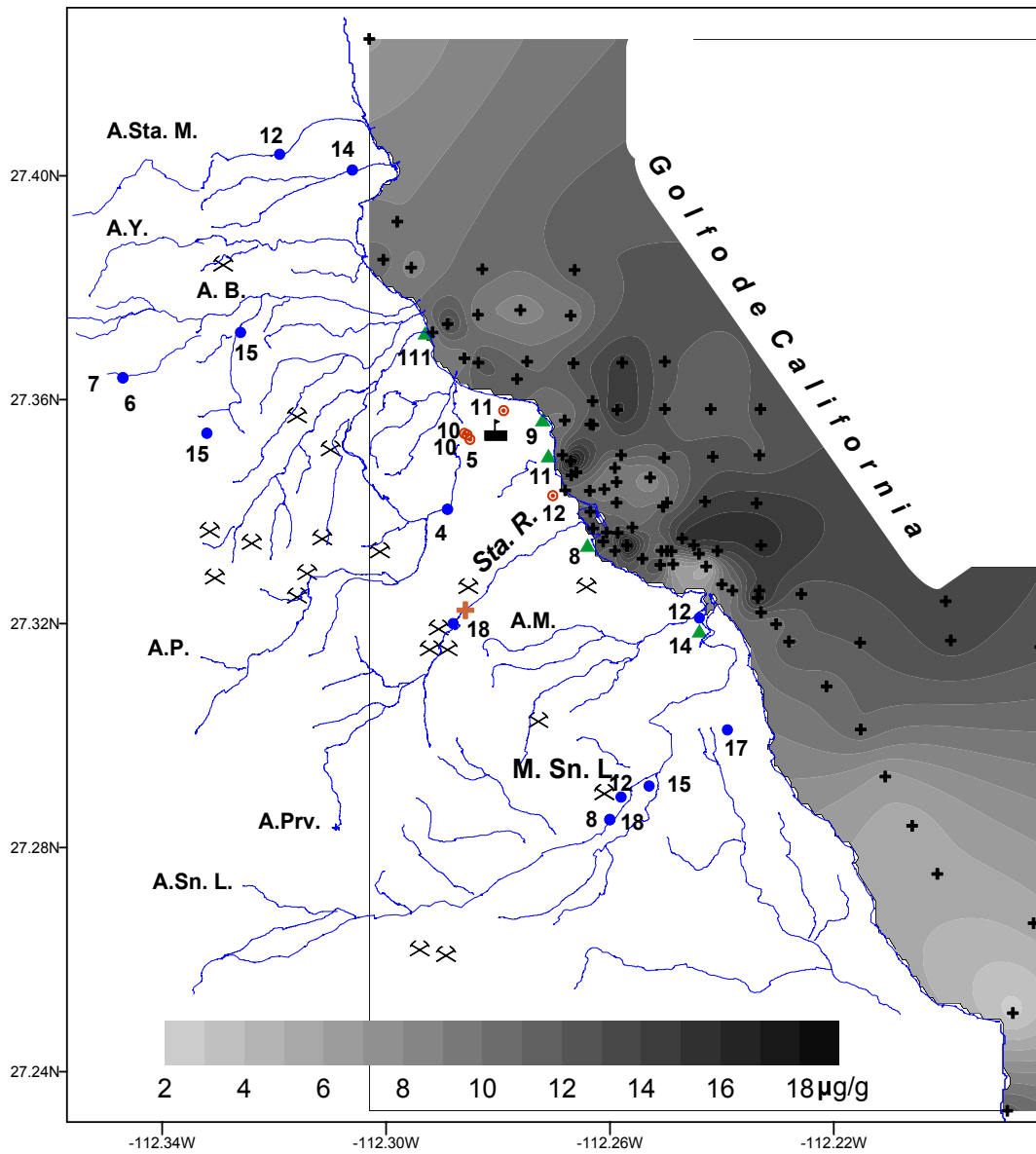


Figura 25. Distribución espacial de la concentración de Sc ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Rubidio

El rubidio es uno de los pocos elementos que mostró concentraciones inferiores en todos los ambientes con respecto al valor de referencia (90 $\mu\text{g/g}$) para la corteza. El promedio máximo se encontró en los causes de los arroyos (34 $\mu\text{g/g}$), en los sedimentos de playa y desechos sólidos fue de 22 $\mu\text{g/g}$; y finalmente en los sedimentos marinos (Figura 26) el promedio es de 29 $\mu\text{g/g}$ de rubidio. Las concentraciones de éste elemento, dadas para la Laguna y Bahía de La Paz se encontraron dentro del mismo intervalo.

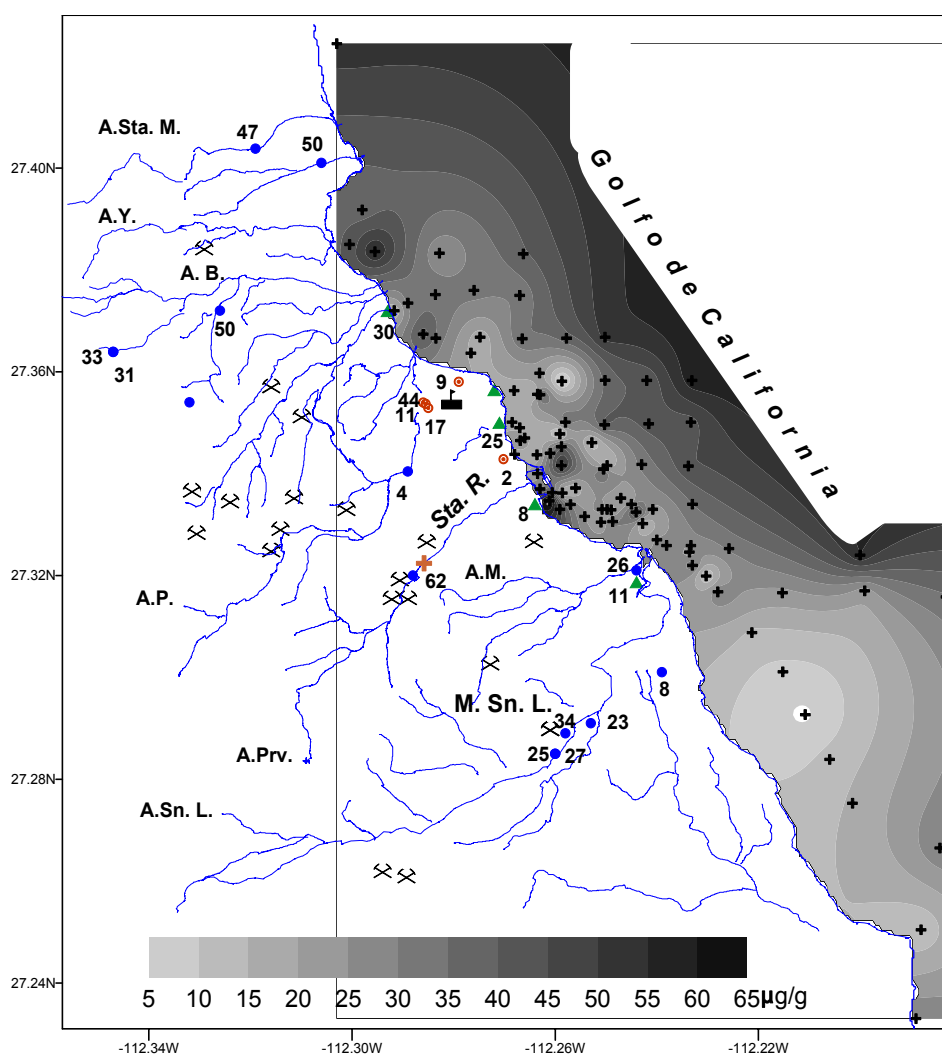


Figura 26. Distribución espacial de la concentración de Rb ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Hafnio

La concentración de Hf (Figura 27) puede ser distinguida por presentar el máximo promedio en los arroyos (3.35), seguido por los sedimentos de playa (2.2) y los desechos sólidos (1.8); en la porción marina, a mayores profundidades y en la porción norte la concentración es mayor que en aguas someras y en promedio se encontraron 2.54 $\mu\text{g/g}$ de hafnio. Los valores determinados para la Laguna y Bahía de la Paz (Rodríguez-Meza, 1999 y Rodríguez Castañeda, 2001) fueron similares a los determinados en éste estudio.

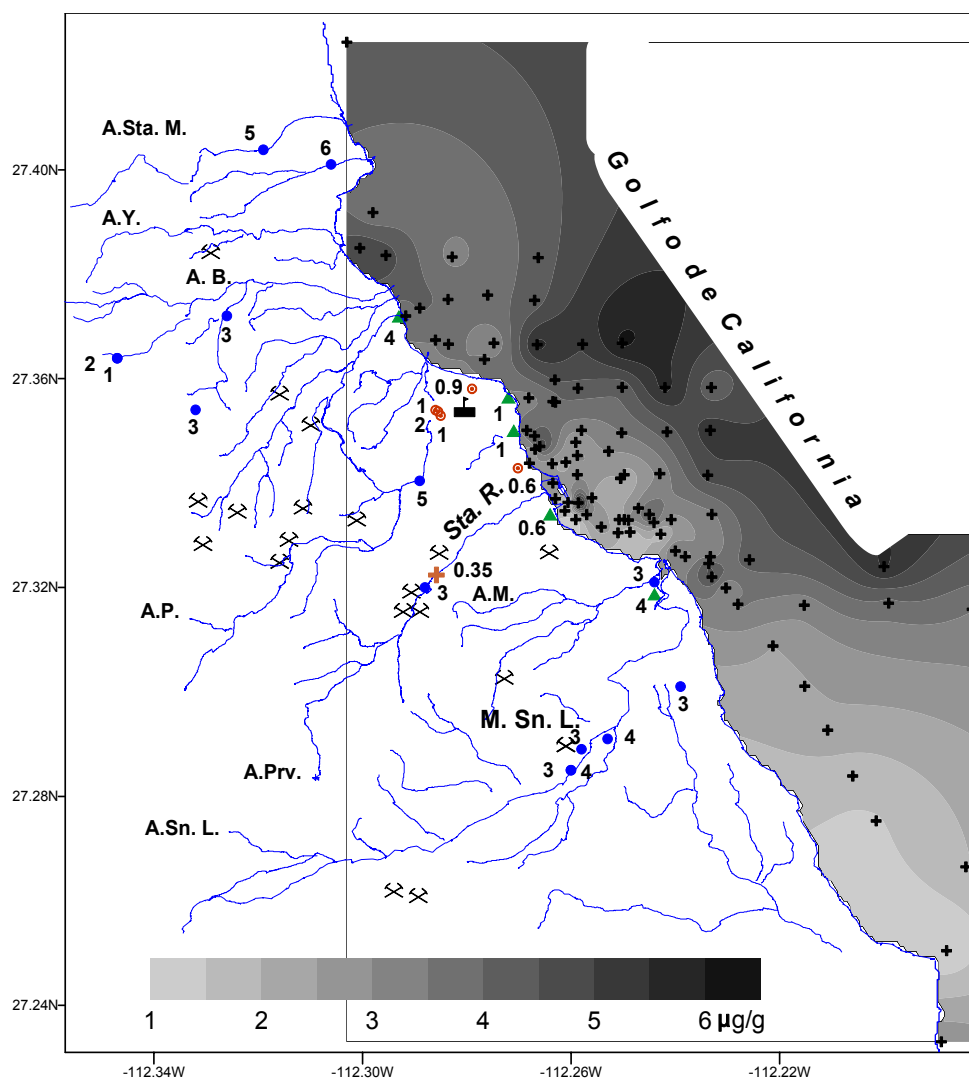


Figura 27. Distribución espacial de la concentración de Hf ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Tántalo y torio

Tanto en los ambientes continentales como en la zona marina de Santa Rosalía, el promedio de tántalo y torio fue inferior al valor de la corteza ($2 \mu\text{g/g}$ Ta y $9.6 \mu\text{g/g}$ Th) y a los valores de la Laguna de La Paz ($0.5 \mu\text{g/g}$ Ta, $3 \mu\text{g/g}$ Th) y Bahía de La Paz ($1 \mu\text{g/g}$ Ta, $9 \mu\text{g/g}$ Th). En las Figuras 28 y 29 se observan efectos diferentes de distribución espacial para éstos elementos, el tántalo mostró a la zona I con los máximos contenidos; localizados del lado exterior y sur de la dársena y el torio a la zona III (Estero San Luciano).

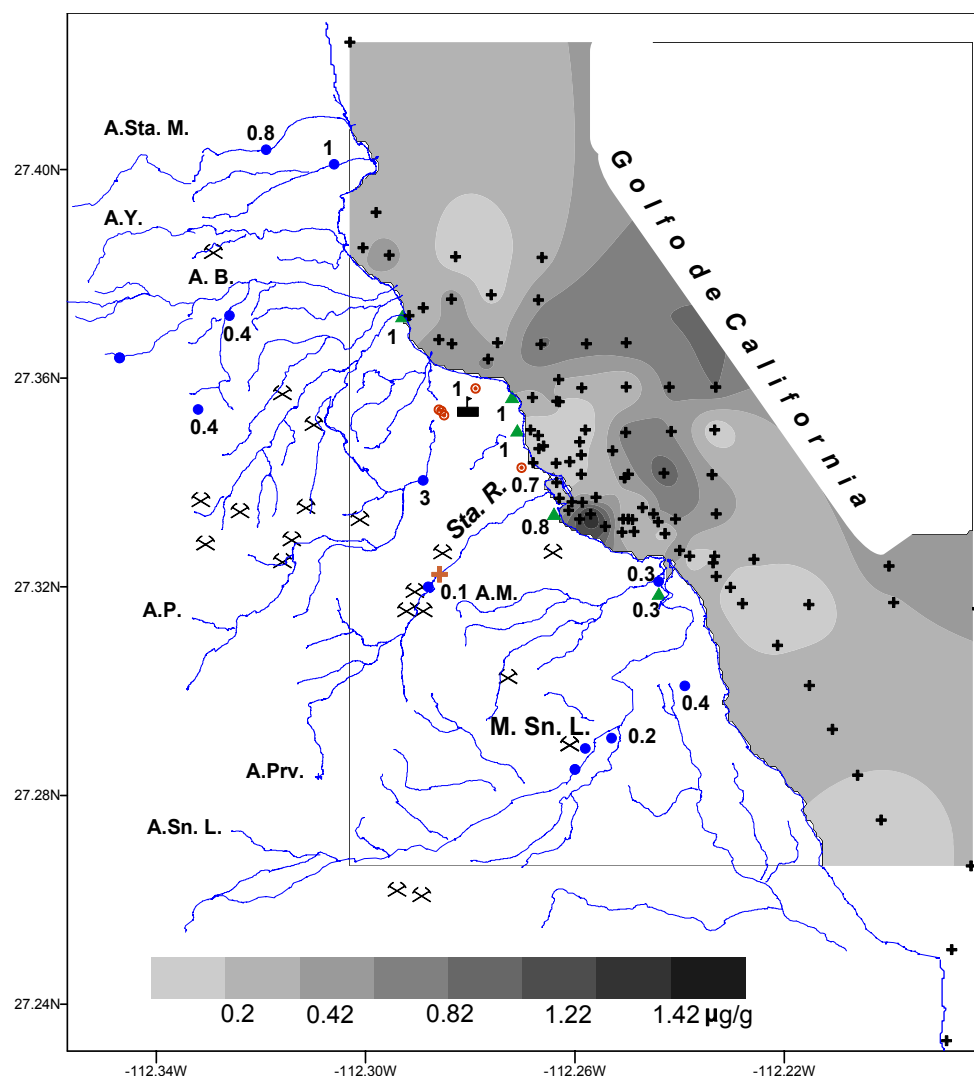


Figura 28. Distribución espacial de la concentración de Ta ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

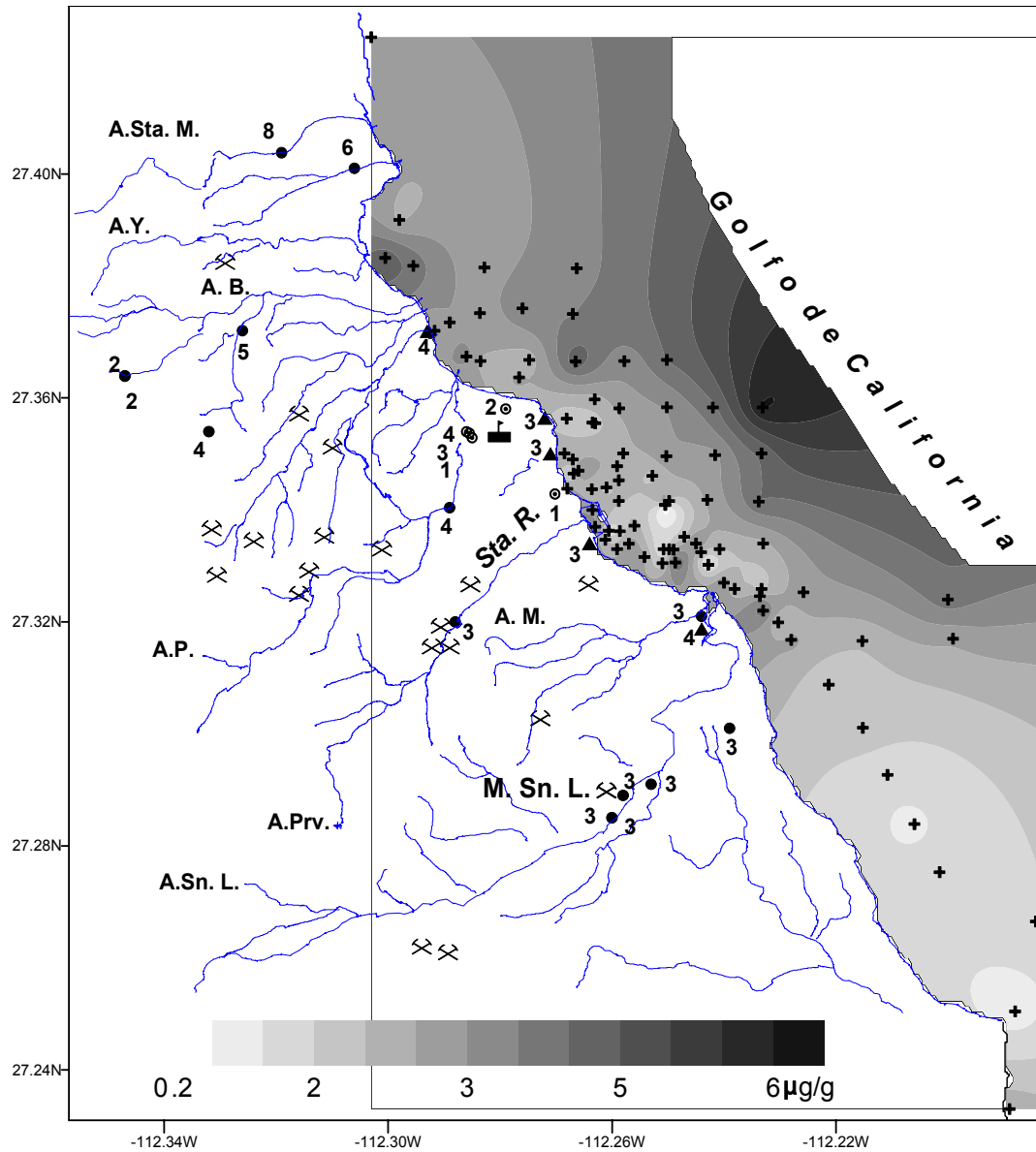


Figura 29 . Distribución espacial de la concentración de Th ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

Aluminio

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre (alrededor del 8%). Es un elemento de referencia utilizado para aproximarse a determinar el grado de contaminación en los sedimentos (Velinsky *et al.*, 1994). En el área de estudio las concentraciones de aluminio en los arroyos contienen 4%, en la playa 8% y en los desechos sólidos hubo 1.7 %; en los sedimentos marinos (Tabla 6) únicamente se analizaron 15 muestras obteniéndose un promedio de 7%. En general, la concentración es semejante a la corteza (8%).

Tabla 6. Concentración de aluminio en los diferentes ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía.

	Arroyo n=14	Playa n=5	Desechos sólidos n=5	Marinos n=15
Aluminio %	4±2.8	8±9.9	1.7±0.4	6.7±1.5

7.2 Niveles de concentración y distribución espacial de las concentraciones de elementos de las tierras raras.

Este grupo está constituido por 14 elementos, a su vez subdivididos en tierras raras ligeras en las que se incluye al La, Ce, Pr y Nd, tierras raras intermedias (Sm, Eu, Gd y Tb) y a partir del Dy todos los elementos son considerados como tierras raras pesadas (Ho, Er, Tm, Yb y Lu). Los datos obtenidos sobre las concentraciones de ETR en los depósitos de los arroyos, las arenas de las playas, de desechos sólidos y en los sedimentos marinos se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Concentraciones de las tierras raras (rangos subrayados, promedio y desviación estándar abajo) en los distintos ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía, en la muestra de mineral de cobre y en la lutita norteamericana.

Elemento µg/g	Sedimentos de arroyo	Sedimentos de playa	Desechos sólidos	Sedimentos marinos	Mineral*	Lutita norteamericana
La	<u>14 – 69</u> 32±18	<u>19 – 175</u> 104±73	<u>64 – 289</u> 183±106	<u>5 – 178</u> 30±38	80	32
Ce	<u>25 – 120</u> 60±29	<u>38 – 279</u> 169±111	<u>110 – 460</u> 300±152	<u>10 – 298</u> 53±58	134	73
Pr	<u>3 – 12</u> 7±3	<u>5 – 27</u> 17±10	<u>12 – 45</u> 29±15	<u>0.9 – 28</u> 5±5	12	7.9
Nd	<u>10 – 43</u> 25±9	<u>19 – 90</u> 57±32	<u>40 – 146</u> 96±46	<u>4 – 91</u> 20±17	40	33
Sm	<u>3 – 10</u> 6±2	<u>5 – 21</u> 13±7	<u>9 – 32</u> 21±10	<u>0.9 – 21</u> 5±4	9	5.7
Eu	<u>0.6 – 3</u> 2±0.6	<u>1 – 5</u> 3±2	<u>2 – 9</u> 5±2	<u>0.1 – 7</u> 2±1	4	1.2
Gd	<u>3 – 11</u> 7±2	<u>7 – 22</u> 14±7	<u>9 – 32</u> 22±10	<u>1 – 20</u> 6±4	8	5.2
Tb	<u>0.4 – 2</u> 1±0.3	<u>1 – 3</u> 2±0.8	<u>1 – 4</u> 3±1	<u>0.2 – 3</u> 0.8±0.5	1	0.9
Dy	<u>2 – 10</u> 6±2	<u>6 – 15</u> 10±4	<u>8 – 20</u> 15±6	<u>0.9 – 14</u> 3±5	6	5.8
Ho	<u>0.4 – 2</u> 1±0.4	<u>1 – 3</u> 2±0.6	<u>2 – 4</u> 3±1	<u>0.2 – 3</u> 1±0.5	1	1.0
Er	<u>1 – 6</u> 3±1	<u>4 – 7</u> 6±1	<u>4 – 10</u> 8±3	<u>0.6 – 7</u> 3±1	3	3.4
Tm	<u>0.2 – 0.8</u> 0.5±0.2	<u>0.6 – 1</u> 0.7±0.2	<u>0.6 – 1</u> 1±0.3	<u>0.1 – 1</u> 0.4±0.2	0.4	0.5
Yb	<u>0.8 – 4.2</u> 3±1	<u>3 – 5</u> 4±0.7	<u>3 – 7</u> 5±2	<u>0.5 – 5</u> 2±1	2	3.1
Lu	<u>0.1 – 0.6</u> 0.4±0.2	<u>0.5 – 0.7</u> 0.6±0.1	<u>0.5 – 1</u> 0.7±0.2	<u>0.1 – 0.8</u> 0.3±0.1	0.2	0.5

- *Concentración promedio en una muestra de mineral*

Las concentraciones de las ETR ligeras (La, Ce, Pr, Nd) (Figs. 30, 31, 32 y 33) en los sedimentos de los arroyos presentaron valores similares al contenido en la corteza. Al cambiar al ambiente de playa los valores se incrementan, sobresaliendo la concentración de La que es de 104 µg/g más de 3 veces el valor de la lutita. Esto se acentúa aún más en los depósitos de desechos sólidos en donde el lantano alcanza hasta 182 µg/g, Pr 29 µg/g, Nd 96 µg/g (muy superiores a la lutita). Comparando los promedios de concentración de Santa Rosalía con los valores de los ETR en los depósitos terrestres y marinos de La Bahía y Laguna de La Paz, encontramos que: (a) los contenidos de ETR ligeras en los arroyos y sedimentos marinos de Santa Rosalía estuvieron en el mismo intervalo de concentración

promedio, pero (b) los niveles detectados en los ambientes de playa y desechos sólidos son predominantemente más elevados para el distrito minero de Santa Rosalía.

En los sedimentos marinos de Santa Rosalía las concentraciones de ETR ligeras son típicas según lo señalado por De Baar *et al.* (1985), ya que sus contenidos promedio se encuentran en el mismo orden que la corteza. Sólo el Nd mostró una variación mayor con respecto a la corteza.

En cuanto a la distribución espacial, la dársena es el sitio de máxima acumulación de los ETR ligeros, fuera de ésta las concentraciones son menores, lo que indica la influencia directa del continente hacia el océano. Esto se observa también frente a la desembocadura del arroyo El Boleo.

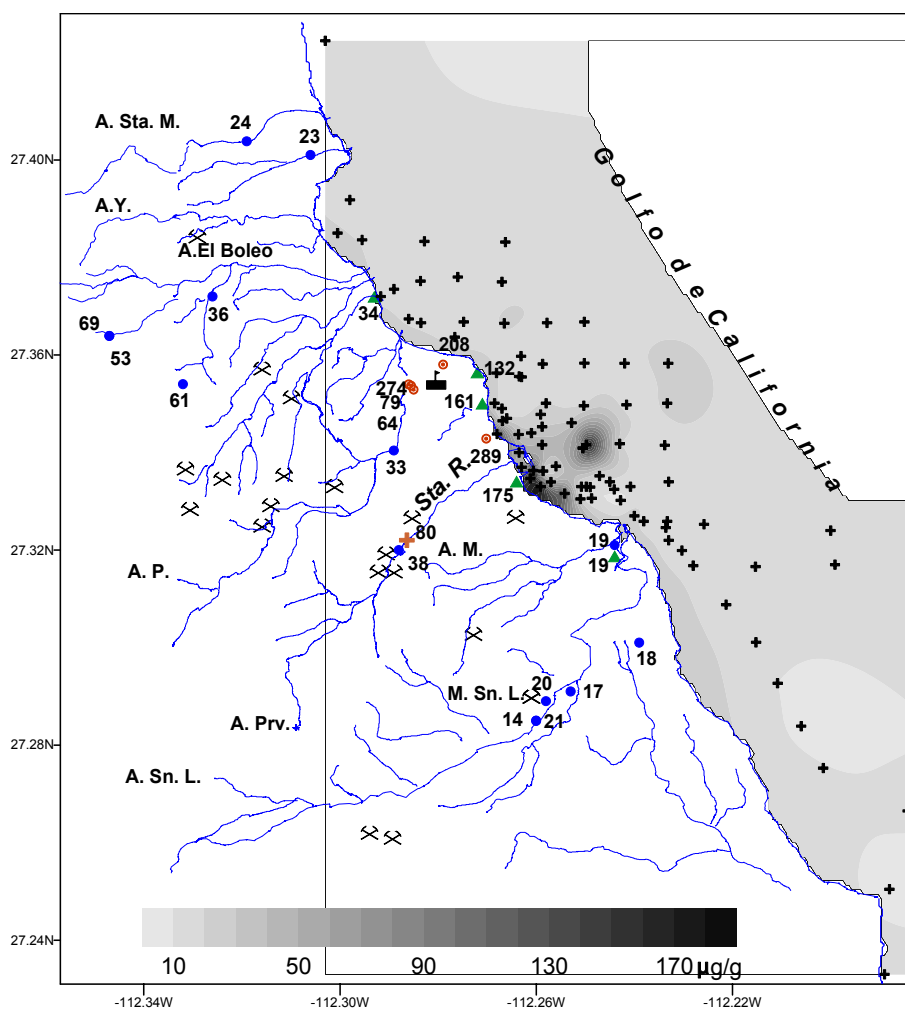


Figura 30. Distribución espacial de la concentración de La ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

La concentración de cerio (Figura 31) en el ambiente marino permanece bajo las mismas condiciones de las ETR ligeras, el promedio de Ce fue de 51 $\mu\text{g/g}$ con un intervalo de concentración dominante de 35 a 75 $\mu\text{g/g}$ extendido ampliamente. Sin embargo, alrededor de la dársena la concentración del Ce se acentuó considerablemente, exhibiendo valores entre 75 y 180 $\mu\text{g/g}$ y en proporción menor valores que superan los 180 $\mu\text{g/g}$ de Ce. Por otra parte, en el ambiente continental la concentración promedio de éste elemento en las muestras de arroyo fueron igual a su contenido promedio del medio marino; mientras que en los sedimentos de playa y sobre todo en los depósitos de desechos sólidos el promedio del contenido de Ce fue elevado (169 $\mu\text{g/g}$ y 300 $\mu\text{g/g}$) de 2-4 veces el valor de la lutita. En comparación con lo determinado en La Bahía de La Paz (39.6 $\mu\text{g/g}$) y La Laguna de la Paz (26 $\mu\text{g/g}$) los promedios antes descritos fueron mayores. En otras regiones de la porción Sur de la Península de Baja California, los niveles encontrados por Piper (1991), Daesslé-Heuser (1993) y Quintanilla y Suárez (1996) son similares a los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.

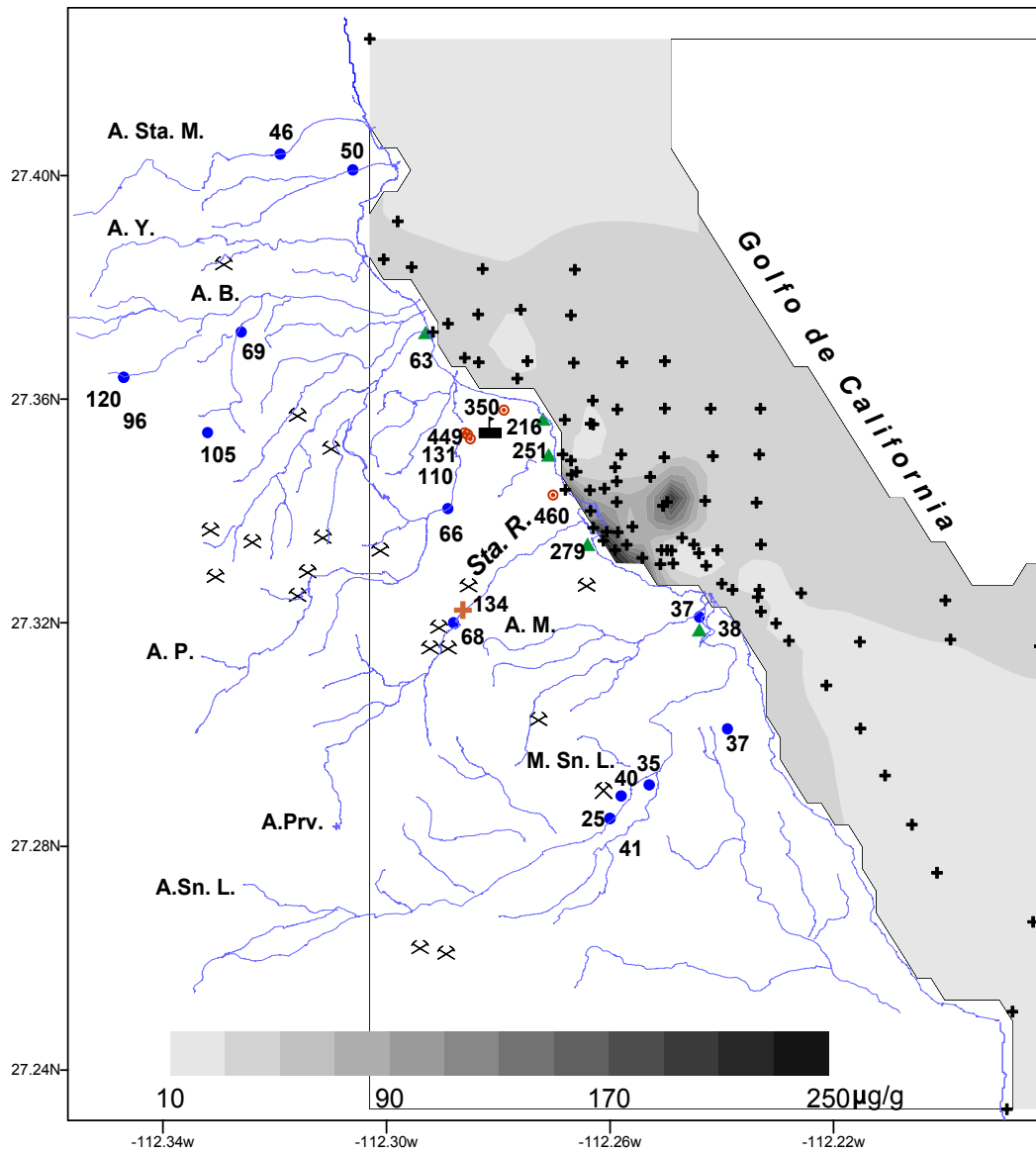


Figura 31. Distribución espacial de la concentración de Ce ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

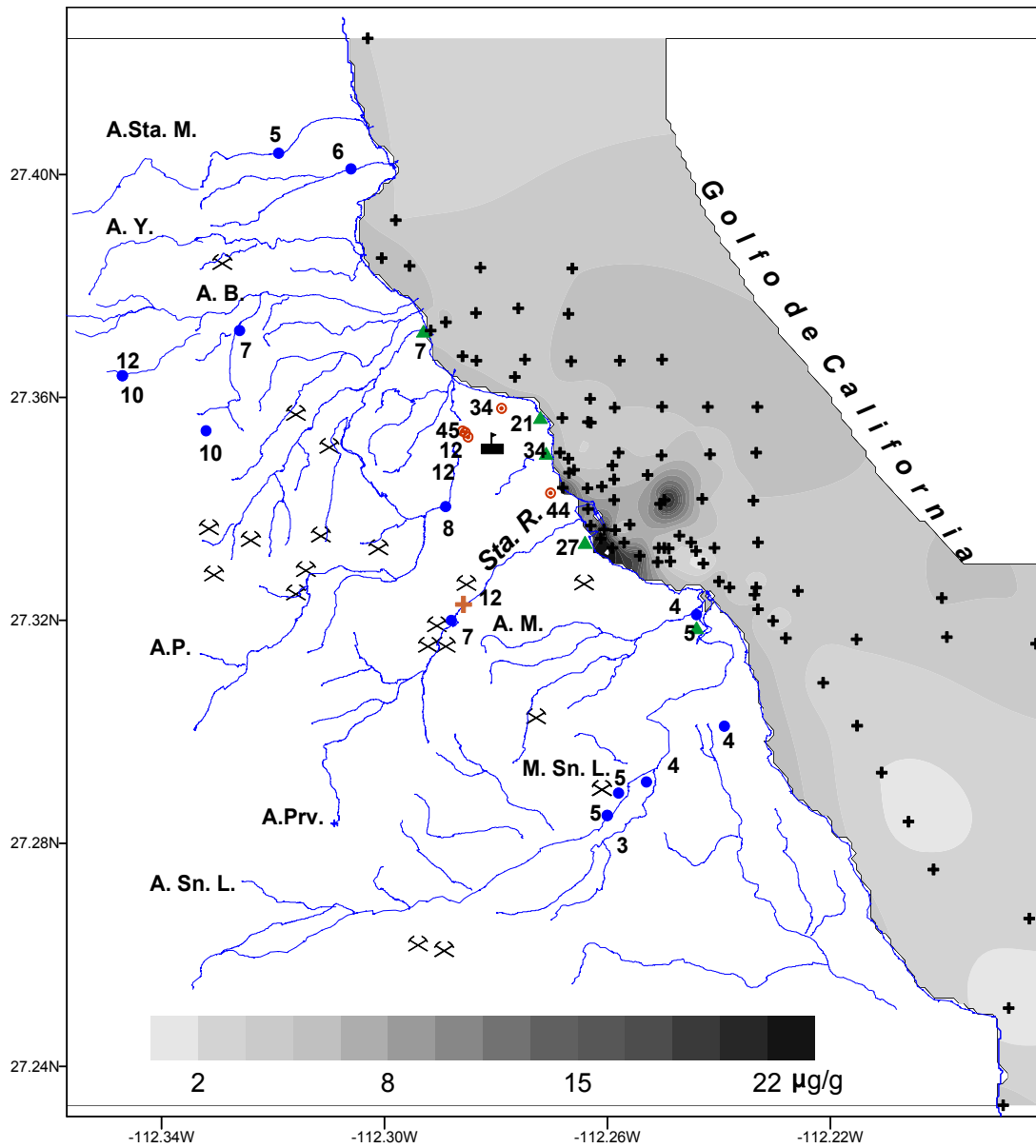


Figura 32. Distribución espacial de la concentración de Pr ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del abanico-delta de Santa Rosalía.

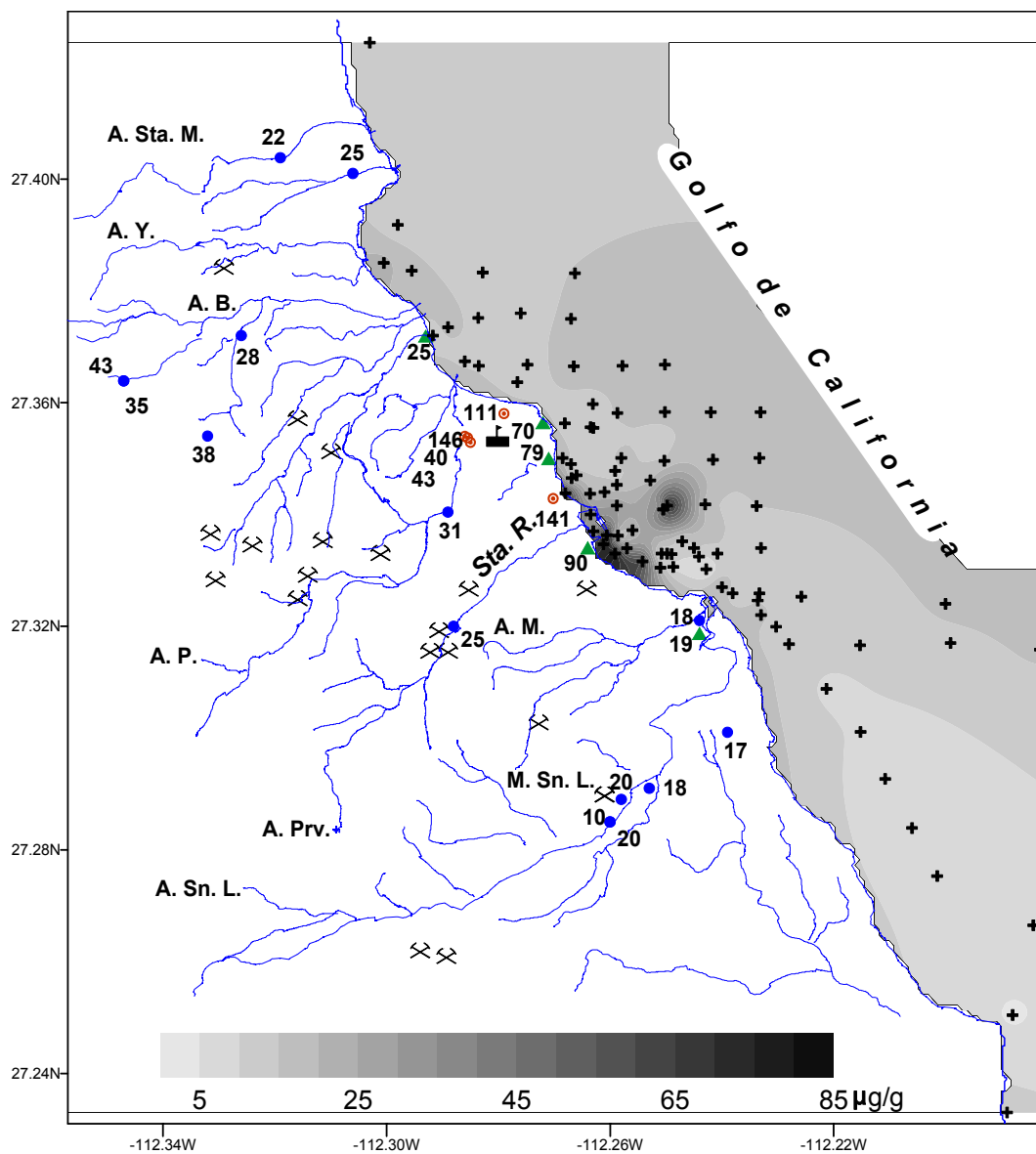


Figura 33. Distribución espacial de la concentración de Nd ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

En cuanto a los contenidos y distribuciones de ETR intermedios en la región marina, el comportamiento es similar a las ETR ligeras con ciertas variaciones. Los contenidos máximos se limitan a la dársena del puerto de Santa Rosalía con un intervalo de concentración de $6 < Sm < 12 \mu\text{g/g}$ (Fig. 34), superior a la lutita norteamericana. En los sedimentos continentales las muestras de arroyos contienen los valores de los contenidos de Sm más bajos ($6 \mu\text{g/g}$) (Tabla 7), las arenas de playa, $13 \mu\text{g/g}$ y los desechos sólidos, $21 \mu\text{g/g}$.

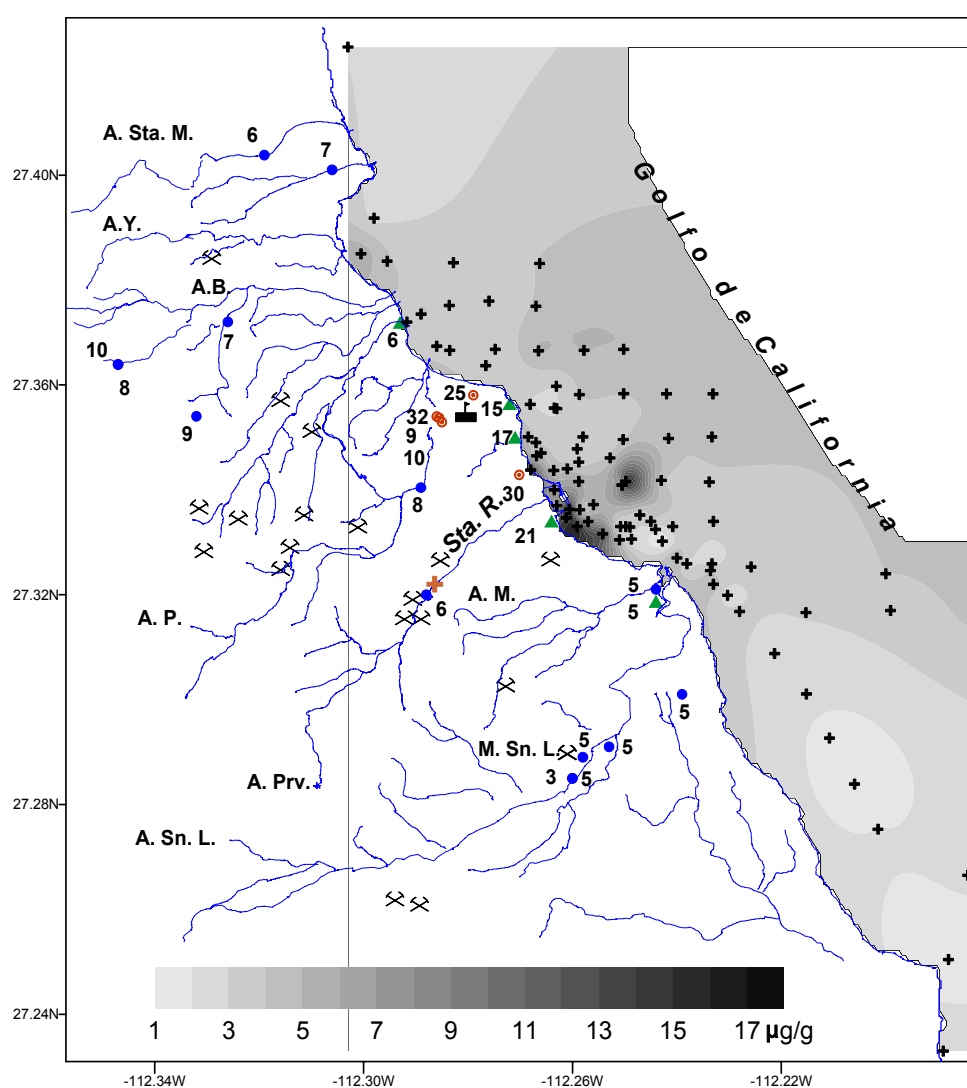


Figura 34. Distribución espacial de la concentración de Sm ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

El europio conserva casi las mismas características de distribución espacial indicadas para el cerio, como es el caso de las concentraciones altas que se observaron en los mismos sitios (Fig. 35). El contenido promedio para cada ambiente es el siguiente: desechos sólidos 5.39 $\mu\text{g/g}$, sedimentos de playa 3.10 $\mu\text{g/g}$, sedimentos marinos 1.65 $\mu\text{g/g}$ y sedimentos de los arroyos 1.57 $\mu\text{g/g}$. De manera general y con respecto a la corteza terrestre, el contenido de éste elemento en los diferentes tipos de material estudiado sobrepasa lo registrado por Taylor (1964).

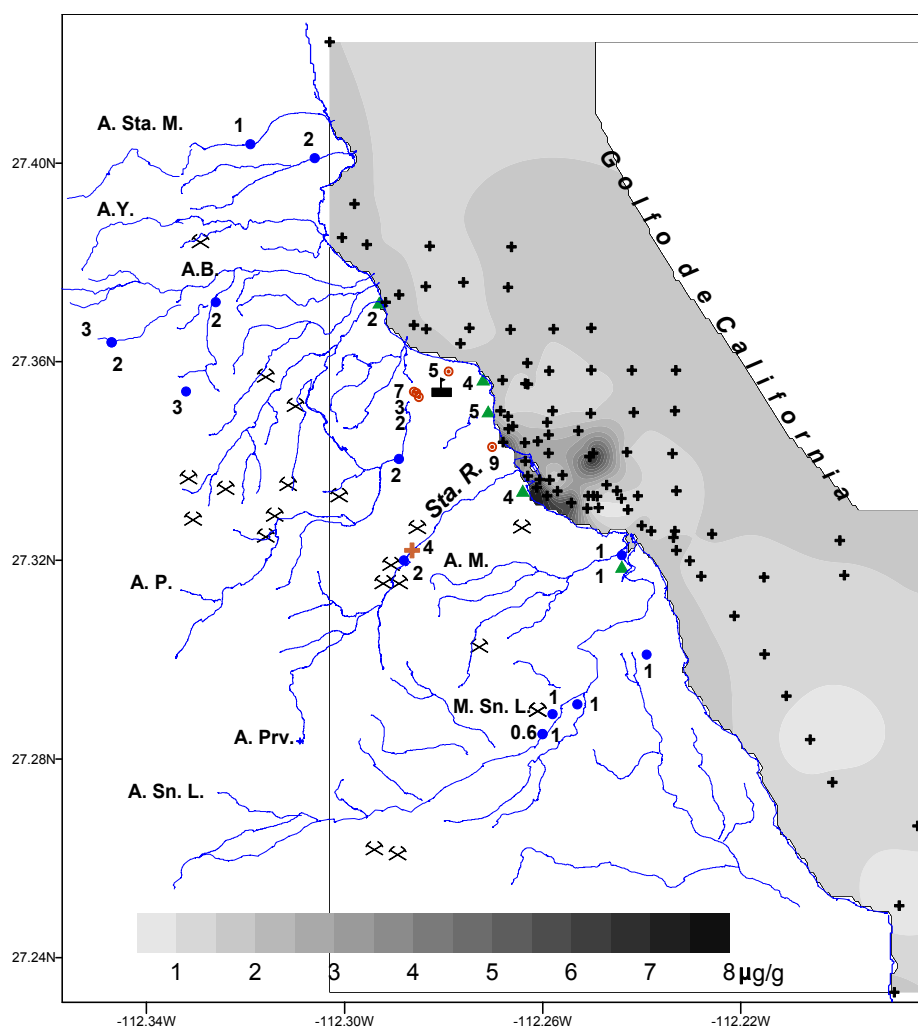


Figura 35. Distribución espacial de la concentración de Eu ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

En cuanto al gadolinio y terbio, los sitios comunes de enriquecimiento son la dársena del puerto y la desembocadura del arroyo el Boleo (Figs. 36 y 37). Las características de concentración en cada ambiente son las siguientes: los sedimentos marinos son cercanos al valor de la corteza al igual que los sedimentos de arroyo y las concentraciones en la playa y desechos sólidos exceden considerablemente lo registrado por Taylor (1964) (Tabla 7).

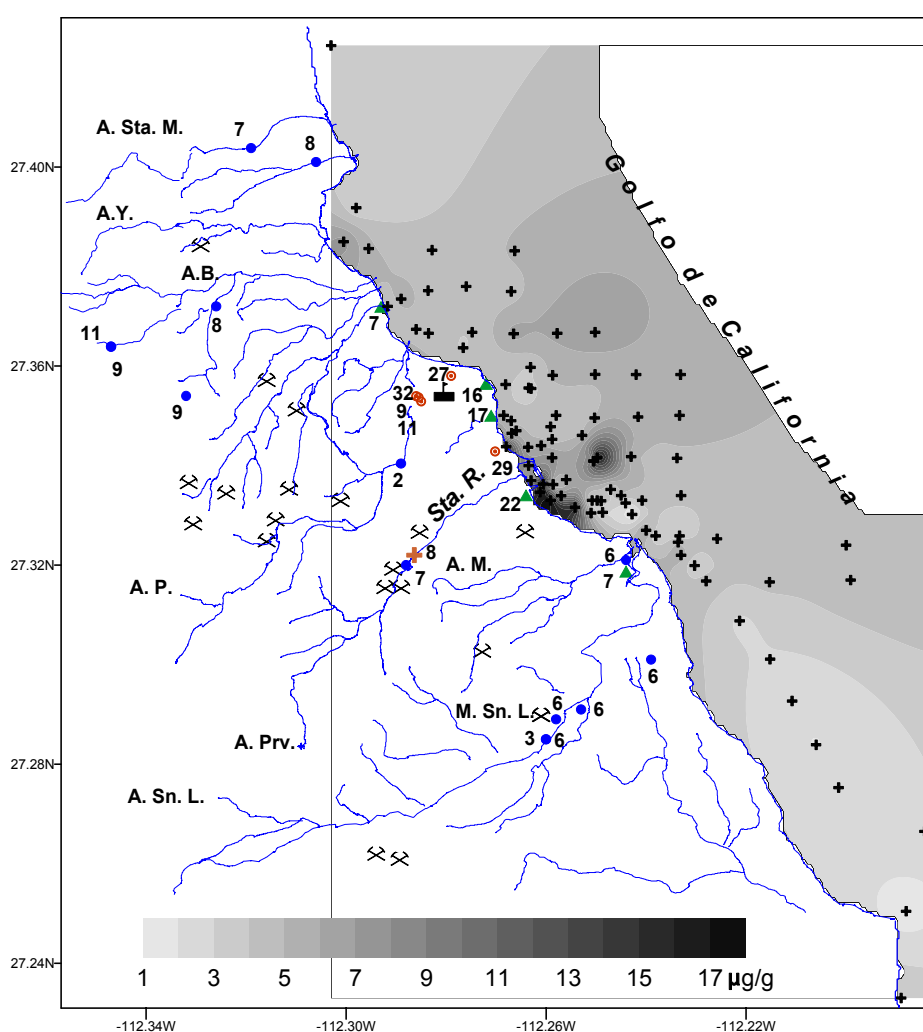


Figura 36. Distribución espacial de la concentración de Gd ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

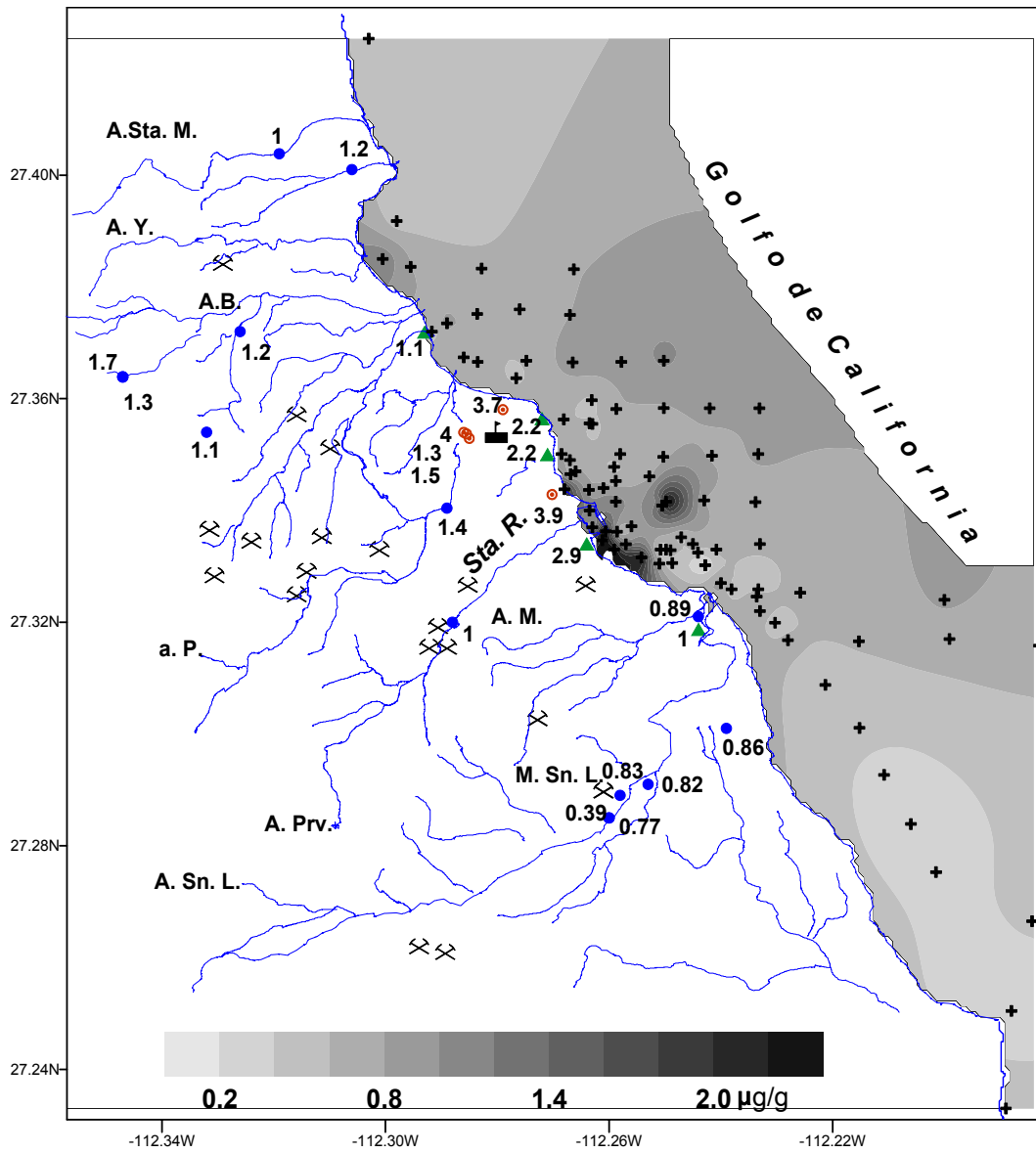


Figura 37. Distribución espacial de la concentración de Tb ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

El resto de los elementos ETR pesados (Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu) en los sedimentos marinos y materiales sedimentarios tienen similitud con la corteza terrestre, con excepción de los contenidos en las arenas de playas y los depósitos de desechos sólidos que muestran un incremento en la concentración de ETR pesadas (Tabla 7), como por ejemplo el Dy 15.24 $\mu\text{g/g}$ y Ho 3.08 $\mu\text{g/g}$ los cuales (Figs. 38 y 39) exceden 3 y 4 veces más a los contenidos de ETR pesadas establecidas para la corteza, al igual que el Er, Tm, Yb y Lu que son 2 veces mayores. Las concentraciones máximas se presentan en los sedimentos marinos de la dársena y frente a la desembocadura del arroyo El Boleo, con algunas peculiaridades con respecto a las ETR ligeras e intermedias como: una mayor área de concentración que se extiende paralela a la zona costera desde el arroyo El Boleo hasta la parte sur-este de la desembocadura del arroyo San Luciano. La abundancia de los ETR en los sedimentos marinos profundos prevalece aún fuera de la zona costera, en contraste a la distribución de la mayoría de los oligoelementos limitados a la cercanía del continente. Este enriquecimiento y dispersión de los sedimentos superficiales muestra las principales fuentes de elementos a los sedimentos de plataforma y su asociación con el tamaño de grano. Las distribuciones espaciales de estos elementos se presentan en las Figuras 38, 39, 40, 41, 42 y 43.

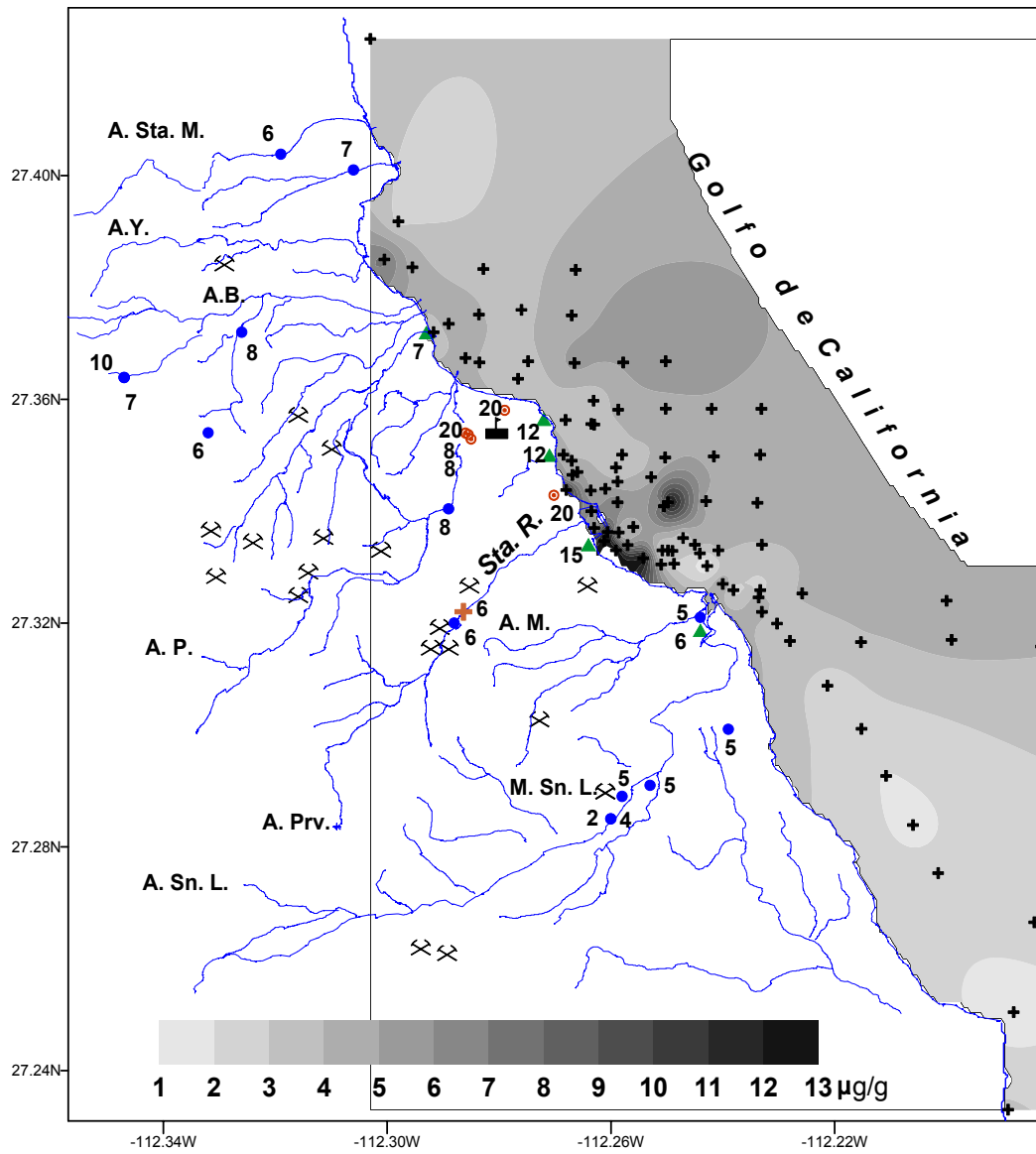


Figura 38. Distribución espacial de la concentración de Dy ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

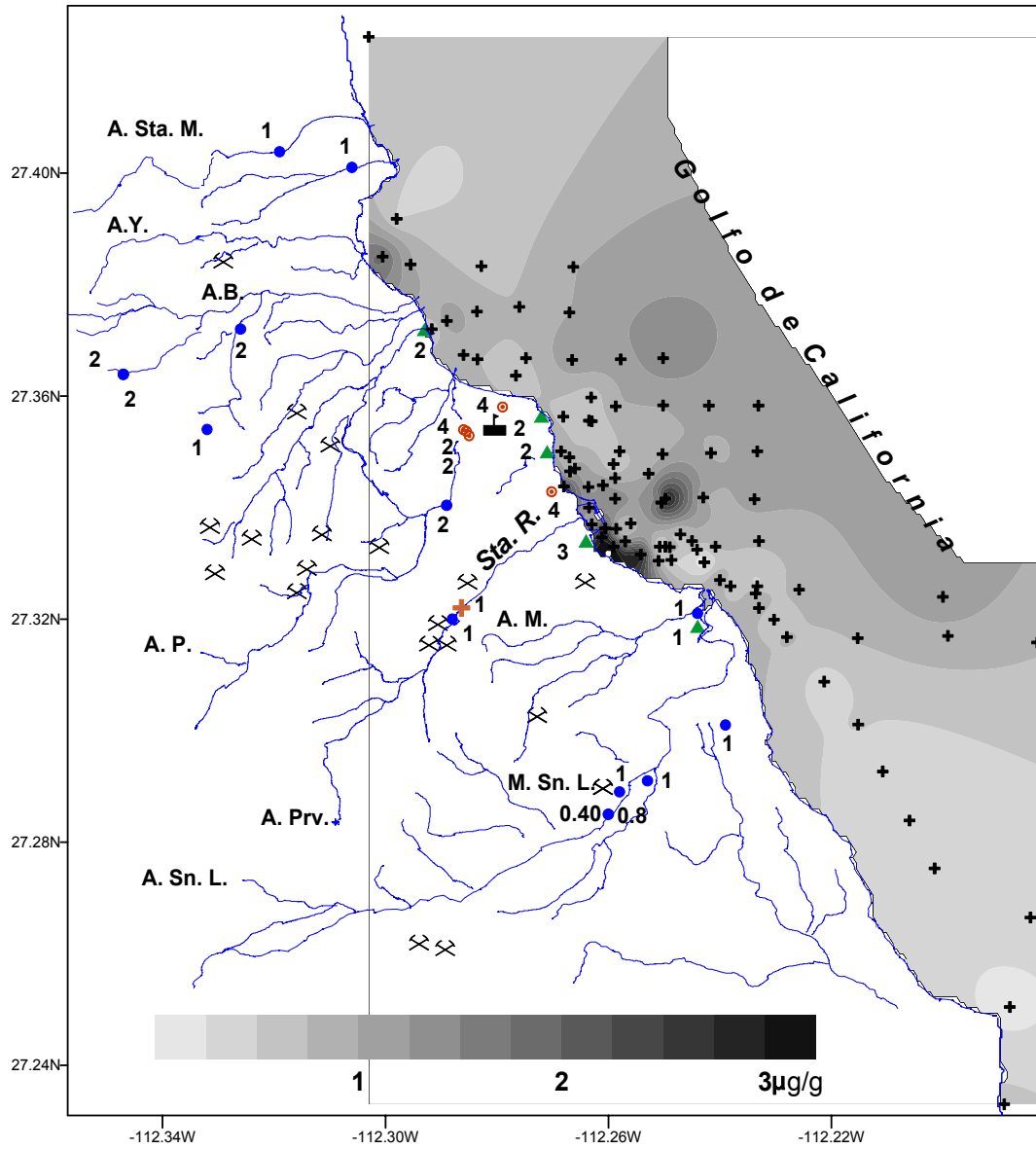


Figura 39. Distribución espacial de la concentración de Ho ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

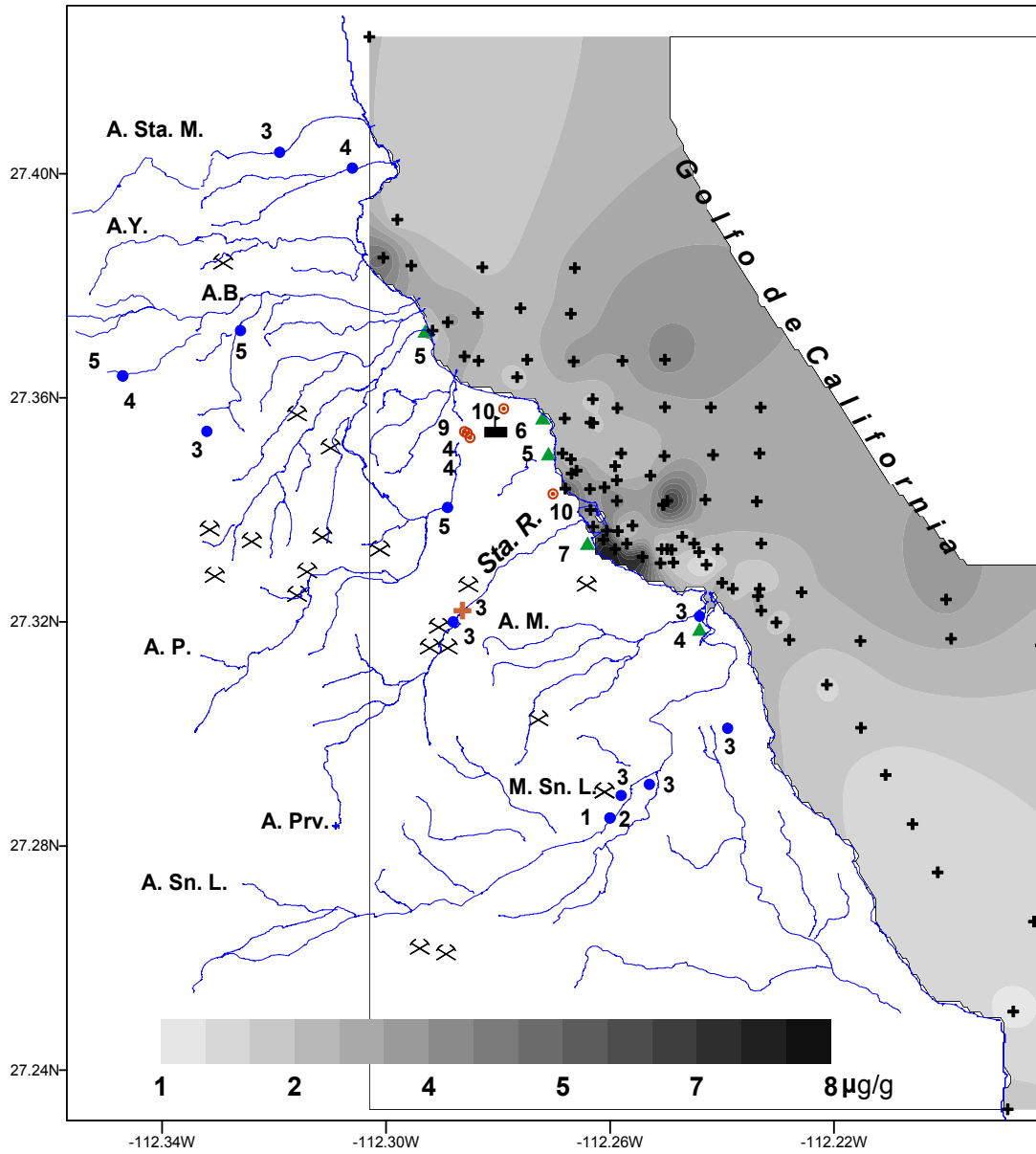


Figura 40. Distribución espacial de la concentración de Er ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

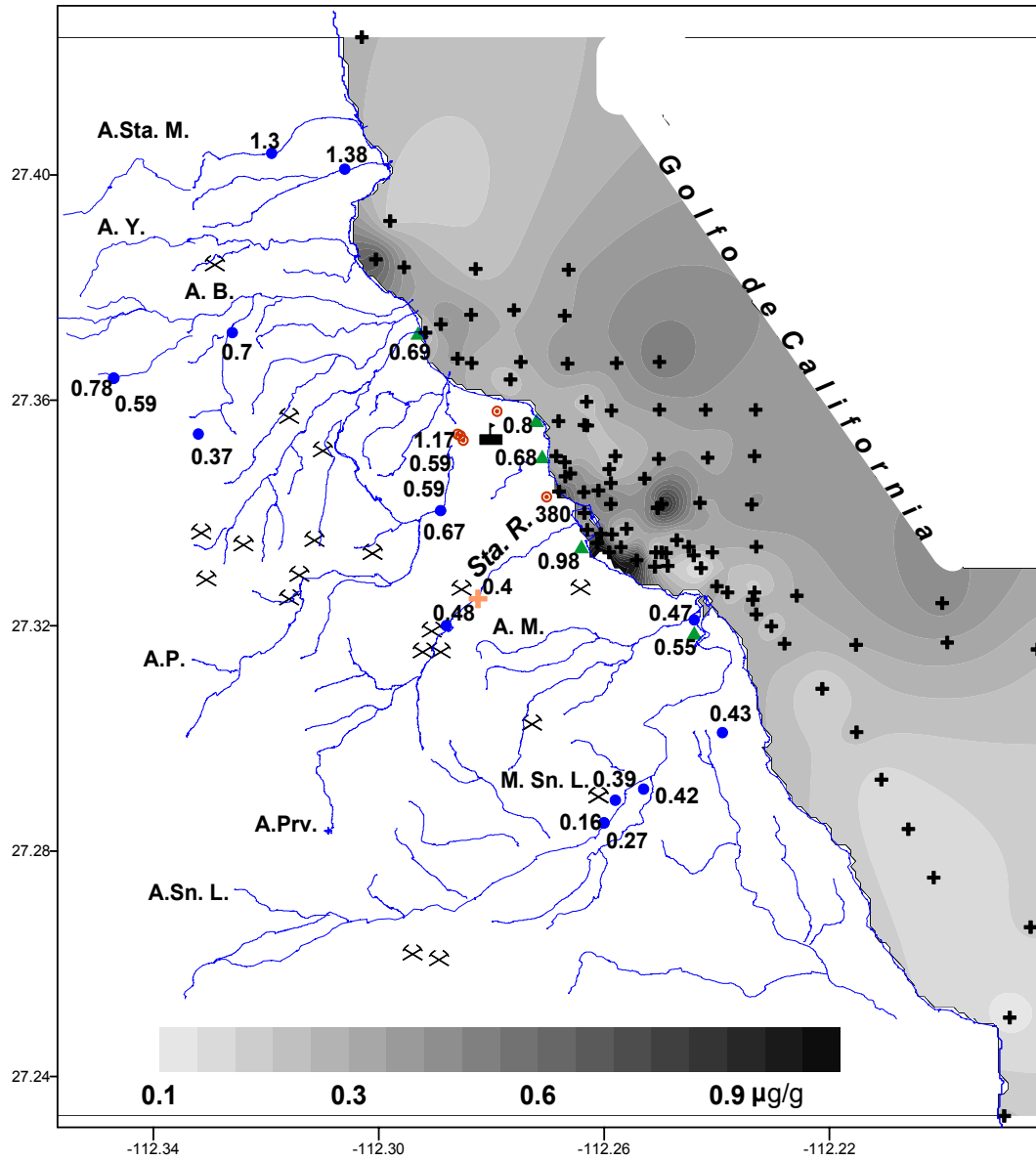


Figura 41. Distribución espacial de la concentración de Tm ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

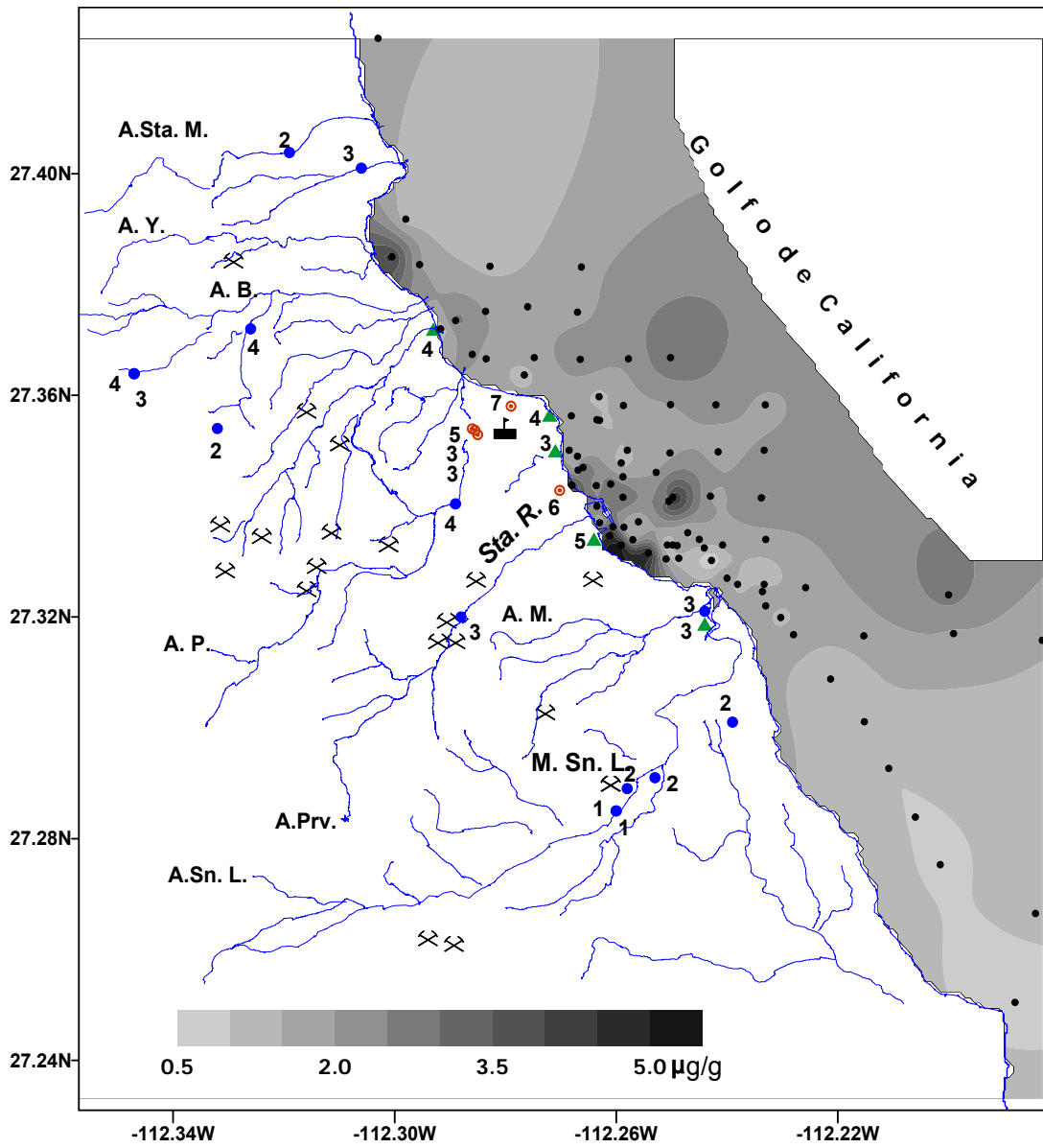


Figura 42. Distribución espacial de la concentración de Yb ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

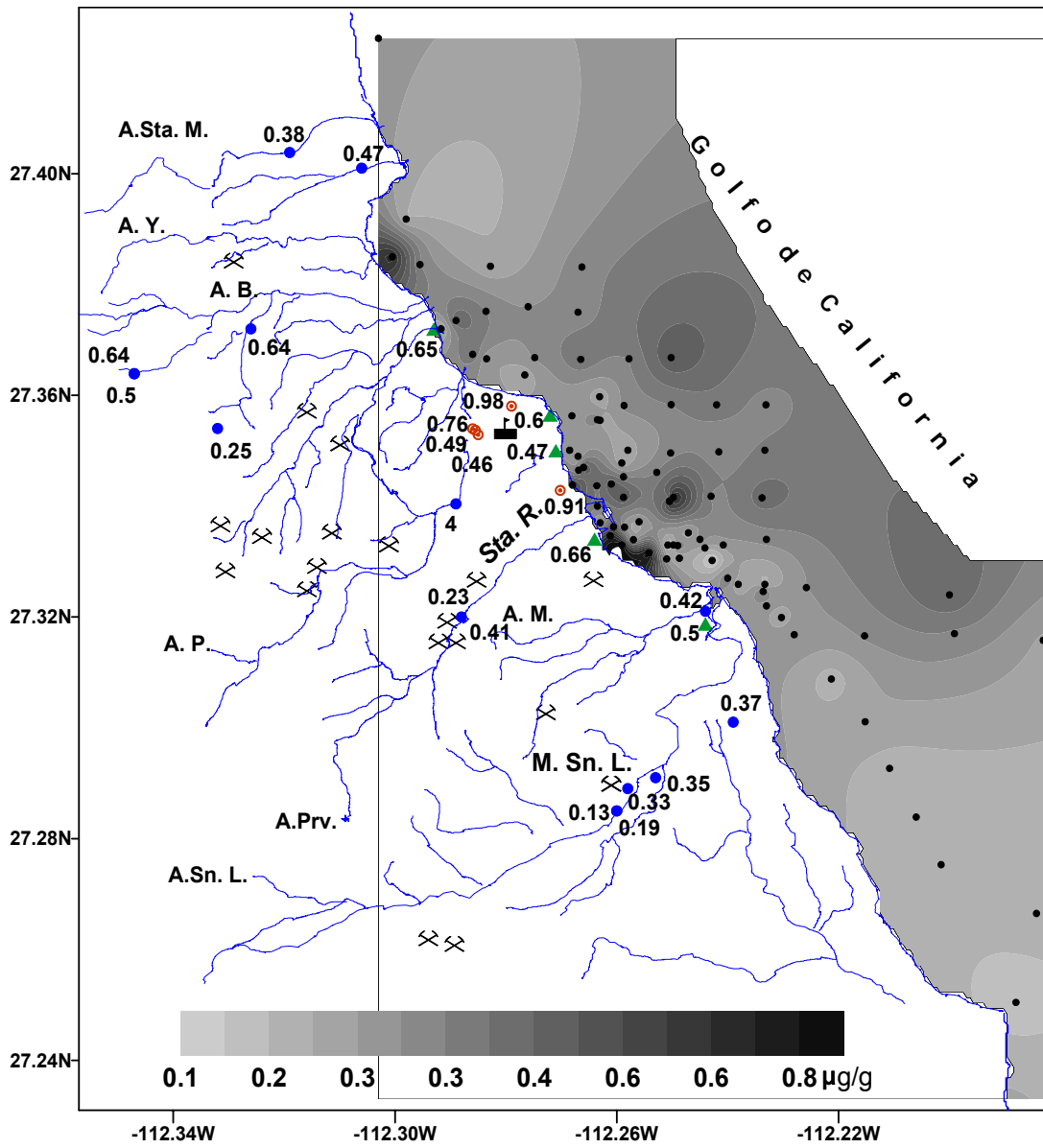


Figura 43. Distribución espacial de la concentración de Lu ($\mu\text{g/g}$) en los sedimentos marinos y continentales del distrito minero de Santa Rosalía.

8. DISCUSIÓN

8.1. Factores de enriquecimiento de los elementos mayoritarios y oligoelementos en los diferentes ambientes sedimentarios del distrito minero de Santa Rosalía.

Para facilitar la interpretación de las concentraciones de los elementos determinados en los sedimentos se calculó el factor de enriquecimiento (FE) de los elementos mayores y oligoelementos versus su contenido en la corteza continental presentados por Taylor (1964), utilizando el Sc como elemento de referencia, como también se pueden utilizar otros elementos como Al, Eu, Sm, Th, Cs, Fe, Li, Rb y Eu (Bruland *et al.*, 1974). Sin embargo, los más usados son el escandio y aluminio debido a que son elementos conservativos y tienen una cercana relación geoquímica (Shoer *et al.*, 1982) y granulométrica (limo-arcillas) con los metales.

Al realizar la estandarización de los sedimentos con respecto al elemento de referencia, quedan excluidos efectos de tamaño de grano, variabilidad natural y se aclara la influencia antropogénica (Salomons y Förstner, 1984; Loring, 1991; Daessle-Heuser, 1993; Daskalakis y O'Conor, 1995; De-Carlo *et al.*, 1996;). Por lo tanto, los valores de factor de enriquecimiento obtenidos son representativos de diferencias con respecto a la referencia que en éste caso es la concentración en la corteza e indicaron anomalías geoquímicas positivas ó negativas.

Los factores de enriquecimiento promedio calculados para los elementos estudiados se presentan en las Figuras 44 y 45. En estas gráficas, se observa el enriquecimiento de la mayoría de los elementos, considerando lo descrito por Salomons y Förstner (1984) que considera que **FE mayores a 4** son sedimentos enriquecidos con **concentraciones anómalas** y con posible **influencia antropogénica**, factores de enriquecimiento **entre 1 y 4** son sedimentos aportados únicamente por efluentes y **procesos naturales** y valores de **FE menores a 1** corresponden a los sedimentos **empobrecidos**. De acuerdo a la escala anterior los valores de FE para los elementos mayoritarios y oligoelementos en los depósitos sedimentarios del distrito minero de Santa Rosalía siguen la misma tendencia que las concentraciones absolutas presentadas y discutidas anteriormente. Debemos mencionar también que los valores de FE para los elementos dados no muestran cambios súbitos de un ambiente de depósito a otro, aunque siempre destacan los

materiales de los depósitos de desechos sólidos (jales), lo que los hace particularmente interesantes. En los **desechos sólidos** los valores obtenidos para los FE con alto enriquecimiento (**mayores de 4**, figura 45) son los siguientes: **Se (113), U (112), Sb (107), el Co (88), Zn (83), As (51), Ba (23), Ni (20), Sr (14), Zr (9) Hg (5) y Cr (5)**. Los elementos con FE normal (**entre 1 y 4**) son el **Na, Ca, Cs y Ta; el Fe** está en el límite con 4. Los elementos **empobrecidos** en todos los ambientes son **Hf, K, Br, Rb y Th**.

Las muestras de las **arenas de “playas negras”** muestran un **enriquecimiento** para **Co, Zn, As, Sb y Ba**, pero, sus valores de FE disminuyen más o menos a la mitad (Tabla 3) de lo calculado para los desechos sólidos. El **Sr** se mantuvo enriquecido con 13 de FE sólo una unidad abajo que en los desechos. El **Ni**, aún está enriquecido, pero en menor proporción. A diferencia de los desechos sólidos, **el Cr y Hg** en las arenas de “playas negras” no se mantienen enriquecidos, **pasando al intervalo** considerado como **FE normal**, y el **Na, Ca, Fe Hf, Cs, Br, Rb, Ta y Th** se encuentran **empobrecidos**.

El **selenio** fue el único elemento que **se incrementó con respecto a los desechos sólidos** de un FE de 113 pasó a 124 en las arenas de playa.

En los **sedimentos de arroyo** sobresalió el **FE del mercurio (8)** que fue el valor máximo obtenido para este elemento en los depósitos de los cuatro ambientes estudiados. Otras **anomalías** fueron para el **Co, Zn, As, Sb, Ba y U**. El **Se** continuó enriquecido, sin embargo sólo alcanzó 56 de FE que es la mitad de lo reportado para los desechos sólidos y arenas de “playas negras”. Valores de FE **entre 1 y 4** lo presentan el **Na, Ca, Fe, Zr, Cs y Hf**; para los elementos con FE **menores a la unidad** no demostraron cambios **Cr, Br, Rb, Ta y Th**.

En el **ambiente marino** se reflejan los procesos de transporte y redepósito, los únicos elementos que permanecen **enriquecidos** son el **Ca, Co, Zn, As, Sr, Se, Ba, U y Sb**, los cuales presentan valores de FE menores en comparación a los otros ambientes estudiados del distrito minero de Santa Rosalía. Es importante mencionar que el FE del Se mostró similitud con lo calculado en el ambiente de arroyo, mientras que el FE del Sr es menor en los ambientes de playa y desechos sólidos, pero mayor en los arroyos. En cuanto a los elementos con **FE**

naturales son Na, K, Fe, Cr, Ni, Zr, Sb, Cs, Hf y Hg y los elementos empobrecidos son Br, Rb, Ta y Th.

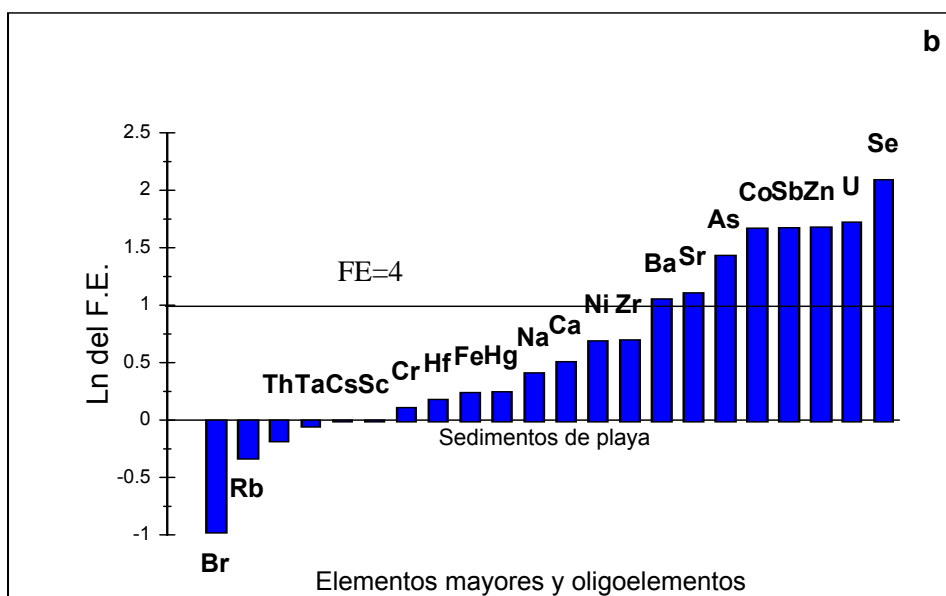
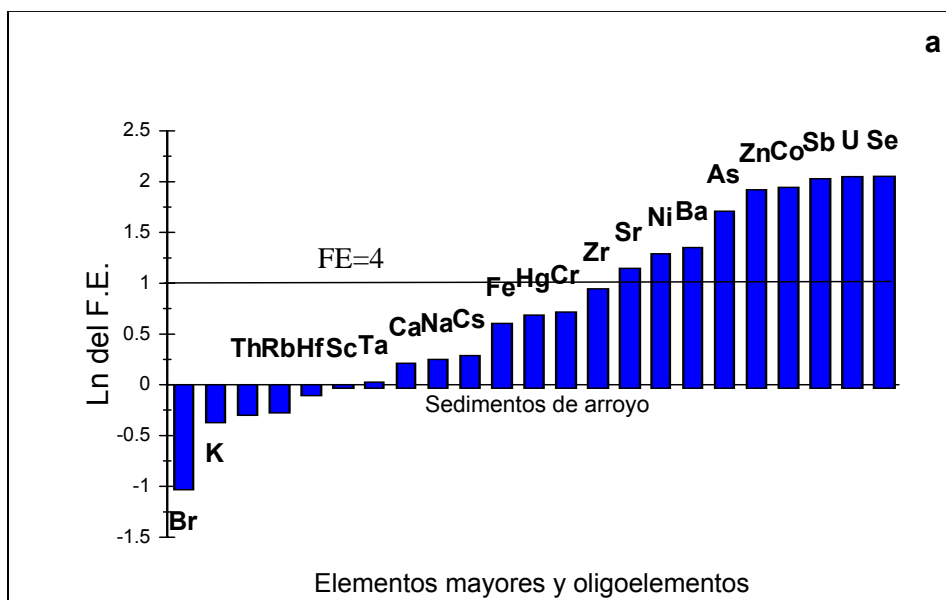


Figura 44. Factores de enriquecimiento (FE) de las concentraciones promedio de los elementos en sedimentos de a) arroyos y b) playa.

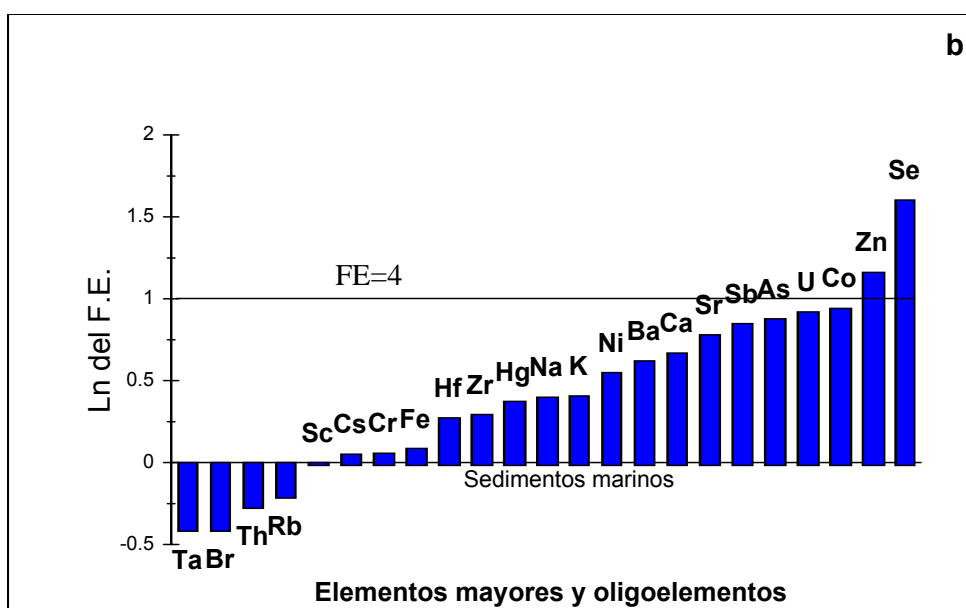
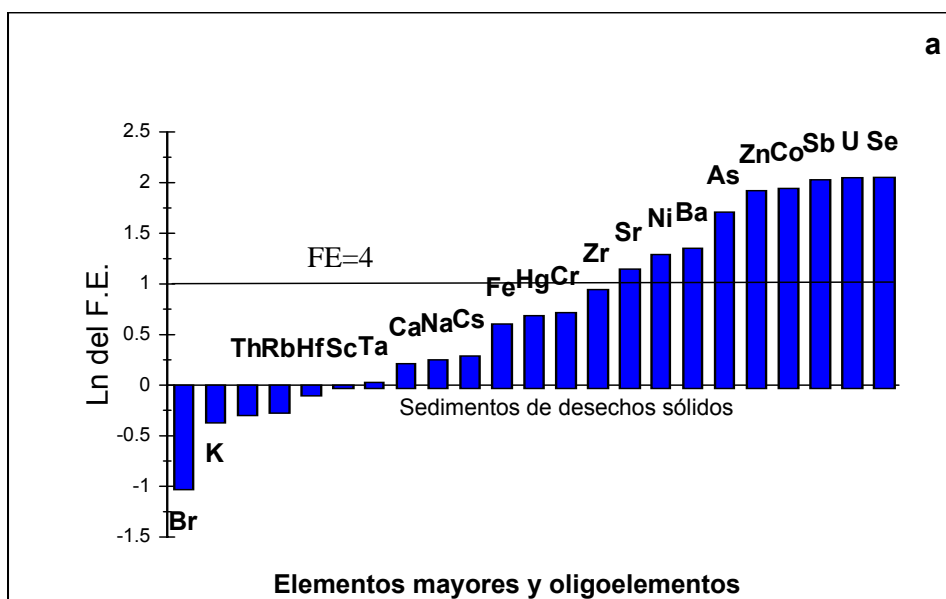


Figura 45. Factores de enriquecimiento (FE) de las concentraciones promedio de elementos en sedimentos superficiales de a) desechos sólidos y b) marinos

En cuanto a otros elementos pesados como el Pb y Cu que no pueden ser analizados por el método anterior fue utilizado el método de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) y además el Co, Zn y Cd fueron analizados nuevamente. Los cálculos del FE para éstos elementos en cada ambiente mostraron anomalías positivas sobresaliendo los valores de los materiales de desecho de la minería, sin embargo, los contenidos de éstos oligoelementos en cada ambiente sedimentario pueden ser considerados como contaminantes potencialmente tóxicos, integrados como parte de los sedimentos pertenecientes al medio ambiente marino. Es importante destacar que los sedimentos marinos reflejan claramente la gran influencia de los procesos mineros ya que los FE también presentaron anomalías destacadas.

En la Tabla 8, se indican los valores de FE para éstos elementos en los sedimentos de arroyo, playa, desechos sólidos y fondo marino; en todos se excedió el valor de 4 FE.

Tabla 8. Concentración promedio, desviación estándar y valores del FE calculados a partir de los análisis realizados por ICPMS, para elementos de importancia ambiental.

ELEMENTO	ARROYO		PLAYA		DESECHOS SÓLIDOS		MARINOS	
	FE	PROM. Y STD	FE	PROM. Y STD	FE	PROM. Y STD	FE	PROM. Y STD
Co µg/g	10	210±269	63	2179±2724	173	437±442	6	85±128
Cu µg/g	50	2287±1804	147	11114±11203	1979	10996±11550	14	489±649
Zn µg/g	24	1377±1170	99	9554±10081	276	1954±966	14	616±810
Cd µg/g	47	8±8	49	13±8	457	9±10	4	0.5±0.5
Pb µg/g	30	311±426	62	1066±622	249	315±231	8	60±60

8.2 Concentraciones normalizadas con la lutita de los elementos de las tierras raras (ETR) en los diferentes ambientes sedimentarios del distrito minero de Santa Rosalía.

Las concentraciones totales de ETR fueron usadas para calcular los valores normalizados con respecto a la lutita norteamericana en la Fig. 46, se puede contrastar las concentraciones de ETR en la lutita norteamericana, en la muestra de mineral de Cu de Santa Rosalía y su valor normalizado.

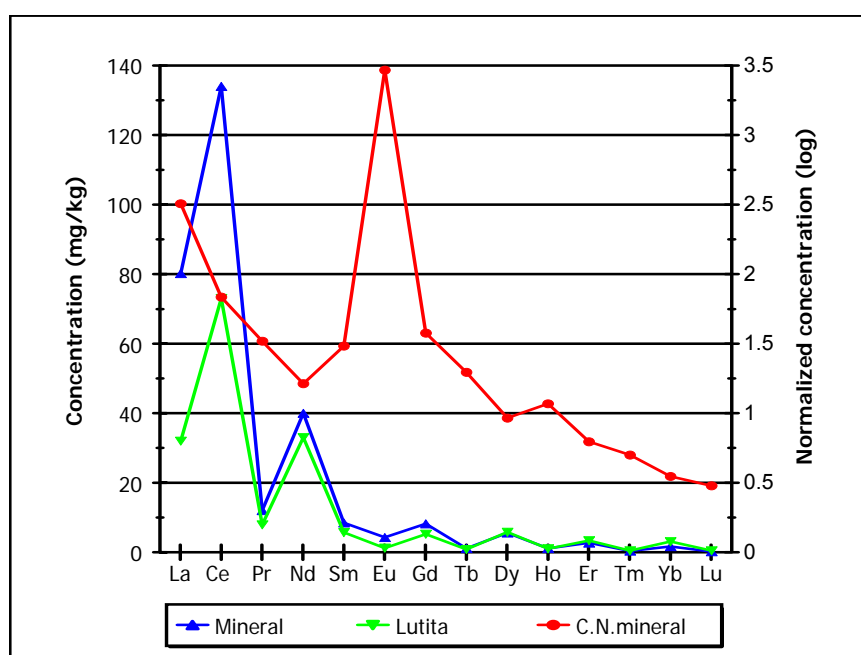


Figura 46. Comparación de la concentración de ETR en una muestra de mineral de cobre con la lutita norteamericana y también contra su concentración normalizada.

Los contenidos de los ETR normalizados con respecto a la lutita norteamericana en los diferentes ambientes de depósito se caracterizaron por un fuerte enriquecimiento de elementos ligeros e intermedios y en menor proporción de elementos pesados. En la gráfica se sitúan en el eje de las ordenadas los valores absolutos de concentración ($\mu\text{g/g}$) de ETR determinados en una muestra de mineral de cobre del distrito minero de Santa Rosalía y de la lutita norteamericana. Puede observarse en esta figura que las concentraciones de ETR en el mineral de cobre son más altas, en contraste a la lutita principalmente en La y Ce (ETR ligeros) mientras que en ETR intermedios y pesados las concentraciones son equivalentes a

la lutita. En el eje secundario (escala logarítmica) se grafican los valores de concentración normalizados del mineral de cobre, nótese las anomalías de elementos ligeros e intermedios y especialmente la anomalía positiva de europio que fue descrita en el capítulo de distribución espacial para los ambientes anteriores. En la Fig. 47, se ilustra la secuencia de acumulación más frecuente; (1) depósitos de desechos sólidos, (2) las arenas de playa y (3) la muestra de mineral que exhiben los patrones (normalizados) de concentración más altos, mientras que en las muestras de los arroyos (4) y sedimentos marinos (5) las razones normalizadas con la lutita fueron inferiores, similares entre los ambientes de depósito y con una distribución de la concentración uniforme.

Para los elementos ligeros es importante considerar las concentraciones de Ce detectadas puesto que este elemento es considerado por algunos autores de gran importancia para definir procedencia de los materiales debido a su asociación con los aportes de origen terrígeno. La razón normalizada (r_n) de Ce fue significativa, mostrando anomalías positivas en los desechos sólidos., los sedimentos de playa y en la muestra de mineral de cobre, sin embargo en los sedimentos de arroyo y marinos las razones disminuyeron considerablemente.

La serie de elementos intermedios (Sm, Eu, Gd y Tb) mostró también un enriquecimiento en todos los ambientes de depósito, el rasgo principal de las curvas presentadas en la Figura 47 fue la existencia de una pronunciada anomalía positiva de Eu. El valor máximo se presentó en los desechos sólidos ($r_n \cong 4.3$) y en el mineral de cobre ($r_n \cong 3.5$) que fue el único elemento dentro del grupo de las ETR que se encontró por encima del contenido normalizado de los sedimentos de playa ($r_n \cong 2.5$) que es el segundo ambiente más enriquecido en elementos después de los depósitos de desechos sólidos. Anomalías semejantes de la razón normalizada de Eu fueron registradas en los núcleos de las cuencas profundas de Santa Rosalía y Loreto (Shumilin *et al.*, 1996). Además de acuerdo a Mitra *et al.* (1994) la existencia de tales anomalías de Eu en material suspendido particulado y en los sedimentos se explica por la contribución de la actividad hidrotermal actual y/o por los efectos de la actividad hidrotermal antigua que se presenta en el océano a profundidades variables (ej., Pacífico mexicano a los 21° N a 2600 m de profundidad en la cuenca de

Guaymas a 2000m). Los procesos hidrotermales son reconocidos ampliamente como generadores de una vasta gama de depósitos minerales metálicos, éstos pueden ser de oro y plata, cobre, plomo y zinc, mercurio, antimonio y molibdeno, más metales menores, y muchos minerales no metálicos (Jensen *et al.*, 1981). En éste contexto y apoyado por los resultados de las concentraciones de los elementos mayores y traza en el distrito minero de Santa Rosalía se propone que los procesos hidrotermales son la causa de los altos niveles de europio en los sedimentos, que corresponde a lo propuesto con anterioridad en relación a los procesos hidrotermales como responsables de la formación de los yacimientos minerales de cobre (Escandón, 1995).

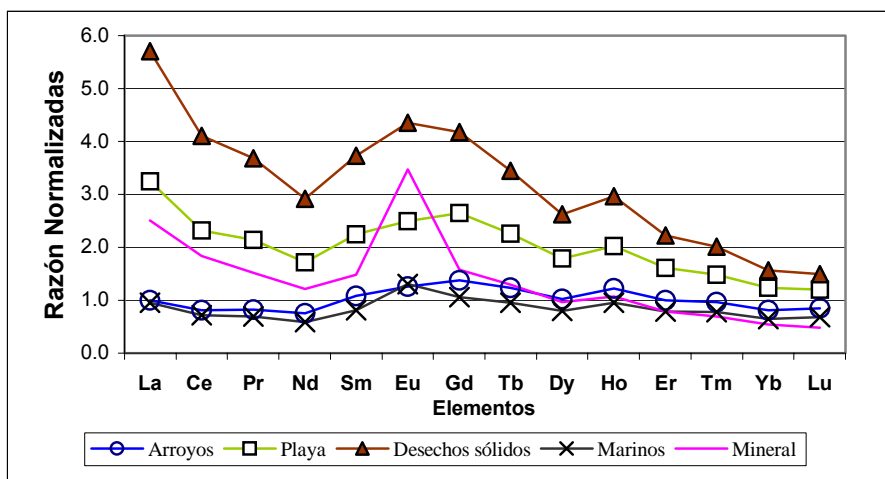


Figura 47. Comparación de la concentración de ETR en los distintos ambientes sedimentarios y con la muestra de mineral de cobre.

En cuanto a las ETR pesadas las anomalías más evidentes se presentaron también en los desechos sólidos y en los sedimentos de playa, asimismo se observó en la Figura 47 una disminución constante de r_n desde Er hacia Tm, Yb y Lu. La concentración de Lu con una $r_n \cong 1.2$ fue el valor más bajo de las razones normalizadas.

8.3 Asociaciones de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.

Las concentraciones totales de los elementos estudiados en Santa Rosalía fueron analizadas mediante estadística multivariada, la cual comprende métodos que permiten analizar simultáneamente variables de relación dispersa (Danielsson, 1998).

Uno de éstos es el análisis de componentes principales (ACP). Por medio de éste método se crean nuevas dimensiones de los datos (Flury y Riedwyl, 1988). Su objetivo es reducir la dimensión de la matriz de datos originales a sólo dos o tres componentes principales y con un número relativamente pequeño de componentes explicar la variación en los datos, facilitando su exploración, y permitiendo encontrar agrupaciones entre elementos, áreas de concentración y enlaces entre algunos procesos físicos-químicos (Bopp y Biggs, 1981; DelVall *et al.*, 1997).

Otro método que fue aplicado es el análisis de grupos (cluster analysis). Este consiste de diferentes técnicas (e.g., Sharma, 1996) y tiene tres propósitos: encontrar, describir y explicar estructuras simples dentro de un material de datos complejos, reduciendo los datos y detectando posibles interrelaciones.

8.3.1 Correlaciones entre los elementos mayoritarios, oligoelementos y ETR en los sedimentos marinos superficiales del distrito minero de Santa Rosalía.

A partir de la matriz de correlación se detectaron posibles interrelaciones entre los elementos mayoritarios y oligoelementos determinados en los sedimentos marinos del distrito minero, se tomaron en cuenta sólo los valores con un coeficiente de correlación alto, considerado a partir de 0.8.

De los elementos mayores el Na presentó correlaciones positivas significativas con el Ca, Fe, As, Rb, Sr, Sb, Th, U, Hg y ETR y el K mostró correlaciones inversas (-) con el Na, Ca, Sb, Th, U, Hg y con el Sm y Eu. El calcio se correlacionó positivamente con Sr, Sb, Ba, Hg y la mayoría de las ETR. En cuanto al Fe las correlaciones encontradas fueron con otros elementos de origen terrígeno como Sc, Rb, Hf, Ta, Th, U, Hg y la mayoría del grupo de las ETR. Además de la relación

anterior, el Sc se asocia al Rb, Cr, Hf y Ta. De éste grupo el Cr se correlacionó negativamente con el Ni y Br.

Asociados posiblemente a los materiales biogénicos se presentaron los siguientes componentes: Ni, Br, Cr, Hf, C_{org} y CaCO₃. En contraste el cobalto y los elementos asociados (Zn, Se, Zr y Cs) sugieren la influencia de el componente detrítico inorgánico.

Los elementos de importancia ambiental como el As presentan asociaciones positivas con el Ca, Sr, Sb. Y a su vez éstos dos últimos elementos se asocian al Ba y C_{org} presentando correlaciones altas positivas. Este grupo interactúa a su vez con los carbonatos y materia orgánica.

El Sr, además de las asociaciones mencionadas, tiene correlación positiva con La, Ce, Eu y Ho. El antimonio se detectó asociado al Hg y el grupo de ETR excluyendo al Tm y Lu. El rubidio ocurre junto al grupo de las ETR con excepción de Yb y Lu y a los siguientes elementos: Hf, Ta, Th y U. Como se ha descrito, el bario se asocia con materiales de origen biogénico y con Ce, Pr, Nd, Ho, Er e Yb .

Finalmente, El Th, U y Hg forman un grupo muy homogéneo con correlaciones muy altas entre ellos y con los otros elementos mencionados.

8.3.2 Análisis de los componentes principales.

Los resultados del análisis de componentes principales muestran que dos componentes mayores explican el 84% (Tabla 9) de la variancia total y, dentro de éstos componentes se reflejaron las asociaciones mencionadas anteriormente. El primero de ellos, exhibe valores altos positivos para el Na, K, Ca, Fe, As, Rb, Sr, Sb, Ba, Th, U, Hg y el grupo de las tierras raras. Incluidas en éste componente, el grupo de las tierras raras mantiene un valor mayor a 0.9 a excepción del Lu.

En el segundo factor resultan valores significativos para Sc, Cr, Hf y Ta. Además de otros elementos como Ni, Br, carbono orgánico y carbonatos que presentaron valores altos y negativos.

Tabla 9. Análisis de componentes principales para los elementos mayoritarios y “traza”, carbonatos y carbono orgánico en los sedimentos marinos superficiales del Distrito Minero de Santa Rosalía.

EIGENVALORES		EXTRACCIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES		
Valor	Eigenvalor	%Variancia Total	Eigenvalor Acumulado	Acumul.%
1	23.97922	61%	23.97922	61.48519
2	9.46180	24%	33.44103	85.74623

Tabla 10. Peso de cada elemento dentro de los dos componentes principales con matriz rotada (varimax > a .70)

VARIABLE	FACTOR 1	VARIABLE	FACTOR 2
Na	0.94	Sc	0.87
K	-0.87	Cr	0.95
Ca	0.97	Ni	-0.88
Fe	0.79	Br	-0.96
Rb	0.71	Se	0.821
Sr	0.92	Hf	0.93
Sb	0.95	Ta	0.84
As	0.74	C _{org}	-0.85
Ba	0.87	CaCO ₃	-0.83
Th	0.76		
U	0.79		
Hg	0.94		
ETR	0.9		

8.3.3. Análisis de grupos.

De acuerdo con los resultados del análisis de grupos (cluster analysis) los elementos analizados forman en general cuatro grupos principales (Figura 48).

El primer grupo contiene a los elementos de las tierras raras relacionadas con el Hf, Cr, Ta, Sc (que pertenecen al Factor 2), U, Th, Rb, Fe y Hg que son de origen terrígeno y pertenecen al Factor 1 descrito anteriormente. Como se observa en la Figura 48, a partir del Hf se forma otra estructura que asocia al Ba, Sr, Sb Ca y As

que ya se había detectado anteriormente en la matriz de correlación todos con excepción del As están en el primer factor. Por otra parte el Br, CaCO_3 , Ni y carbono orgánico también forman un grupo que están dentro del factor 2 y del cual hay que investigar sus posibles interrelaciones con los materiales carbonatados y biogénicos. Después, Zn, Cs y Co que no tienen peso alto en ninguno de los dos factores, en ésta gráfica se encuentran cercanos así como el Zr y Se que indica la presencia de algún mineral característico del área. El K es un elemento ubicado dentro del primer factor con peso de -0.901 por lo cual en la Figura 48 (de cluster) se observa que la distancia de unión con los otros elementos es la mayor.

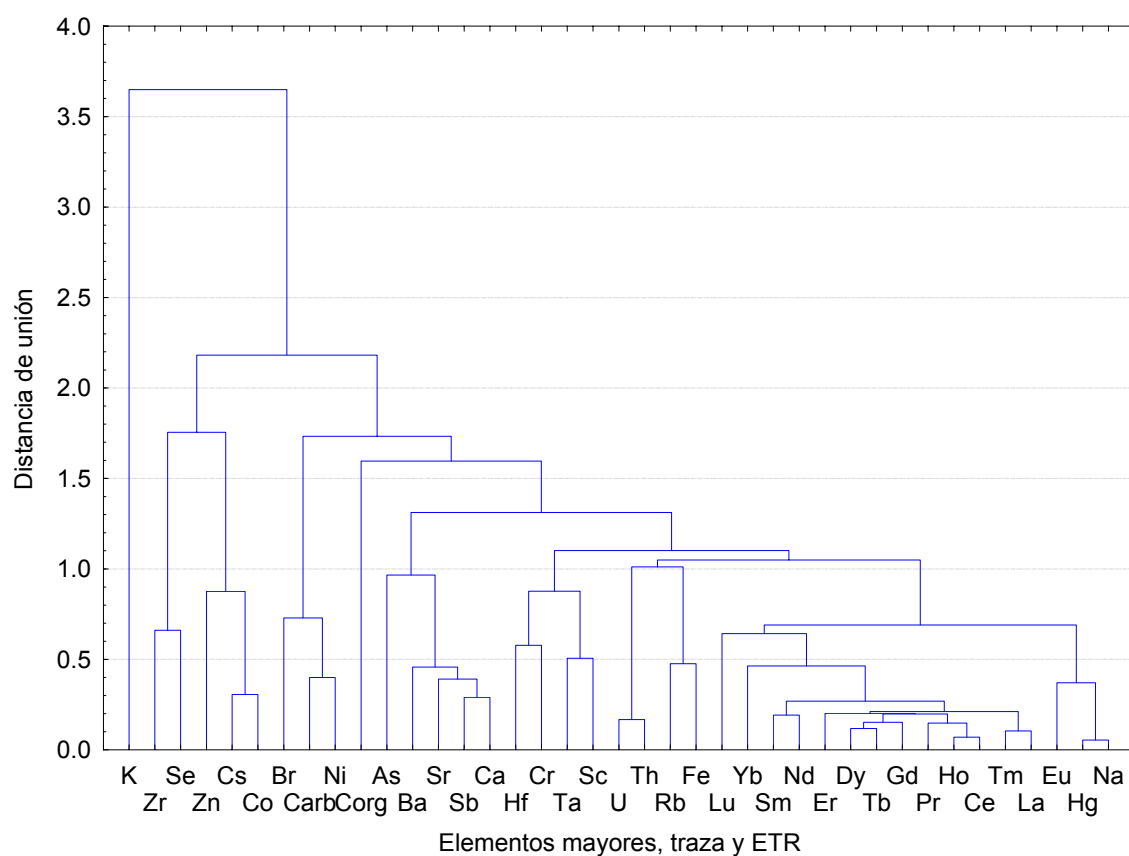


Figura 48. Asociaciones de elementos mayores, traza y ETR, contenidos en los sedimentos de los diferentes ambientes de depósito del distrito minero de Santa Rosalía por el análisis de cluster.

8.3.4. Análisis de variancia (ANOVA)

Con la finalidad de comprobar la dependencia espacial de los elementos con respecto al ambiente de depósito, los datos de concentración de los elementos mayores, oligoelementos y ETR fueron analizados aplicando primero la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 11) para lo cual fue necesario utilizar logaritmo natural de las concentraciones. En segundo orden, se comprobó la homocedasticidad mediante Bartlett (Tabla 12). Partiendo de que los datos resultaron normales y homocedásticos el análisis de las variancias se presenta a continuación (Tabla 13).

Finalmente, la prueba de Tukey comprueba la dependencia espacial, de los elementos y las diferencias de concentración significativas con respecto a los ambientes de depósito que han sido descritas en capítulos anteriores. Los resultados de Tukey para los elementos de importancia ambiental, se presentan en la Tabla 14.

Tabla 11. Prueba de Kolmogorov-Smirnov. Evaluación de normalidad

Elemento	Arroyo	Playa	Desechos sólidos	Marinos
Na	D=.19586(P>.20)	D=.17870(P>.20)	D=.21921(P>.20)	D=.10572(P>.20)
K	D=.22843(P>.20)		D=.22898(P>.20)	D=.18117(P>.15)
Ca	D=.13209(P>.20)	D=.32796(P>.20)	D=.12724(P>.20)	D=.07184(P>.20)
Fe	D=.16870(P>.20)	D=.21518(P>.20)	D=.36550(P>.20)	D=.12148(P<.20)
Sc	D=.15766(P>.20)	D=.13509(P>.20)	D=.37071(P>.20)	D=.14154(P<.10)
Cr	D=.18769(P>.20)	D=.23612(P>.20)	D=.29665(P>.20)	D=.05725(P>.20)
Co	D=.22776(P>.20)	D=.30982(P>.20)	D=.31795(P>.20)	D=.21657(P<.01)
Ni	D=.23290(P>.20)	D=.24404(P>.20)	D=.18881(P>.20)	D=.07175(P>.20)
Zn	D=.16877(P>.20)	D=.29456(P>.20)	D=.21760(P>.20)	D=.17414(P<.05)
As	D=.13438(P>.20)	D=.22656(P>.20)	D=.31005(P>.20)	D=.06144(P>.20)
Br	D=.12410(P>.20)	D=.20160(P>.20)	D=.35118(P>.20)	D=.07464(P>.20)
Se	D=.16578(P>.20)	D=.22052(P>.20)	D=.25038(P>.20)	D=.09267(P>.20)
Rb	D=.20403(P>.20)	D=.31976(P>.20)	D=.17820(P>.20)	D=.13380(P<.15)
Sr	D=.24377(P>.20)	D=.33958(P>.20)	D=.32384(P>.20)	D=.08907(P>.20)
Zr	D=.21243(P>.20)	D=.24279(P>.20)	D=.22829(P>.20)	D=.09677(P>.20)
Sb	D=.10096(P>.20)	D=.29877(P>.20)	D=.22376(P>.20)	D=.07426(P>.20)
Cs	D=.25533(P>.20)	D=.38682(P>.20)	D=.29859(P>.20)	D=.07732(P>.20)
Ba	D=.18274(P>.20)	D=.27479(P>.20)	D=.26613(P>.20)	D=.19263(P<.01)
Hf	D=.21385(P>.20)	D=.21903(P>.20)	D=.20163(P>.20)	D=.16686(P<.05)
Ta	D=.15163(P>.20)	D=.30247(P>.20)	D=.26025(P>.20)	D=.12402(P>.20)
Th	D=.24056(P>.20)	D=.28401(P>.20)	D=.20813(P>.20)	D=.12225(P<.20)
U	D=.20604(P>.20)	D=.27530(P>.20)	D=.26729(P>.20)	D=.13325(P<.10)
Hg	D=.35806(P>.05)	D=.17468(P>.20)	D=.38482(P>.20)	D=.19757(P<.05)
Corg	D=.12348(P>.20)	D=.34481(P>.20)	D=.26635(P>.20)	D=.11914(P>.20)
Carbonatos	D=.14294(P>.20)	D=.19600(P>.20)	D=.25003(P>.20)	D=.09459(P>.20)
La	D=.18033(P>.20)	D=.31003(P>.20)	D=.26622(P>.20)	D=.22424(P<.01)
Ce	D=.14631(P>.20)	D=.31357(P>.20)	D=.27981(P>.20)	D=.22236(P<.01)
Pr	D=.11348(P>.20)	D=.30970(P>.20)	D=.27374(P>.20)	D=.19047(P<.01)
Nd	D=.13206(P>.20)	D=.30622(P>.20)	D=.27476(P>.20)	D=.16737(P<.05)
Sm	D=.16872(P>.20)	D=.28433(P>.20)	D=.28230(P>.20)	D=.16141(P<.05)
Eu	D=.15317(P>.20)	D=.27957(P>.20)	D=.18692(P>.20)	D=.18732(P<.01)
Gd	D=.20172(P>.20)	D=.27101(P>.20)	D=.32836(P>.20)	D=.16576(P<.05)
Tb	D=.16616(P>.20)	D=.29226(P>.20)	D=.33388(P>.20)	D=.16996(P<.05)
Dy	D=.17298(P>.20)	D=.27892(P>.20)	D=.35800(P>.20)	D=.15943(P<.05)
Ho	D=.20122(P>.20)	D=.21444(P>.20)	D=.34595(P>.20)	D=.11835(P<.20)
Er	D=.20376(P>.20)	D=.12406(P>.20)	D=.32041(P>.20)	D=.13167(P<.15)
Tm	D=.17276(P>.20)	D=.19501(P>.20)	D=.29600(P>.20)	D=.12373(P<.15)
Yb	D=.11095(P>.20)	D=.26377(P>.20)	D=.26173(P>.20)	D=.12486(P<.15)
Lu	D=.18151(P>.20)	D=.22729(P>.20)	D=.23249(P>.20)	D=.08639(P>.20)
Co	D=.20051(P>.20)	D=.25230(P>.20)	D=.22003(P>.20)	D=.20019(P>.20)
Cu	D=.18019(P>.20)	D=.27397(P>.20)	D=.19628(P>.20)	D=.14788(P>.20)
Zn	D=.12837(P>.20)	D=.33307(P>.20)	D=.32586(P>.20)	D=.20180(P>.20)
Cd	D=.15879(P>.20)	D=.26335(P>.20)	D=.21935(P>.20)	D=.16919(P>.20)
Pb	D=.11925(P>.20)	D=.20308(P>.20)	D=.20776(P>.20)	D=.12955(P>.20)

Tabla 12. Prueba de Bartlett. Evaluación de homocedasticidad.

Elemento	Bartlett Chi-sqr.	df	p
Na	1.876560	3	0.598418
K			
Ca	3.706987	3	0.294892
Fe	5.393138	3	0.145172
Sc	1.519905	3	0.677684
Cr	13.39786	3	0.003851
Co	5.171874	3	0.159636
Ni	9.123479	3	0.027693
Zn	14.03881	3	0.002853
As	3.688981	3	0.297066
Br	1.859789	3	0.602011
Se	6.418184	3	0.092946
Rb	2.275800	3	0.517173
Sr	33.60119	3	0.000000
Zr	3.883496	3	0.274322
Sb	4.085483	3	0.252380
Cs	9.541692	3	0.022892
Ba	2.248595	3	0.522440
Hf	3.578635	3	0.310706
Ta	2.123780	3	0.547117
Th	3.834938	3	0.279848
U	3.404086	3	0.333416
Hg	10.67768	3	0.013603
Corg	22.11558	3	0.000062
Carb	5.772183	3	0.123236
La	3.453579	3	0.326833
Ce	3.329386	3	0.343574
Pr	3.798560	3	0.284054
Nd	3.824012	3	0.281105
Sm	3.970775	3	0.264637
Eu	3.577852	3	0.310804
Gd	2.960618	3	0.397737
Tb	1.836411	3	0.607044
Dy	1.633876	3	0.651733
Ho	1.528627	3	0.675679
Er	2.022893	3	0.567669
Tm	2.563500	3	0.463924
Yb	3.673493	3	0.298948
Lu	4.728180	3	0.192818
Co	5.171874	3	0.159636
Cu	0.409092	3	0.938358
Zn	14.03881	3	0.002853
Cd	0.894561	3	0.826740
Pb	6.358063	3	0.095431

Tabla 13. Prueba de Levene's (ANOVA) para homogeneidad de variancias.

Elemento	F	P
Na	0.790585	0.501790
K		
Ca	0.655246	0.581424
Fe	1.580028	0.198613
Sc	0.508410	0.677333
Cr	2.358558	0.075830
Co	2.331694	0.078419
Ni	3.239981	0.027259
Zn	5.455693	0.001598
As	1.296398	0.279730
Br	0.441034	0.724137
Se	3.213998	0.025931
Rb	0.294518	0.829271
Sr	6.284564	0.000579
Zr	0.396446	0.755833
Sb	2.401744	0.071905
Cs	5.792877	0.001053
Ba	0.568795	0.636781
Hf	0.666991	0.574166
Ta	1.198196	0.316876
Th	0.923457	0.432233
U	1.086583	0.358167
Hg	6.981693	0.000383
Corg	6.286412	0.000844
Carb	1.871146	0.143192
La	1.340278	0.265332
Ce	1.258184	0.292632
Pr	1.256486	0.293223
Nd	1.076840	0.362256
Eu	0.346050	0.792071
Gd	0.916729	0.435551
Tb	0.590887	0.622320
Dy	0.421945	0.737645
Ho	0.441003	0.724159
Er	0.414815	0.742713
Tm	0.589426	0.623270
Yb	0.574904	0.632762
Lu	0.850709	0.469260
Co	2.331694	0.078419
Cu	0.416966	0.741821
Zn	5.455693	0.001598
Cd	0.398644	0.754735
Pb	3.658076	0.020685

Tabla 14. Prueba de Tukey

Elemento		Arroyo	Playa	Desechos sólidos	Marinos
Co	Arroyo		0.202403	0.004520	0.123043
	Playa	0.202403		0.621049	0.002486
	Desechos sólidos	0.004520	0.621049		0.000141
	Marinos	0.123043	0.002486	0.000141	
Cu	Arroyo				0.000918
	Playa	0.117898			0.000216
	Desechos sólidos	0.150207	0.994361		0.000197
	Marinos	0.000918	0.000216	0.000197	
Zn	Arroyo				
	Playa	0.726710			0.033736
	Desechos sólidos	0.127446	0.770232		0.000604
	Marinos	0.061052	0.033736	0.000604	
Cd	Arroyo		0.508543	0.999422	0.000166
	Playa	0.508543		0.699540	0.000166
	Desechos sólidos	0.999422	0.699540		0.000172
	Marinos	0.000166	0.000166	0.000172	
Pb	Arroyo		0.018806	0.794912	0.055876
	Playa	0.018806		0.245888	0.000262
	Desechos sólidos	0.794912	0.245888		0.038238
	Marinos	0.055876	0.000262	0.038238	

8.4. COMPARACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS MARINOS SUPERFICIALES DEL DISTRITO MINERO DE SANTA ROSALÍA CON LOS ABANICO-DELTAS PRÍSTINOS DE LA GIGANTA Y LORETO.

8.4.1. Elementos mayoritarios y oligoelementos

Los resultados del estudio exhiben la importancia de investigar los patrones espaciales de los elementos y sus concentraciones en un sistema marino como el de Santa Rosalía. Además, utilizando los datos existentes (Rodríguez-Figueroa *et al.*, 1998) para ecosistemas prístinos como La Giganta y Loreto, podemos decir que las propiedades de distribución espacial en las tres áreas mencionadas son relativamente semejantes debido a que pertenecen a una misma subprovincia geológica. Sin embargo, existen ciertas diferencias importantes en los niveles de concentración de algunos elementos que indican cambios locales dentro de la geología regional y de diferencias conspicuas en cada área lo cual genera diferentes asociaciones entre los elementos y distintas estructuras de la distribución espacial de la concentración dentro de cada cuenca de depósito. En cuanto a la concentración de los elementos, fueron encontradas grandes diferencias para el Cu, Zn, Co y Mn, por lo que dentro de éste estudio se consideran como metales primarios de la subprovincia geológica de la Sierra de la Giganta y concentrados en el distrito minero de Santa Rosalía por la influencia del yacimiento mineral y efecto de las actividades antropogénicas.

Además dentro del ambiente marino, otros factores como la circulación y las características batimétricas afectan la distribución y concentración de los elementos de acuerdo con el tamaño de grano y densidad de las partículas, que aunado a las condiciones geológicas antes mencionadas generan provincias geoquímicas bien definidas, como es el caso del Distrito Minero de Santa Rosalía.

Entre otros elementos que mostraron altas concentraciones sobresalen el Pb y Cd que fueron explicados con anterioridad para el área de Santa Rosalía. Sin embargo al observar la localización de las máximas concentraciones en la porción marina de La Giganta y Loreto podemos estimar que en La Giganta las concentraciones siguen con lo descrito para Santa Rosalía, alta acumulación en los sedimentos costeros y

menores concentraciones hacia las zonas más profundas. En Loreto existen diferencias marcadas que representan las características propias de acumulación y composición, donde las cantidades de Pb y Cd son las máximas y representan otra fuente de aporte distinta al continente que proviene de Isla Carmen y que contribuye también con detritos terrígenos de diferente composición además de la posible influencia en el sistema depositacional submarino provocado por la misma Isla que funciona como una barrera natural.

Los elementos que tienen factores de enriquecimiento altos (anómalos) en Santa Rosalía son: Cu, Co, Pb, Cd, Zn, Cr y Mn, en La Giganta: Cu, Pb, Cd, Cr y Mn y en Loreto: Cu, Pb, Cd y Mn. Tomando en cuenta que los sedimentos del distrito minero de Santa Rosalía son enriquecidos y sobrepasan la clasificación de Salomons y Forstner (1984), nuestros datos serán considerados como anómalos cuando los FE's sean mayores de 10. Los valores se presentan en forma resumida para las tres áreas en la Tabla 15, de donde podemos deducir que Santa Rosalía es el ambiente mayormente enriquecido en cuanto a elementos presentes en sus sedimentos, y que cobre, cobalto, zinc y manganeso proceden de la porción terrestre del distrito minero y son aportados por los arroyos correspondientes. El FE alto de cromo en los sedimentos de La Giganta y Loreto puede ser explicado también debido a que: (1) son sedimentos naturalmente enriquecidos con respecto a Santa Rosalía y (2) En el caso de Loreto, el cromo está siendo depositado en el fondo de la cuenca por ambos márgenes (continental e insular).

Tabla 15. Factores de enriquecimiento (FE's) sobresalientes para los sedimentos marinos del Distrito Minero de Santa Rosalía, La Giganta y Loreto.

Elemento	Santa Rosalía	La Giganta marinos	La Giganta playa	Loreto
Cu	172	6	7	7
Co	22			
Pb	60	70	64	82
Cd	569	754	717	780
Zn	40			
Cr	6	8	8	
Mn	39558	4522	5547	

Como se observa en la Tabla 15, el cobre, cobalto, plomo, cadmio zinc y manganeso son extremadamente anómalos. El Co y Zn que ya habían sido medidos, mediante el método de activación neutrónica presentaron FE's anómalos (22 y 40 respectivamente) en los sedimentos de Santa Rosalía, mientras que en La Giganta el ambiente marino está empobrecido en Co (0.9) y apenas en niveles naturales para la playa. En La Giganta y Loreto los niveles del zinc son comparables a la corteza. Con lo cual se puede confirmar que las cuencas de drenaje de Santa Rosalía son la principal fuente de aporte de cobalto y zinc a los sedimentos marinos en comparación a las otras áreas estudiadas.

Otros elementos como el As, Se Sb y U (de importancia ambiental) desarrollaron importantes anomalías geoquímicas. A diferencia de los elementos anteriores, las anomalías mayores se presentan en los sedimentos de Loreto (Tabla 16). Estos elementos, según Salomons y Förstner, (1984) son derivados de materiales volcanosedimentarios que en este caso dominan los ambientes de abanico-delta de Loreto y La Giganta explorados. También los autores mencionan que éste tipo de rocas tienen alta capacidad de adsorción de Fe y óxidos de Mn, lo cual debió influir en el distrito minero de Santa Rosalía y en las áreas de comparación. Respecto a los resultados para la Laguna de La Paz (Rodríguez-Meza, 1999) y Bahía de la Paz (Rodríguez-Castañeda, 2001) se distinguen altas concentraciones de As, Se, Sb entre otros, lo cual sugiere la asociación de tales elementos a las características geológicas propias del borde peninsular.

El bario y uranio son otros elementos con FE's altos (mayores a 4). El Ba, sólo está enriquecido en Santa Rosalía, mientras que el U, presenta FE's altos en todas las áreas, el valor máximo de U se calculó para Santa Rosalía fue de 7 de y un poco más de 4 en las otras áreas. Para la región de La Laguna y Bahía de La Paz, Fonseca-Rivera, (1991) y Piper, (1994) describen ampliamente los afloramientos de rocas sedimentarias fosfatadas (fosforita) ricas en uranio y Álvarez-Arellano *et al.*, 1995 mencionan que el Ca asociado al fosfato sedimentario (carbonato-hidroxil-fluorapatita) puede ser substituido por Sr y U y otros del grupo de las ETR. Esto puede reflejar la remoción de uranio de las rocas durante los procesos de intemperismo antiguo actuando en los abanico-deltas estudiados ya que en la actualidad las capas

fosfatadas pertenecientes a la Formación Comondú no se encuentran expuestos, en el área de Santa Rosalía aunque fueron parte de la secuencia dominante del distrito minero, de La Giganta y Loreto. Por otra parte Goldschmidt (1958) y Manson (1960) reportan asociaciones de U a minerales como plagioclasas, biotita y feldespatos, que son predominantes en la mineralogía de rocas volcánicas y en sedimentarias. Los FE's normales (naturales entre 1 y 4) los presentaron los elementos mayores en los tres abanico-deltas, y también el Cr, Ni, Sr y Zr. Notablemente para La Giganta y Loreto, además se incorporan elementos como el Zn, Br, Cs, Ba remarcando la diversidad dentro de cada ambiente. Algunos de los elementos considerados empobrecidos en el área de Santa Rosalía son Br, Rb, Cs, Ta y Th, y en La Giganta y Loreto: Co, Cr, Rb, Ta y Th.

Tabla 16. Media aritmética (\bar{X}), desviación estándar (σ) y factor de enriquecimiento (FE) de los elementos mayores y oligoelementos de los sedimentos **marinos** del distrito minero de Santa Rosalía, abanico-delta de **La Giganta y Loreto**.

Elemento	Santa Rosalía Media aritmética	F.E.	La Giganta Media aritmética	F.E.	Loreto Media aritmética	F.E.
Na	2.5±1.1	2	3±0.5	3	3±0.3	4
K	1±0.8	1	2±1	3	2±1	3
Ca	5±1.8	2	5±3	3	5±1	3
Fe	4±1	1	3±0.7	1	2±0.4	1
Sc	11±3	1	8±1.5	1	8±0.9	1
Cr	60±32	1	34±20.5	0.95		
Co	207±293	16	8±2	0.92	8±1	0.93
Ni	88±55	2	59±28	2	50±13	2
Zn	1340±1697	37	48±19.5	2	50±20	2
As	4±2	4	5±3	7	6±3	9
Br	0.59±0.6	0.46	0.95±1	1	1±0.8	1
Se	2±1	69	2±1.5	120	2.5±2	141.5
Rb	20±15	0.44	24±12	0.74	22.7±17	0.71
Sr	732±433	4	426±187	3	429±193	3
Zr	171±138	2	102±53.5	2	124.8±66	2
Sb	1±0.8	11	0.95±0.4	13	1±2	20
Cs	1±0.7	0.87	2±0.8	2	1±0.7	1
Ba	1293±1618	6	322±95	2	266±147	2
Hf	2±0.8	1	2±0.8	2	1.7±0.1	2
Ta	0.44±0.35	0.43	0.34±0.2	0.45	0.23±0.1	0.32
Th	3±0.8	0.51	2.32±0.6	0.66	1.8±0.3	0.53
U	10±25	7	4.5±3	5	4.2±4.9	4

7.4.2. Comparación de los patrones normalizados de los elementos del grupo de las tierras raras con la lutita Norteamericana.

La secuencia de la concentración normalizada de los elementos de las tierras raras con la lutita Norteamericana en el distrito minero de Santa Rosalía, La Giganta y Loreto se presenta en la Figura 49. La característica principal de las curvas RNL = f (Ei) es la existencia de una anomalía positiva de la razón normalizada para el Eu con respecto a la lutita Norteamericana.

La zona de Santa Rosalía y del estero San Luciano, evidentemente, están mucho más enriquecidas en Eu, comparado con sus vecinos en el grupo de las tierras raras. Lo mismo sucede con los sedimentos costeros de La Giganta y Loreto aunque la anomalía de europio es menor. Anomalías semejantes de la razón normalizada para la lutita norteamericana fueron registradas en los núcleos de las cuencas profundas de las áreas de Santa Rosalía y Loreto (Shumilin *et al.*, 1996). Usualmente, la existencia de tales anomalías de Eu en el material suspendido particulado se explica por la contribución de la actividad hidrotermal actual, reciente o antigua (Mitra *et al.*, 1994). En el caso particular de nuestro estudio, es más probable que la mineralización hidrotermal antigua, responsable de la formación de los yacimientos minerales de cobre de Santa Rosalía, fuese la que contribuyó con los niveles altos de Eu determinados en los sedimentos. Y los niveles inferiores en La Giganta y Loreto muestran cambios en características de formación y depositación.

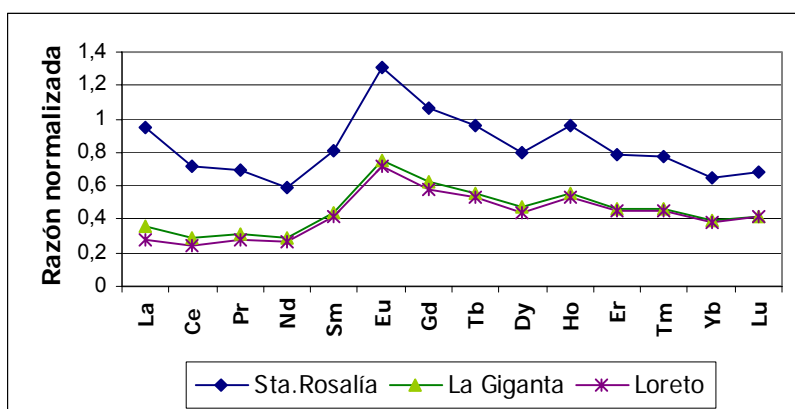


Fig 49. Comparación de la concentración normalizada de ETR con la lutita Norteamericana de los sedimentos marinos en el distrito minero de Santa Rosalía y los abanico-deltas de la Giganta y Loreto.

9. CONCLUSIONES

1. La concentración de los oligoelementos en los distintos ambientes sedimentarios continentales del área de Santa Rosalía evidenció una secuencia progresiva de acumulación: ambiente de arroyo << ambiente de playa << desechos sólidos. En los sedimentos de los arroyos las concentraciones mostraron anomalías importantes de Cu, Co, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn, As, Se, Sb, Ba, U y Hg. Sin embargo, la proporción del enriquecimiento se consideró como el nivel de referencia regional. El ambiente de playa es un sistema modificado y las anomalías principales fueron de: Cu, Co, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn, As, Se, Sr, Zr, Sb, Ba y U. Los depósitos de desechos sólidos son la fuente antropogénica principal de los oligoelementos, exhiben los valores máximos de concentración para la mayoría de los elementos analizados y las anomalías de Cu, Co, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn, Cr, As, Se, Sr, Zr, Sb, Ba, U y Hg son las de mayor magnitud.
2. En el medio ambiente marino las anomalías relevantes fueron de Cu, Co, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn, As, Se, Sr, Ba y U. No obstante, se encontraron por debajo de los niveles detectados en el ambiente continental (arroyo, playa y desechos sólidos).
3. El distrito minero de Santa Rosalía es una fuente de contaminación por oligoelementos al ambiente marino adyacente, concentrados en puntos calientes o hot spot en: a) la dársena de Santa Rosalía, b) la desembocadura del arroyo el Boleo y c) la desembocadura del estero San Luciano.
4. El enriquecimiento de oligoelementos en los distintos ambientes de depósito del distrito minero cuprífero de Santa Rosalía se explica como: (1) un rasgo geoquímico típico del borde peninsular y Golfo de California incrementado por el emplazamiento de los depósitos minerales, y (2) por el efecto antropogénico que incorporó metales y metaloides en exceso derivados de las actividades de

extracción y fundición del mineral de cobre así como del manejo de los residuos mineros.

5. La persistencia de las anomalías de Cu, Co, Pb, Cd, Cr y Mn en los abanico-deltas prístinos de La Giganta y Loreto indicó la relación geoquímica cercana con el área de Santa Rosalía y por lo tanto el origen natural de los elementos. Así como la menor magnitud del enriquecimiento confirmó el efecto del yacimiento mineral y de las actividades antropogénicas en Santa Rosalía.
6. El mayor enriquecimiento de As, Se y Sb en los sedimentos de La Giganta y Loreto en comparación con Santa Rosalía significa otra posible fuente de aporte debida a las variaciones propias de la litología que no ha sido identificada y que requiere investigaciones futuras.
7. Los ETR ligeros e intermedios se encontraron fuertemente enriquecidos en el ambiente de playa y en los depósitos de los desechos sólidos y en menor proporción los elementos de las tierras raras pesados. La principal característica es la anomalía positiva de Eu.
8. Las anomalías de los principales oligoelementos y de elementos de las tierras raras evidenciaron la influencia de los procesos vulcanogénicos-hidrotermales como el origen natural de los elementos en el distrito minero de Santa Rosalía.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Achterberg E., Braungardt C., Morley N. H., Elbaz-Poulichet F., Leblanc M., 1999. Impact of Los Frailes mine spill on riverine, estuarine and coastal waters in southern Spain. *Wat. Res.* **33**: 3387-3394
- Aguayo, C. E., 1981. Origen y distribución de sedimentos en el Golfo de California. *Rev. Inst. Mex. Petróleo*, 13:5-18.
- Álvarez-Arellano, A., y Páez-Osuna, F., 1995. Estudio geoquímico de siete muestras de las formaciones fosfáticas del sur de la península de Baja California, México. *Geofísica Int.*, 34 (4), 411-416.
- Anikiev V.V., Dudarev O.V., Said M.A., Botsul A.I., Utkin I.V. and E.N. Shumilin, 2000. Natural and anthropogenic factors in the lateral distribution of the particulate material and chemical elements in water of the Nile River foredelta and adjacent area of the Mediterranean Sea. *Geochem. Internat.*, **38**: 69-81
- Anikev V.V., Botsul A.I., Dudarev O.V., Kolesov G.M., Sapozhnikov D.Yu., and Shumilin E.N., 2001. Distribution, fractionation, and fluxes of the rare-earth elements in the suspended matter-bottom sediment system in the Mekong and Saigon River estuaries, South China Sea. *Geochem. Internat.*, **39**: 897-907
- Anónimo, 1996. Estudio ambiental básico. Proyecto minero El Boleo Santa Rosalía, Baja California Sur. Minera Curator, S.A. de C.V.
- Astakhov, A.S., 1996. The geochemical differentiation of recent sediments during deposition in East-Asian marginal seas. Abstracts of papers presented at the 30th International Geological congress, 2:219.
- Balls, P.W., Hull, S., Miller, B.S., Pirie, J.M. and Proctor, W. 1997. Trace Metal in Scottish Estuarine and coastal sediments. *Mar. Pollut. Bull.*, 34, 1, 42-50.
- Bernhard, M. and A. Zattera, 1973. Major Pollutants in the Marine Environments. In: *Marine Pollution and Marine Waste Disposal*. E. A. Pearson and d. Frangipane-Eds. Proc. Intern. Cong.
- Boop, F. and R.B. Biggs, 1981. Metals in estuarine sediments: Factor Analysis and its environmental significance. *Science*. 214: 441-443.
- Bryan, G. W. Y W. J. Langston. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review. *Environ. Pollut.* 76: 89-131.
- Brunland, K. W., Bertine, K., Koide, M., Goldberg, E.D. 1974. History of metal pollution in southern California Coastal zone. *Environ. Sci. Technol.* 8, 425- 432.
- Brunland, K. W., Coale, K. H., Mart, L. 1985. Analysis of seawater for dissolved cadmium, copper and lead : An inter-comparison of voltametry and atomic absorption methods. *Marine Chem.* 17: 285-300.
- Calvert, S. E., Price, N. B. 1983. Geochemistry of Namibian shelf sediments. In: *Coastal upwelling its sediment record part a: responses of the sedimentary regime to present coastal upwelling*. 337-375 p.
- Campbell, J. A., Loring, D. H., 1980. Baseline levels of heavy metals in the waters and sediments of Baffin Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 11, 257-261.

- Canseco, A.A., M.G. Villaseñor, V. M. Islas, A. Victoria, A. Gómez, R. Rivera y E. Enríquez. 1997. Estudio geoquímico de la Veta Regina, Tayoltita Durango. *Actas INAGEQ*, 39-48.
- Cossa, D. 1990. Chemical Contaminants in the St. Lawrence Estuary and Saguenay Fjord. *Coastal and Estuarine Studies*, 39: 239-267.
- Cossa, D., Michel, P., Noel, J. And Auger, D. 1992. Vertical mercury profile in relation to arsenic, cadmium and copper at the eastern North Atlantic ICES reference station. *Oceanologica acta*, 57, 603-608.
- Courtois, C., Hoffert, M. 1977. Distribution des terres rares dans les sédiments superficiels du Pacifique sud-est. *Bull. Soc. Géol.* 1245-1251.
- Chester, R., 1990. *Marine geochemistry*. Unwin Hyman Ltd., USA, 698 pp.
- Clark R.B., 1997. *Marine pollution*, Clarendon Press, Oxford, 161pp.
- Crececius, E. A., R. G. Riley, N. S. Bloom, and B.L. Thomas. 1985. History of contamination of sediments in Commencement Bay, Tacoma, Washington. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NOS OMA 14,44 p. In: Meador, J. P., Clark, R. C., Robisch, P. A., Ernest, D. W., Landahl, J.T., Varanasi, Sin-Lam Chan, and McCain, B. National Benthic Surveillance Project: Pacific Coast. Analyses of Elements in Sediment and Tissue Cycles I to V (1984-88). 1994. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-16. 205 p.
- Crececius, E.A., J.H. Trefry, M.S. Steinhauer and P.D. Boehm, 1991. Trace metals in sediments from the inner continental shelf of the western Beaufort Sea. *Environ. Geol. Water Sci.*, 18: 71-79.
- Daesslé, L.W., 2000. Geochemistry of surficial sediments from Sebastián Vizcaíno Bay, Baja California. *Journal of coastal Research*, 16 (4), 1133-1145.
- Daesslé Heuser, L.W., 1993. Geoquímica y sedimentología de elementos de tierras raras en fosforitas marinas de Bahía Vizcaino, Baja California, México. Tesis de licenciatura. U.A.B.C. Ensenada, B.C., pp.87.
- Danielsson, A., 1998. Spatial Modeling in Sediments. p.64.
- Daoust, J.R., T.R. Moore, G.L. Chmura and J.F. Magenheimer, 1996. Chemical evidence of environmental changes and anthropogenic influences in a Bay of Fundy. *Journal of Coastal Research* 12 (2):520-533.
- Daskalakis, K.D. y T.P. O'Connor., 1995. Normalization and elemental sediment contamination in the coastal United State. *Environ. Sci. Technol.*, 29: 470-477.
- Demant, A., 1981, Plio-Quaternary volcanism of the Santa Rosalía area, Baja California, Mexico, in L. Ortlieb and J. Roldan, eds., *Geology of northwestern Mexico and southern Arizona, field guides and papers*: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, México, p. 295-307.
- Demant, A., 1984^a, The Reforma caldera, Santa Rosalía area, Baja California: a volcanological, petrographical and mineralogical study, in V.M. Malpica et al., eds., *Symposium on Neotectonics and sea level variations in the Gulf of California area (Hermosillo, 1984)*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México, D.F., p. 75-96.
- Demant, A., 1984, La caldera de la Sierra de la Reforma, Baja California, México: características principales y significación geodinámica (abs.), *Symposium on Neotectonics and sea level variations in the Gulf of California area (Hermosillo, 1984)*: Universidad nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México, D.F., Abstracts volume, p. 15-16.

- Demant, A., and L. Ortlieb, 1981, Plio-Pleistocene volcano-tectonic evolution of La Reforma caldera, Baja California, Mexico (abs.) in P. Vyskocil, R. Green, and H. Malzer, eds., Recent crustal movements, 1979: Amsterdam Elsevier, Developments in geotectonics, v.16, p. 194.
- De Baar, H.J., M. Bacon, P. Brewer and K. Bruland, 1985. Rare earth elements in the Pacific and Atlantic Oceans. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 49: 1943-1959.
- De Carlo, E.H., X. Y. Wen, J.P. Cowen and N. Exon, 1996. Fractionation of rare earth element in Fe-Mn crusts: the influence of surface complexation and carbonate speciation in seawater. Abstract of papers presented at the 30th International Geological Congress. 2:238.
- De La Lanza, E. G. Y Cáceres, M.C. (Eds.) 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México. 525 pp.
- DelValls, T.A., J.M.Forja y A. Gómez. 1977. El uso del análisis multivariante en la unión de datos de toxicidad y contaminación para establecer guías de calidad de sedimentos: un ejemplo de la Bahía de Cádiz (España). *Ciencias Marinas.* 24: 127-154.
- Douglas, G.B., Adeney, A. J. 2000. Diagenetic cycling of trace elements in the bottom sediments of the Swan River Estuary, western Australia.
- Dossi, P. And L.J. Warren, 1980. Distribution of heavy metals between the minerals and organic debris in a contaminated marine sediment. En: Baker, R. A., Editor. Contaminants and sediments. Fate and transport, case studies, modeling, toxicity. Ann Arbor Science, USA, 119-139.
- Duce, R.A., J.G. Quinn, S.E. Olney, S.R. Piotrowicz, B.J. Ray and T.L. Wade., 1972. Enrichment of heavy metals and organic compounds in the surface microlayer of Narragansett Bay, Rhode Island, *Science*, 176(4031):161-163.
- Escandón, V.F. 1995. Génesis de los Yacimientos Polimetálicos del Boleo, Santa Rosalía, Baja California sur. Academia Mexicana de Ingeniería. México. 24
- Elbaz-Poulichet F., Leblanc M., 1996. Transfert de métaux d'une province minière à océan par des fleuves acides (Rio Tinto, Espagne). *C.R.Acad.Sci.Paris*, 322, série Ila, 1047-1052. Número 166.
- Estudio ambiental básico. Proyecto Minero El Boleo Santa Rosalía, Baja California Sur. 1996. Minera Curator, S.A. de C.V.
- Elbaz-Poulichet, F., Dupuy, C. 1999. Behaviour of rare earth elements at the freshwater-seawater interface of two acid mine rivers: the Tinto and Odiel (Andalucia, Spain). *Applied Geochemistry.* 1063-1072.
- Fife, D.L., 1974, Reconnaissance geology of the Bahía de Santa Rosalía quadrangle, Edo. de Baja California, Mexico, in G. Gastil and J. Lillegraven, eds., Geology of Peninsular California: AAPG, SEPM, and SEG, Pacific Sections, 49 th Annual Meeting, p. 91-106
- Finney, B., Huh, C. 1989. History of metal pollution in the southern California bight: An update. *Environ. Sci. Technol.* 23, 294-303.
- Fonseca-Rivera, C. 1991. Variaciones petrológicas en la fosforita de la capa Humboldt con respecto a su espesor, Formación San Gregorio, San Juan de La Costa, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. 126 p.
- Förstner, U., 1979. Metal pollution in aquatic environmental. Springer, Berlin Heidelberg New York, 486 pp

- Förstner, U., 1980. Inorganic pollutants, particularly heavy metals in estuaries. In: Olausson, E. y I. Cato, editors. Chemistry and biogeochemistry of estuaries. John Wiley y Sons., USA, 452 p.
- Flury, B. and H. Riedwyl. 1988. Multivariate statistics- A practical approach. 296 pp.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen. 4ª De. FOCET Larios, México. En: Anónimo, 1996. Estudio ambiental básico. Proyecto minero El Boleo Santa Rosalía, Baja California Sur. Minera Curator, S.A. de C.V.
- Gastil, G., Morgan, G. And Krummenacher, D., 1978. Mesozoic history of Peninsular California and related areas east of the Gulf of California. In: Howell, D.G. and McDougall, K.A. (eds.), Mesozoic paleogeography of the western United States. SEPM, Pacific Coast Paleogeography Symposium 2: 107-115.
- Godínez-Orta, L., E. Shumilin, D. Sapozhnikov y D. Rodríguez-Meza, 1997. Características litológicas geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, B.C.S. Actas INAGEQ, 3: 225-233.
- Godfrey, L.V., R. Mills, H. Elderfield and E. Gurchich, 1994. Lead behaviour at the TAG hydrothermal vent field, 26° N, Mid-Atlantic ridge. *Mar. Chem.* 46: 237-254.
- Goldschmidt, V.M. 1958. Geochemistry. Oxford, University Press, 730 pp.
- Graves, M.J. Elderfield, H., Sholkovitz, E. R. 1999. Aeolian sourcer of rare earth elements to the western Pacific Ocean. *Marine Chemistry*, 31-38.
- Gray J.E., Crock J.G., D.L.Fey, 2002. Environmental geochemistry of abandoned mercury mines in west-central Nevada, USA. *Appl. Geochem.*, 17:1069-1079.
- Green-Ruíz, C. 1996. Geoquímica de sedimentos de la laguna costera subtropical Altata-Ensenada del Pabellón sinaloa, México. Tesis de Maestría. U.N.A.M. Mazatlán, Sinaloa. México. 183 p.
- Green-Ruíz, C. y H. Larrinaga-Cunningham. 1986. Sedimentología y geoquímica de La Laguna de La Paz, B.C.S. Tesis de Licenciatura. U.A.B.C.S. 83p.
- Green, Ruíz. C. y F. Páez-Osuna, 1997. Factor de enriquecimiento e indice de geoacumulación de metales pesados en sedimentos de la laguna subtropical Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México. Actas INAGEQ. 3:326.
- Green, Ruíz. C. y F. Páez-Osuna, 2001. Heavy metal anomalies in lagoon sediments related to intensive agricultura in Altata-Ensenada del Pabellón coastal system (SE Gula of California). *Environment international* 26 (2001) 265-273.
- Greig, A. R., R. N. Reid y D. Wenzloff. 1977. Trace metal concentrations in sediments from Long Island Sound. *Mar. Poll. Bull.* 8: 183-188.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., G. Flores-Muñoz, V. Ortega-Lara y J. A. Villaescusa-Celaya, 1994. Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza Baja California (México)-California (EUA). *Cienc. Mar.* 20: 105-124.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., G. Flores Muñoz, J.A. Villaescusa Celaya, and Arreola Chimal, 1994b. Spatial and temporal variations os arsenic and selenium in a biomonitor (*Modiolus capax*) from the Gulf of California, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 28:330-333.
- Goryachev. N.A., Kot, F.S. 1997. Trace metals in bottom sediments of the southwest sea of Okhotsk. In: Sapozhnikov W (Ed) Complex Investigations of the Sea of Okhotsk, All Russian Fisheries Research Institute, Moacow p. 188 (in Russian)

- Hausback, B.P. 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, México. In: V.A. Frizzell Jr. (Ed). *Geology of the Baja California Peninsula*. Pacific Section, SEPM. 39: 219-236.
- Heim, A., 1922. Notes on the Tertiary of southern Lower California. *Geol. Mag.*, 59(702): 529-547. In: Nava-Sanchez, E.H., 1997. Modern fan deltas of the west coast of the Gulf of California, Mexico. Tesis degree doctor of philosophy (Geological Sciences) 219 p.
- Howard, A.G., Apte, S.C., Comber, S.D.W., and Morris, R. J.1988. Biogeochemical control of the summer distribution and speciation of arsenic in the Tamar Estuary.
- Hugh McLean, B.P., Hausback and J.H. Knapp. 1987. The geology of west-central Baja California Sur, México. U.S. *Geological Survey Bulletin* 1579: 1-16.
- INE. 1994. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Jarvis K.E., Gray A.L., Houk R.S.1996. Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Blackie academic & Professional, Great Britain. 380 pp.
- Jensen, A.B., B. Rystad and S. Nelson. 1976. Heavy Metal Tolerance of Marine Phytoplankton. II. Copper tolerance of Three Species in Dialysis and batch cultures. *J.Exp. Mar. Biol. Ecol.* 22:249-256.
- Jensen, M.L., Bateman, A.M. 1981. Economic mineral deposits. 593 p.
- Johns, C., S. Louma y V. Elrod. 1988. Selenium accumulation in benthic bivalves and fine sediment of San Francisco Bay, the Sacramento-San Joaquin Delta, and selected tributaries. *Estuar. Cstl. Shelf sci.* 27: 381-396.
- Jonnalagadda, S. B. And P.V.V. Prasada Rao. 1993. Toxicity, bioavailability and metal speciation. *Comp. Bioche.* 105 (3): 585-595.
- Keeney, K. W. and Presley, B. J.1986. The Geochemistry of trace metals in the Brazos River Estuary. Ph. D. dissertation. Texas A&M University. Academic Press Inc. London. 459-477.
- Kolesov, G.M. and V.V. Anikiev, 1997. Determination and distribution of elements in suspended matter and bottom sediments from the estuaries of the Sea of Japan, the East China Sea, the South China Sea and Bering Sea. *J. Radional. Nucl. Chem.* 216:299-308.
- Kot, F.S., C. Green-Ruiz, F. Pérez-Osuna, E. N. Shumilin and D. Rodríguez-Meza. 1999. Distribution of mercury in sediments from La Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 63: 45-51.
- Knoppers, B. A., Lacerda, L.D. and Patchineelam, S.R. 1990. Nutrients, heavy metals and organic micropollutants in an eutrophic Brazilian lagoon. *Marine Pollution Bulletin.* 21(8): pp. 381-384.
- Larson, R.L., 1972. Bathymetry, magnetic anomalies and plate tectonics history of the mouth of the Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 3345 – 3360.
- Lisitsyn A.P., 1996. Oceanic Sedimentation . American Geophysical union, Washington, D.C., p 400.
- Ljutsarev, S.V., 1987. La determinación del carbono orgánico en los sedimentos marinos por oxidación seca. *Okeanology (Soviet Oceanology)*, 26(4): 704:708.
- Loring, D.H., 1991. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES J. Mar. Sci.*, 48: 101-115.

- Loring, D.H., Naes, K., Dahle, S., Matishov, G.G., Illin, G. 1995. Arsenic, trace metals, and organic micro contaminants in sediments from the Pechora Sea, Russia. *Mar. Geol.*, 128: 153-167.
- Loring, D. H. and Rantala, R. T. T., 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter *Earth-Science Review*, 32: 235-283. En: Soto, J. M.F., 2002. Procesos geoquímicos de metales y nutrientes en ambientes sedimentarios del sistema Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa. Tesis de Doctorado, Instit. Ciencias Mar Limnol. UNAM, est. Mazatlán. 205 pp.
- Lyle, M. and G. E. Ness, 1991. The opening of the southern of the Gulf of California. In: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit (Eds.). *The Gulf and Province of the Californias. AAPG. Memoir 47* : 403-423.
- Macdonald R.W., Macdonald D.M., O'Brien M.C., Gobeil C., 1991. Accumulation of heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cd), carbon and nitrogen in sediments from the Strait of Georgia, B.C., Canada. *Mar.Chem.*, 34: 109-135. Número 22.
- Macdonald, R.W. and T. F. Pedersen, 1991. Geochemistry of sediments of the western Canadian continental shelf. cont. *Shelf Res.* 11: 717-735.
- Macdonald R.W. and Crecelius E.A., 1994. Marine sediments in the Strait of Georgia, Juan de Fuca Strait and Puget Sound: what can they tell us about contamination? *Symposium on the Marine Environment*, pp. 101-136. Número 23
- McFall, C.C., 1968. Reconnaissance geology of the Concepción Bay area, Baja California, México. *Stanford Univ. Pub. Geological Sci.*, 10(5): 25pp. In: Nava-Sanchez, E.H., 1997. Modern fan deltas of the west coast of the gulf of California, Mexico. Tesis degree doctor of philosophy (Geological Sciences) 219 p.
- Mandelli, E.F., 1979. Contaminación por metales pesados. *Rev. Com. Perm. Pacifico Sur.* 10: 209-228.
- Martin, J.M., D.M. Guan, D.M., Elbaz-Poulichet, F., Thomas, A. J., Gordeev, V.V., 1993. Preliminary assessment of the distributions of some trace elements (As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn) in a pristine aquatic environment: the Lena River estuary (Russia). *Marine Chemistry.* 43:185-199.
- Mason, B. 1960. *Principios de Geoquímica.* Omega. Barcelona. 333 p.
- Matthai, C. and Birch, G. 2001. Detection of anthropogenic Cu, Pb and Zn in continental shelf sediments off Sydney, Australia- a new approach using normalization with cobalt. *Mar. Poll. Bull.* 42, No. 11, pp. 1055-1063.
- Meador, J. P., Clark, R. B., Robisch, P. A., Ernest, D. W. Landahl, J. T. Varanasi, U., Chan, Sin-Lan and McCain, B. National Benthic Surveillance Project: Pacific Coast. Analyses of Elements in Sediment and Tissue Cycles I to V (1984-88). NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-16. 205 p.
- Meyerson, A.L. G. Luther, J. Krajewski and R.I. Hires. 1981. Heavy metal distribution in Newark Bay sediments. *Mar. Poll. Bull.* 12: 244-250.
- Mina, U.F., 1970. Bosquejo geológico de la parte sur de la península de Baja California. En: *Geología general de la parte sur de la península de Baja California. Depósitos continentales y volcánicos del Cenozoico Superior y marinos del Inferior, así como sedimentos marinos del Cretácico Superior, características fisiográficas y efectos de intemperismo en la región desértica.* Congreso Geológico Internacional. Libro-guía de la expedición A-7. P. 9-42.

- Miranda-Avilés R. 2002. Etude geologique coparee des bassins de Santa Rosalía (Basse Californie du Sud, Mexique) et de Mendibelza (Pyrenees, France). These de Doctorat. Université de Bordeaux I, 235 pp.
- Mitra, A., Elderfield and M.J. Greaves, 1994. Rare earth elements in submarine hydrothermal fluids and plumes from the Mid-Atlantic ridge. *Mar. Chem.*, 46: 217-235.
- Monografía Geológico-Minera del Estado de Baja California Sur., 1999. Consejo de Recursos Minerales. 237 p.
- Molnar, P., 1973. Fault plane solutions of earthquakes and direction of motion in the Gulf of California and on the Rivera Fracture Zone. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84: 1651-1658.
- Morse, J.W., B.J. Presley and R. J. Taylor, 1993. Trace metal chemistry of Galveston Bay: Water, sediments and biota. *Mar. Environ. Res.*, 36: 1-37.
- Nance, W.B. and S. R. Taylor. 1977. Rare earth element patterns and crustal evolution –II. Archean sedimentary rocks from Kalgoorlie, Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 41: 225-231.
- Nava Sánchez, E. H., Gorsline, D. S. and Molina-Cruz, A. 2001. The Baja California peninsula borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sedimentary Geology.* 144: 63-82.
- Nava Sánchez, 1997. Modern Fan Deltas of the West Coast of the Gulf of California, Mexico. Dissertation for requirements for the Degree Doctor of Philosophy. Geological Sciences. pp. 229.
- Ortíz, G.A. y A. Carranza, 1997. Los sedimentos como receptores potenciales de metales: estudio de aplicación en el río Coatzacoalcos, Veracruz. *Actas INAGEQ.* 3:337.
- Osuna-López, J.I., Páez-Osuna, F., 1986. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. *Ciencias Marinas.* 12, 2. 35-45.
- Ortega-Osorio, A., Páez-Osuna, F. 1989. Composición geoquímica y mineralógica de los depósitos hidrotermales de la dorsal del Pacífico Mexicano (21°N) y la cuenca de Guaymas. *Geofísica Int.*, 28(4), 737-762.
- Osuna-López, J.I. F. Páez-Osuna, C. Marmolejo-Rivas y P. Ortega-Romero. 1989. Metales pesados disueltos y particulados en el Puerto de Mazatlán, *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol.UNAM*, 16: 307-320.
- Páez-Osuna, F., Fong-Lee, M.L. & Fernández-Pérez.1984. Heavy metals & mineralogy in sediment cores from a tropical coastal lagoon, Mexico. *Indian Journal of Marine Sciences.* 13: 153-158.
- Páez-Osuna, F., Botello A.V., Villanueva, S. 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin.*
- Páez-Osuna, Osuna-López, J.I.1987. Acumulación de metales pesados en Mitla: Una laguna costera tropical. *Ciencias Marinas*; 13 (3) : 97-112.
- Páez-Osuna, F. Osuna-López, J.I. 1989. Metales pesados en fragmentos de basalto de la boca del Golfo de California. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 16(1):183-188.
- Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I. 1987. Acumulación de metales pesados en Mitla: una laguna costera tropical. *Ciencias Marinas*; 13 (3): 97-112.
- Páez-Osuna y J.I. Osuna. 1990. Aspectos genéticos de los sedimentos marinos de la boca del Golfo de California evidenciados por la geoquímica de sus metales. *Geofísica Internacional.* 29: 47-58.

- Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I. 1990. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gulf of California. *An. Inst.Cienc.Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 17 (2) 287-298.
- Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I. 1991. Diagénesis temprana de metales pesados en sedimentos del Pacífico adyacente a la boca del Golfo de California, México. *Geofísica Int.*, 31(3), 289-304.
- Páez-Osuna, F., Bojorquez-Leyva, H., 1991. Accumulation and distribution of phosphorus in sediments of the Gulf of California. *Marine Mining*, 10, 285-301.
- Pattan, J.N. and V.K. Banakar. 1993. Rare earth element distribution and behavior in buried manganese nodules from the central Indian Basin. *Mar. Geol.* 112: 303-312.
- Phillips, D.J. 1977. The Use of biological Indicator Organisms to Monitor Trace Metal Pollution in Marine and Estuarine environments- a review. *Environ. Poll.* 13: 281-315.
- Piper, D. Z. 1991. Geochemistry of a tertiary sedimentary phosphate deposit: Baja California Sur, México. *Chemical Geology*. 92: 283-316.
- Piper, D.Z. 1994 Seawater as the source of minor elements in black shales, phosphorites and other sedimentary rocks. *Chem. Geol.* 114: 95-114.
- Quintanilla, M. A. Y F. Suárez . 1996. Cerro Prieto y su correlación con los centros de dispersión del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 22: 91-110.
- Rautet, G., Rubio, R., López-Sánchez, J. F. And Casassas, E., 1988. Determination and speciation of Copper of a river Mediterranean (River Tenes, Catalonia, Spain). *Wat. Res.*, 22: 449-455. En: Soto, J. M.F., 2002. Procesos geoquímicos de metales y nutrientes en ambientes sedimentarios del sistema Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa. Tesis de Doctorado, Instit. Ciencias Mar Limnol. UNAM, est. Mazatlán. 205 pp.
- Rodríguez-Castañeda, A.P. 2001. Elementos mayores y traza en sedimentos y macroalgas de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. 179 p.
- Rodríguez-Meza, G. 1999. Elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-I.P.N. 163 p.
- Rodríguez-Figueroa, G., Shumilin, E., Páez-Osuna, F., Nava-Sánchez, E., Sapozhnikov, D. 1998. Ocurrencia de metales y metaloides en sedimentos superficiales de cuatro abanico-deltas de la costa oriental de Baja California sur. *Actas INAGEQ* 4: 43-50.
- Rosas-Cota, A. 1977. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 metros, durante las estaciones de invierno y verano. *CalCOFI Rep.*, 19:89-106 En : Estudio ambiental básico. Proyecto Minero El Boleo Santa Rosalía, Baja California Sur. 1996. Minera Curator, S.A. de C.V.
- Romero-Bañuelos, C.A. 2003. Hidrología y metales pesados en la materia particulada suspendida del agua superficial de la porción sur de la bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. 100 p.
- Romero-Vargas, I.P. 1995. Metales pesados y su fracción química en sedimentos de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de Maestría . U.A.B.C. México. 86p.
- Rosales-Hoz, L., Carranza and v. Álvarez. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan river, México. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnología. UNAM*. 13: 263-272.

- Ross, T.S. and S. McLennan. 1985. The Continental Crust: its composition and evolution: An examination the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Geoscience Texts. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Rollinson, H. R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. John Wiley and sons, inc., New York.
- Ruiz-Fernández, A. C. Hillaire-Marcer, C. Ghaleb, B. Soto-Jiménez, M. Páez-Osuna, F. Recent sedimentary history of anthropogenic impactos on the Culiacan River Estuary, northwestern Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients. *Environmental Pollution* 118 (2002) 365-377.
- Ruiz-Fernández, A. C. Hillaire-Marcer, C. Ghaleb, B. Soto-Jiménez, M. Páez-Osuna, F. Historical trends of metal pollution recorded in the sediments of the Culiacan River Estuary, Northwestern Mexico. *Applied Geochemistry* 18 (2003) 577-588.
- Rule, J.P. 1986. Assessment of trace element geochemistry of Hampton Roads Harbor and lower Chesapeake Bay area sediments, *Environ Geol water Sci* 8: 209-219 In: Covelli, G.F. 1997. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Environ Geology* 30(1/2) 34-45 pp.
- Salomons, w. And U. Förstner. 1984. Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. 349 p.
- Sawlan, G.M. and Smith, G. J. 1984. Petrologic characteristics, age and tectonic setting of neogene volcanic rocks in Northern Baja California Sur, México. In: Frizzell Virgil A. Jr., Ed. *Geology of the Baja California Peninsula; Pacific section*. S.E.P.M. Vol. 39, p. 237-250.
- Schoer, J. U., Nagel, U., Eggensgluess, D., Forstner, U. 1982. Metal contents in sediments from the Elbe, Weser, and Ems estuaries and from the German Bight (southeastern North Sea). *Mitt. Geol-Paleontol. Inst. Univ. Hamburg*. 52: 687-702. (SCOPE/UNEP).
- Sharma, S., 1996. Applied multivariate techniques. 493pp.
- Sholkovitz, E.R., 1995. The Aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries. *Aquatic Geochemistry*. 1: 1-34.
- Sholkovitz, E.R. and D.L. Schneider. 1991. Cerium redox and rare earth elements in the sargasso Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 55: 2737-2743.
- Shumilin, E., L. Godínez-Orta, R. Cruz-Orozco, D. Sapozhnikov, S. Solís-Nuñez, Y. Sapozhnikov, 1996. Características litológico-geoquímicas de los sedimentos superficiales de Bahía Concepción. *Actas INAGEQ*, 2: 79-84.
- Shumilin E.N., Mironenko M.V., Ryzhenko B.N., Grajeda Muñoz M. , 2003. Speciations of trace elements in brines from the concentration ponds of Exportadora de Sal, Guerrero Negro, Baja California Sur, Mexico. *Geochemistry International*, 41,295-304. Número 760.
- Shumilin E.N., Nava-Sanchez E., Sapozhnikov D., Kalmykov S. , Godínez-Orta L., 1999. Sedimentary records of recent environmental conditions along the eastern coast of the Baja California peninsula, Mexico. In: 10th Symposium on Global Change Studies, 10-15 Jan 1999, Dallas, TX, by AMS, Boston, MA, pp.69-72. Número 629.
- Shumilin E., F Páez- Osuna, C.Green- Ruiz, D.Sapozhnikov, G.Rodríguez- Meza & L.Godínez-Orta, 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Mar.Pollut.Bull.*,42: 174-178. Número 609.

- Shumilin E.N., Rodríguez-Figueroa G., Morton Bermea O., Lounejeva Baturina E., Henández E., Durga Rodríguez Meza G., 2000b. Anomalous trace element composition of coastal sediments near the copper mining district of Santa Rosalía, Peninsula of Baja California, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 65, 261-268. Número 425.
- Soto, J. M.F., 2002. Procesos geoquímicos de metales y nutrientes en ambientes sedimentarios del sistema Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa. Tesis de Doctorado, Instit. Ciencias Mar Limnol. UNAM, est. Mazatlán. 205 pp.
- Subramanian, V., 1993. Phosphorus, silicon and some trace contaminants in the Ganges Estuary. *Estuaries*, 16: 453-458.
- Sturgeon, R., Berman, Sh. S. 1987. Sampling and storage of natural water for trace metals. *C.R.C. Crit. Rev. Anal. Chem.* 18: 209-244.
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 28; 1273-1255.
- Taylor S.R., McLennan S.M., 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publications, Oxford Blackwell Sci. Publ. 312, p.30. REEs in shales. Número 428.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. The Continental crust: its composition and evolution. *Geoscience Texts*.
- Tkalin, A.V., B.J. Presley and P. N. Boothe, 1996. Spatial and temporal variations of trace metals. *C.R.C. Crit. Rev. Anal. Chem.* 18; 209-244.
- Tkalin A.V., Presley B.J., Boothe P.N., 1996. Spatial and temporal variations of trace metals in bottom sediments of Peter the Great Bay, the Sea of Japan. *Environ. Pollution*, 92: 73-78.
- Villanueva y Botello 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 8: 47-61.
- Villanueva, S., Botello, V.A., Rodríguez, P. & González, A. 1996. Metals in coastal systems from The Gulf of Mexico. International Conference on Pollution processes in coastal environments. Mar del Plata, Argentina. 426-430.
- Villanueva y Celaya 1997. Metales pesados en la fracción geoquímica de sedimentos de la región fronteriza de Baja California, México, y California, EUA. *Ciencias Mar.* 23: 43-70.
- Villanueva F.S., Botello A.V. 1998., Metal pollution in coastal areas of México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 157, 53-94.
- Villanueva, F. S., Páez-Osuna, F. 1996. Niveles de metales en el Golfo de México: agua, sedimentos y organismos. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 5, 309- 347 p.
- Velinsky, D. J., Wade, T. L., Schlekat, C.E., McGee, B.L. and Presley, B.J. Tidal river sediments in the Washington, D.C. Area. I. Distribution and sources of trace metals. 1994. *Estuarine Research Federation.* 17:2, p. 305-320.
- Voutsinou-Taliadouri, F., y Varnavas, S.P. 1995. Geochemical and sedimentological Patterns in the Thermaikos Gulf, North-west Aegean Sea, Formed from a Multisource of Elements. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.*, 40, 295-320.
- Windom, H.L., S.J. Schropp, F.D. Calder, J.D. Ryan, R. G. Smith, L.C. Burney, F. S. Lewis and C. H. Rawinson, 1989. Natural metal concentration in estuarine marine sediments of the southeastern United State. *Environ. Sci. Technol.* 23: 314-320.

- Wilson, I.F., 1948. Burién topography, initial structures and sedimentations in Santa Rosalía area, Baja California, Mexico: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.32, núm. 9, p. 1762-1807. En Monografía Geológico-Minera del estado de Baja California Sur. 1999. CRM., 237 pp.
- Wilson I. F. Y Rocha V. S., 1955. Geology and Mineral Deposits of the Boleo Cooper district Baja California, México. Geol. Survey Prof. Paper, 273, pp 134.
- Wittmann, G.T.W. y U. Forstner, 1975. Metal enrichment of sediments in inland waters the Hartbeesport dam. Water SA 1: 76-82.
- Wray D.S., 1998. The impact of unconfined mine tailings and anthropogenic pollution on a semi-arid environment-an initial study of the Rodalquilar mining district, south east Spain. Environ.Geochemistry and Health, 20, 29-38. Número 620.
- Wu Z.-Y., Han M., Lin Z.-C. y Ondov J.M. 1994. Chesapeake Bay atmospheric deposition study, year 1 : sources and dry deposition of selected elements in aerosol particles. Atmospheric Environment Vol, 28, No.8, pp. 1471-1486.
- Yuan-Hui, L.,T. Hisayuki, Y. Tsuo-Sheng y Ch. Jing-Sheng. 1984. The elemental composition of suspended particles from the Yellow and Yangtze Rivers. Geochim. Cosmoch. Acta. 48: 1561-1564.

Anexo I. Concentración de elementos mayores en los sedimentos de arroyo del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Na	K	Ca	Fe
F0	2,91	1,41	6,64	10,3
F1	6,66	0,57	7,52	4,15
F2	4,02		4,24	5,89
F3	5,6		5,72	4,06
F4	5,91	1,28	8,67	4,67
F6	5,21	1,17	15,7	3,0
F7	6,0	0,41	7,61	5,09
F10	1,24		8,41	17,2
F10B	1,75		5,28	10,2
F11	3,69		3,63	6,52
F12	4,62		9,09	4,4
F13	5,65	1,67	7,74	3,94
F14	5,54	0,85	12,0	3,32
F15	3,3		6,17	5,9

Anexo II. Concentración de oligoelementos en los sedimentos de arroyo del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U	Hg
F0	8,07	38,7	54,8		1.630	102,0	0,021	0,39	25,4	325	78	3,41	4,06	335	3,08		2,93	16,8	3,16
F1	18,3	58,7	14,8	60	40	3,5	0,032	0,85	27,3	890	245		2,02	770	3,56		3,4	2,67	0,14
F2	12,3	52,0	315,8	140	1.970	36,3	0,014	2,02	33,5	485	160	1,82	2,16	1.120	2,55		3,12	31,9	0,4
F3	15,1	64,5	30,7	130	170	13,6	0,024	0,9	23,1	895	335	0,28	0,8	700	3,88	0,17	2,58	4,67	0,18
F4	17,3	109,3	17,7		70	13,7	0,14	0,8	7,84	1.395	90	0,92	0,43	600	3,28	0,71	3,38	2,46	0,18
F6	11,5	73,7	35,1	70	290	8,6	0,029	0,94	25,6	1.035	90	1,13	0,97	755	3,32	0,3	3,17	9,52	0,18
F7	18,0	67,6	32,1	230	350	2,62	0,055	1,8	33,6	970	360	0,7	3,53	835	4,45	1,55	3,62	3,7	0,17
F10	6,51	15,7	568,5	300	4.250	118,2	0,17	2,2	32,8	570	78	3,76	1,92	3.045	0,97		1,94	58,8	0,18
F10B	5,99	24,2	783,6	220	4.150	53,4	0,17	2,0	30,5	400	215	0,45	2,52	3.015	1,68		2,26	22,7	0,185
F11	14,7	55,0	303,7	140	4.530	46,2	0,053	1,1		10	210	1,33	2,34	2.085	3,2	0,43	3,58	18,4	0,2
F12	15,2	48,3	393,9		1.250	1,9	0,045	6,61	49,5	490	260	0,24	1,92	1.130	3,39	0,35	4,77	31,6	0,175
F13	13,9	62,6	24,8	140	70	12,9	0,1	1,4	49,5	905	390	0,71	3,14	680	6,09	1,03	5,9	2,3	0,16
F14	11,8	53,0	11,2	130	90	22,8	0,12	0,87	46,9	1.130	215	1,1	4,61	625	4,98	0,75	8,01	16,1	0,147
F15	10,8	42,3	294,4	190	4.420	14,9	0,059	1,1	61,8	125	80	0,64	2,85	1.420	2,47	0,056	3,37	24,7	0,26

Anexo III. Concentraciones de carbono orgánico, carbonatos, humedad relativa y CO₂ en los sedimentos de arroyo del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Corg,%	%,CO ₂	Wr,%	CaCo ₃
F0	0,98	7,32	8,3	16,63612418
F1	0,08	0,73	1,2	1,664933255
F2	0,17	3,24	4,5	7,367181794
F3	0,36	1,20	2,6	2,726147234
F4	0,13	0,97	1,4	2,216646967
F6	0,08	6,23	1,6	14,17795551
F7	0,01	2,11	2,8	4,803689773
F10	0,00	9,17	6,7	20,85485424
F10B	0,00	6,84	4,6	15,56530605
F11	0,02	2,98	6,5	6,78352508
F12	0,05	2,71	4,3	6,152963288
F13	0,03	2,73	3,1	6,209214497
F14	0,27	4,95	5,2	11,2686715
F15	0,09	4,37	5,9	9,932300621

Anexo IV. Concentración de elementos traza en los sedimentos de arroyo del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
F0	13,8	25,3	2,77	10,4	2,57	0,58	2,77	0,39	2,19	0,44	1,15	0,16	0,81	0,13
F1	21,3	41	4,99	20	5,15	1,28	5,68	0,77	4,13	0,81	2,01	0,27	1,31	0,19
F2	20	39,8	4,79	19,6	5,08	0,99	5,7	0,83	4,72	1,03	2,72	0,39	1,86	0,33
F3	17	34,6	4,09	17,5	4,73	1,19	5,55	0,82	4,78	1,05	2,77	0,42	2	0,35
F4	18	37	4,31	17,1	4,72	1,38	5,9	0,86	4,95	1,1	2,92	0,43	2,12	0,37
F6	18,5	36,7	4,3	17,9	4,61	1,08	5,98	0,89	5,1	1,16	3,18	0,47	2,52	0,42
F7	33,3	66	7,7	31	7,99	1,54	9,42	1,41	8,02	1,77	4,88	0,67	3,8	0,59
F10	68,7	120	12	43,1	10,1	2,9	11,4	1,73	9,52	2,03	5,55	0,78	4,21	0,64
F10B	53	95,5	9,53	34,5	7,79	1,67	8,9	1,3	7,32	1,59	4,22	0,59	3,13	0,5
F11	61,3	104,5	10,4	37,5	8,71	2,71	8,6	1,15	5,9	1,16	2,75	0,37	1,72	0,25
F12	36,1	68,5	7,43	28	6,89	2,02	8,2	1,29	7,7	1,72	4,9	0,7	4,08	0,64
F13	24,4	49,6	5,99	24,7	6,8	1,61	8,3	1,22	7	1,49	4,02	0,56	2,98	0,47
F14	23,2	45,7	5,32	22	5,65	1,32	7	1,03	5,8	1,24	3,33	0,46	2,41	0,38
F15	37,6	68,1	7,02	25	5,9	1,67	6,9	1,01	5,77	1,25	3,42	0,48	2,53	0,41

Anexo V. Concentración de elementos mayores en los sedimentos de playa del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Na	K	Ca	Fe
F5	5,64		13,0	3,54
FP32	4,2		6,83	3,32
FP33	2,25		5,87	6,06
FP34	1,81		5,76	6,49
FP36	1,13		1,62	4,7

Anexo VI. Concentración de oligoelementos en los sedimentos de playa del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U	Hg
F5	14,2	112,6	62,5	10	340	16,3	0,21	2,45	10,7	955	48	0,4	1,94	675	3,65	0,36	3,66	6,68	0,16
FP32	12,3	49,0	75,8	190	360	6,3	0,012	0,36	29,9	610	220	0,93	1,97	950	4,23	1,38	4,35	11,3	0,01
FP33	9,4	69,2	690,5	480	1.970	47,6	0,068	4,3		320	440	12,1	0,43	2.750	1,45		2,67	73,8	0,04
FP34	10,6	67,2	701,9	60	2.710	41,8	0,058	0,5	24,7	975	1.100	9,0	1,5	3.365	1,27	0,98	2,73	97,9	
FP36	7,96	18,8	1.358,1	170	2.880	9,15	0,33	7,7		9.070	230	0,91	1,49	4.200	0,65	0,87	2,89	163,0	

Anexo VII. Concentraciones de carbono orgánico, carbonatos y humedad relativa en los sedimentos de playa del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Corg,%	Wr,%	CaCo3
F5	0,38	4,9	1,633057033
FP32	0,06	4,0	0,948020905
FP33	0,35	9,0	1,860465116
FP34	0,26	6,0	1,480514352
FP36	*	*	*

Anexo VIII. Concentración de elementos traza en los sedimentos de playa del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
F5	18,6	37,5	4,58	19,4	5,17	1,2	6,7	1,02	6	1,34	3,81	0,55	3,01	0,5
FP32	33,6	62,9	6,98	25,4	6,07	1,66	7,32	1,17	7,18	1,65	4,71	0,69	4,11	0,65
FP33	132	216	21,2	70	15	3,6	15,7	2,23	11,8	2,32	6	0,8	4,09	0,6
FP34	161	251	24,3	79	17,2	5,17	17,2	2,26	11,7	2,22	5,41	0,68	3,31	0,47
FP36	175	279	27,4	90,1	20,5	3,86	22	2,91	15,1	3	7,38	0,98	4,68	0,66

Anexo IX. Concentración de elementos mayores en los desechos sólidos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Na	K	Ca	Fe
F8	1,97	0,3	2,7	5,81
F8A	2,64	0,37	2,25	6,88
F8B	1,48		1,55	25,2
F9	1,91		4,61	5,69
X-1	0,99	0,52	3,32	4,7

Anexo X. Concentración de oligoelementos en los desechos sólidos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U	Hg
F8	9,58	98,9	1.731,8	*	2.200	17,1	0,14	1,9	44,4	400	110	19,6	2,95	3.685	1,04	*	3,55	184,3	*
F8A	10,4	107,1	574,0	80	2.340	19,3	0,088	3,56	11,4	1.390	410	1,15	4,75	2.250	1,53	*	3,04	48,8	0,16
F8B	4,48	750,6	652,7	1.420	1.930	107,3	0,17	3,4	17,0	8.735	390	7,16	4,16	3.455	1,41	*	0,97	104,7	*
F9	10,7	124,1	1.083,0	*	2.550	34,7	0,1	1,3	28,1	405	1.100	17,2	0,14	3.950	0,79	1,1	1,87	148,1	0,16
X-1	11,9	28,4	644,7	380	3.410	18,5	0,013	1,9	9,33	335	1.100	0,51	0,48	7.130	0,61	0,72	1,12	161,0	0,18

Anexo XI. Concentraciones de carbono orgánico, carbonatos, humedad relativa y CO₂ en los desechos sólidos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Corg,%	%,CO ₂	Wr,%	CaCo ₃
F8	0,11	2,85	6,0	6,472039047
F8A	0,19	3,03	0,1	6,890971465
F8B	0,35	3,91	0,2	8,887491737
F9	*	*	*	*
X-1	0,38	4,87	1,6	11,07769493

Anexo XII. Concentración de elementos traza en los desechos sólidos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
F8	274	449	44,5	146	32,2	6,81	31,8	4,08	20,2	3,9	9,07	1,17	5,38	0,76
F8A	79	131	12	40,2	8,96	3,25	9,36	1,36	7,67	1,61	4,33	0,59	3,1	0,49
F8B	63,9	110	11,6	42,9	10,2	2,35	10,9	1,53	8,23	1,72	4,48	0,59	3	0,46
F9	207,5	350	33,5	111	24,8	5,43	27,4	3,7	19,8	4	10	1,38	6,6	0,98
X-1	289,4	460	43,8	141	30	9,13	29	3,97	20,3	4,19	9,9	1,3	6,17	0,91

Anexo XIII. Concentración de elementos mayores en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Na	K	Ca	Fe
16	5,6	*	12	3,72
17	6	0,2	7,2	3,56
18	5,7	0,3	10	4,06
19	5,4	0,5	14	3,45
20	3,6	*	11	3,55
21	1,9	*	3,4	4,17
22	4,4	*	12	5,55
23	3,6	*	19	3,39
24	*	*	*	*
25	3,4	*	6,3	4,55
26	4,1	*	19	3,03
27	5,2	*	18	3,88
28	4,5	*	11	5,22
29	3,9	0,3	22	2,59
30	4,6	*	15	3,08
31	4,8	1	14	2,78
41	4,2	*	20	2,41
42	1,3	*	19	0,78
43	1,9	3,4	14	1,86
44	2	*	14	1,59
45	1,8	*	15	1,55
46	2,2	0,9	13	1,88
47	2,9	*	7	2,92
48	2,9	2,9	5	2,7
49	2,7	2,5	6	2,46
50	2,8	*	6,9	2,53
51	2,9	*	5	2,92
52	1,1	*	5,4	1,24
53	2,7	*	5,9	2,99
54	2,5	*	5,6	1,1
55	0,9	*	6,1	4,85
56	2,5	*	10	2,41
57	2,7	*	7,1	3,75
58	0,8	0,5	1,6	4,66
59	2,2	*	7,1	3,42
60	2,2	*	5,3	3,72
61	0,9	*	3,9	4,46
62	2,2	*	8,4	3,48
63	2,2	*	7,1	3,17
64	1,9	*	10	2,65
65	2,2	*	5,7	3,31
66	2,4	*	8,2	2,75
67	2,2	*	6,8	2,96
68	2,3	3,9	5,6	3,01

Muestra	Na	K	Ca	Fe
69	1,9	3,2	8,8	2,99
70	2,1	*	7,2	3,5
71	2,2	*	7,1	2,89
72	2	*	7,2	2,57
73	2,1	2,5	5,7	2,46
74	2,1	*	9,2	2,03
F 101	4,3	1,2	10	3,52
F 102	4,5	4,9	8,8	3,58
F 103	3,8	*	13	4,23
F 104	4,1	4,1	8,8	3,78
F 105	4,1	2,6	8,1	4,12
F 107	4,6	2,9	7,1	3,73
F 108	4,2	1	9,5	4,94
F 109	1,3	1,8	7,6	5,84
F 110	1,3	3	7,3	10,7
F 111	3,3	1,7	19	3,36
F 112	3,7	*	12	3,87
F 113	4	5	8,5	4,61
F 114	4,2	3,1	7,3	4,13
F 115	3,3	5,1	13	4,16
F 116	0,9	1,3	7,5	5,29
F 117	3,2	2,7	12	4,3
F 118	3,7	1,8	9,2	3,62
F 119	3,9	2	9	3,69
F 120	3,4	3,7	12	3,95
F 121	3,4	7,3	8,8	3,83
F 122	3,6	*	7,2	3,57
F 123	3,5	3,5	8,1	3,55
F 124	3,5	7,2	8,2	3,61
F 125	3,4	4,5	8,4	3,85
F 126	3,3	0,3	12	5,42
F 127	3,2	*	14	3,32
F 128	2,8	*	16	3,51
F 129	3,2	4,7	12	4,51
F 130	3,2	1,8	11	5,43
F 131	3,3	4,6	7	4,45
F 132	2,9	3,8	12	3,42
F 133	2,5	*	13	3,1
F 134	2,8	2,4	13	3,11
F 135	3,2	2,3	12	2,43
F 136	2,5	3,4	12	3,79
F 137	2,9	2,4	9,9	3,35

Anexo XIV. Concentración de oligoelementos en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U	Hg	
16	11,8	40,1	12,5	*	50	*	0,21	0,56	34,3	1630	410	0,74	0,65	665	4,18	0,42	4,08	5,3	0,175	
17	10,5	22,6	29,4	*	260	5,8	0,049	3,88	26,1	1085	150	0,55	0,97	1135	3,31	0,72	3,32	15	0,17	
18	14,8	110,7	19,7	10	100	3,6	0,023	1,1	22,2	885	190	0,33	1,01	485	3,81	0,61	3,59	12,1	0,17	
19	12	51,1	28,1	120	180	21,6	0,25	0,8	16,2	1315	185	0,65	1,39	635	2,7	0,36	2,81	6,83	0,155	
20	10,7	121,9	108,6	150	740	7,5	0,22	1,62	16,1	975	200	0,48	1,18	840	1,85	0,37	2,49	10,8	0,185	
21	10,3	30,3	867,7	*	2450	2,65	0,082	0,35	*	1680	990	2	1,69	3995	0,06	*	1,28	164	0,15	
22	19,9	126,8	267,7	380	830	34,7	0,24	1	30	1260	390	0,5	0,83	1580	2,61	1,45	3,12	37,7	0,155	
23	14,3	108,5	119,8	*	720	9,8	0,14	0,44	19,7	1240	50	0,5	1,33	1790	1,82	0,3	1,7	19,2	0,155	
24	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,255
25	13,7	71,5	159,4	230	1860	9,2	0,21	0,9	27,1	325	110	1,1	5,04	1035	2,36	0,12	3,74	30,7	0,25	
26	8,57	48,8	91,3	80	740	2,33	0,31	1,36	32,1	1625	210	0,4	1,33	700	1,73	*	2,11	12,9	0,16	
27	12,8	43,5	27,1	*	180	2,46	0,045	0,84	21,5	1425	100	0,72	0,91	745	4,58	0,048	3,52	2,88	0,155	
28	20,7	130,1	31,9	80	60	32,1	0,22	1,2	17,3	785	130	1,05	1,41	560	3,58	0,044	2,21	2,3	0,155	
29	9,18	42,1	18,2	*	130	10,3	0,2	2,39	43,4	1395	240	0,8	1,29	360	3,01	0,51	3,43	2,66	0,135	
30	14,2	103,4	28,7	150	160	*	0,18	1,49	31,9	890	360	0,5	0,67	640	3,59	0,2	3,23	8,94	0,23	
31	10,7	40,6	14,3	*	80	18,4	0,07	3,01	41,5	1360	400	0,16	0,99	670	4,41	0,4	4,58	1,63	0,02	
41	11,6	62,6	7,31	60	20	4,98	0,58	1,9	29,3	1820	9	0,33	2,33	465	2,43	*	2,52	1,77	0,01	
42	2,5	19,8	2,72	*	10	1,59	0,52	0,32	10,5	1545	125	0,08	0,91	125	0,5	*	0,89	1,41	0,01	
43	5,51	35	7,36	*	60	6,25	0,37	0,08	29,3	1035	115	0,19	1,37	300	1,47	0,24	1,65	1,87	0,035	
44	5,67	34,2	8,53	*	50	1,05	0,63	0,59	*	1155	215	0,04	0,27	295	0,96	0,13	1,41	1,39	0,02	
45	5,46	33,6	7,61	50	60	3,21	0,49	0,56	11,9	1570	78	0,08	0,24	70	1,17	*	1,11	1,42	0,02	
46	6,58	39,9	13,5	130	80	1,87	0,53	1,57	4,08	1420		0,14	0,43	220	1,88	*	1,35	0,82	0,02	
47	10,9	53,6	22,2	*	170	1,63	0,54	0,84		710	83	0,27	1,26	520	1,96	0,37	2,02	3,54	0,095	
48	10,4	43,7	17,4	*	90	1,61	0,3	1,9	13,9	1075	225	0,23	0,95	310	2	0,19	1,76	1,27	0,05	
49	10,1	33,5	9,64	80	50	3,91	0,18	0,65	7,29	670	145	0,08	0,31	435	2,44	0,1	2,1	1	0,025	
50	9,44	32,1	17,3	140	100	3,08	0,18	1,1	26,7	700	180	0,15	0,38	525	2,29	0,061	2,24	1,52	0,02	
51	14,5	74,4	10,6	*	50	0,7	0,11	0,43	28	640	260	0,37	2,58	585	2,61	0,19	2	2,15	0,02	
52	4,57	22,2	10,2	*	50	0,69	0,12	0,9	12,6	445	145	0,11	0,87	250	1,04	0,094	0,94	1,11	0,01	
53	11,9	54,1	18,8	70	130	2,2	0,18	0,9	53,2	715	39	0,13	0,73	340	3,15	*	2,2	3,22	0,02	
54	5,84	16,1	4,23	60	*	2,34	0,23	0,5	31,5	150	180	0,21	2,62	465	0,86	*	4,45	0,8	0,01	
55	11,3	40,9	782,7	140	2640	6,25	0,21	1,1	24,6	5385	125	0,51	3,73	3540	2,35	1,1	2,9	61,2	0,045	
56	9,26	57,9	24,6	40	210	2,15	0,53	0,99	28,1	1110	3	0,17	1,18	410	1,6	*	1,22	2,6	0,01	
57	15,1	87,9	37,3	10	280	2,59	0,27	1,14		830	57	0,07	1,97	550	2,68	0,2	2,1	1,58	0,035	
58	13	29,9	614,2	160	2800	0,8	0,23	0,93	71,4	1860	540	0,27	3,82	4070	1,28	*	2,28	61,2	0,055	
59	13,9	67,8	66,2	*	360	4,16	0,16	0,97	14,7	715	235	0,11	0,66	685	6,27	*	1,74	5,9	0,085	
60	10,6	124,6	137,8	210	1140	4,79	0,53	1,4	22,9	420	335	0,26	3,05	910	2,41	*	3,5	7	0,15	
61	11,5	114,5	832,8	260	2400	3,33	0,12	0,85	38,5	545	440	0,53	2,21	4140	1,41	*	0,29	45,6	0,16	
62	10	45	169,7	*	1080	4,44	0,48	0,34	14,3	780	32	0,37	3,37	910	2,14	*	2,33	8,93	0,06	
63	9,91	49,7	100,5	30	770	2,45	0,34	0,33	41,2	660	125	0,06	2,31	405	2,7	*	2,43	7,8	0,16	
64	8,19	42,3	153,2	*	690	3,33	0,49	0,4	10,8	1940	345	0,14	1,75	710	2,5	*	2,05	11,5	0,16	
65	12,9	72,8	110,8	30	420	1,38	0,29	0,84	30,8	1395	350	0,17	0,87	965	2,22	*	1,63	7,6	0,095	
66	8,73	45,3	63,6	130	690	4,72	1,05	0,35	4,97	740	300	0,35	3	300	1,76	0,15	2,65	6,1	0,32	
67	9,67	36	62,2	120	520	4,75	0,22	0,67	18,6	630	265	0,1	2,75	480	2,81	0,35	1,82	3,04	0,04	
68	12,8	84,9	38,9	70	200	2,55	0,098	1,82	14,4	620	350	0,08	2,24	445	3,08	0,48	2,05	0,7	0,01	

Muestra	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U	Hg
69	11	47,5	25,7	60	140	0,99	0,33	0,8	41	825		0,28	1,81	465	3,4	0,19	1,98	3,33	0,02
70	12,2	57,9	24,2	*	180	8,35	0,26	0,8	22,9	425	33	0,32	1,18	430	4,06	0,42	2,5	0,94	0,035
71	11,9	56,6	18,2	70	110	4,51	0,3	1,5	19,1	740	57	0,41	0,78	490	3,12	0,67	2,77	1,34	0,01
72	9,13	34,4	29,8	110	230	6,75	0,24	1,33	14,3	445	140	0,12	1,2	440	3,09	*	2,62	4	0,01
73	9,08	50	20,1	70	180	0,82	0,31	0,49	36,6	1020		0,21	1,74	380	3,03	0,36	2,61	0,88	0,35
74	6,81	28,4	6,68	60	70	2,37	0,4	0,46	52,6	860	185	0,02	2,92	345	4,01	0,31	3,05	1,3	0,01
F 101	12,2	42,9	12,7	90	70	2,74	0,47	0,95	29,3	1105	30	0,81	1,04	770	3,11	0,19	2,86	3,34	*
F 102	12,1	54,3	18,3	*	100	12,8	0,63	2,15	23,5	1205		0,33	2,28	585	2,71	0,088	2,29	1,74	*
F 103	13,6	64,3	22,8	*	180	4,79	0,65	1,69	22	1010	90	1,12	1,2	585	3,33	0,39	2,81	2,61	*
F 104	12,3	70,5	21	190	210	4,87	1,56	0,22	34,4	765	120	0,82	1,77	640	3,02	*	2,89	4,34	*
F 105	13,4	76,8	25,2	150	190	4,45	1,12	0,73	55	970	135	0,92	1,77	860	5,08	0,59	4,01	4,58	*
F 107	12,3	46,8	14,3	*	80	8,18	0,49	0,79	31,2	1025	20	0,13	1,49	585	3,75	0,25	2,99	1,6	*
F 108	17	81,7	15,5	*	80	3,95	0,24	0,21	21,2	995	170	0,33	0,97	760	4	*	3	3,19	*
F 109	11,1	94,4	1035	280	3340	3,94	0,28	0,86		8685	420	1,94	0,39	5155	0,6	*	2,46	90,6	*
F 110	10,6	129,4	984,3	370	5270	27,6	0,24	0,61	14,5	670	320	17,6	4,71	4900	2,36	*	2,84	61,6	*
F 111	11,4	68,6	28,3	*	240	1,21	0,88	0,45	23,5	1545	110	0,21	1,29	420	1,72	0,21	1,97	2,08	*
F 112	14,1	72,5	38,6	200	290	1,57	0,67	1,24	22,9	1120	150	0,57	0,98	645	2,25	0,63	2,17	5,59	*
F 113	15,6	76,1	24,5	70	190	8,28	1,13	1,33	35,1	595	45	0,68	1,08	470	2,89	0,52	2,58	3,41	*
F 114	14,6	63,7	19,1	100	200	7,67	1,83	0,71	44,4	735	110	0,72	2,94	805	4,25	0,46	4,2	4,39	*
F 115	14	90,4	45,7	*	240	5,69	0,72	2,17	31,7	1235	55	0,68	1,81	650	2,61	0,99	2,8	7,39	*
F 116	10	34,9	1204,6	220	3180	16	0,26	4,15	13,9	1120	170	1,32	1,61	4285	1,68	*	2,2	95,9	*
F 117	10,6	58,8	202,6	360	1250	4,74	0,88	0,94	54,8	2070	75	0,42	2,47	1950	2,39	*	2,25	19,5	*
F 118	11,1	50,6	68,3	220	560	8,72	0,42	0,22	16,9	1025	120	0,66	1,59	655	3,23	0,11	2,72	5,32	*
F 119	11,9	41,6	36,8	50	250	7,58	0,46	0,44	34	825	45	0,05	1,97	650	2,66	0,096	2,64	2,68	*
F 120	11,9	54	26,8	*	190	8,14	0,62	0,87	41,2	1360	120	0,47	1,5	710	3,01	0,74	3,16	3,54	*
F 121	12,5	68,2	24,1	*	170	7,01	0,97	1,56	42,4	1095	20	0,35	1,73	730	3,77	*	3,06	3,88	*
F 122	11,9	59,7	22,2	210	210	13,6	2,43	0,5	42,9	745	20	1,26	3,67	600	4,81	0,045	4,31	3,35	*
F 123	12,2	71	18,9	100	190	3,95	2,25	2,64	58,2	525	30	0,24	3,59	540	3,56	0,83	6,28	4,32	*
F 124	11,5	53	20,8	50	190	6,07	1,71	0,67	40,2	665	95	1,14	2,98	620	5,19	0,67	4,06	5,99	*
F 125	11,8	44,4	23,2	40	140	14,2	0,48	1,22	36,3	900	70	0,53	1,91	550	3,63	0,2	3,22	2,91	*
F 126	15,5	80	32,1	*	200	10,6	0,36	1,48	0,31	1120	60	0,84	1,44	735	3,79	*	2,86	1,86	*
F 127	12,6	56,1	27,3	210	250	9,65	0,58	0,46	33,5	1075	95	0,04	1,96	665	3,14	0,53	2,57	4,71	*
F 128	10,6	61,6	28	*	210	9,65	0,53	0,85	16,6	1065	80	0,57	1,69	430	2,5	0,34	2,4	2,55	*
F 129	12,4	45,1	22,4	300	140	15,2	0,41	0,79	34,9	1455	60	0,6	2,46	735	5,19	0,87	4,58	1,89	*
F 130	14,6	58,7	27,1	330	200	13,4	0,82	0,4	38,1	1020	140	1,82	3,06	525	4,51	0,74	3,36	4,53	*
F 131	12,2	41,7	21,4	230	130	11,8	0,92	0,8	51,9	1060	120	1,25	2,04	595	5,64	0,8	4,23	1,86	*
F 132	8,97	46,4	20,9	40	180	10,2	0,75	1,74	30,9	1350	100	0,89	0,99	555	3,73	0,57	3,68	4,5	*
F 133	8,4	53,4	24,8	80	180	8,15	0,76	0,69	32,2	1305	80	0,57	1,85	350	3,39	0,13	3,63	2,56	*
F 134	8,99	29,8	28,9	*	230	11,8	0,68	0,78	33,2	1065	70	1,01	1,79	550	3,42	0,55	2,96	2,45	*
F 135	8,41	32	14,6	*	160	7,13	0,63	0,93	56,3	970	135	1,08	3,13	570	4,28	0,49	4,04	3,33	*
F 136	10,7	50,8	29,6	*	190	9,17	0,82	0,4	25	1050	70	1,08	0,29	340	2,82	0,1	2,92	3,87	*
F 137	12	39,9	19,6	120	140	8,12	0,63	0,21	39,3	870	130	1,11	1,72	455	3,72	0,34	3,46	1,51	*

Anexo XV. Concentraciones de carbono orgánico, carbonatos y humedad relativa en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	Corg,%	Wr,%	CaCo3
16	0,16	2,1	14,69164
17	0,12	1,2	6,686289
18	0,15	0,8	10,598
19	0,25	1,3	21,94649
20	0,56	3	14,32776
21	0,26	0,5	16,10168
22	0,15	0,8	11,39398
23	0,21	4,6	44,52978
24	1,06	5	11,16656
25	0,88	7,4	13,46355
26	0,34	2	13,78194
27	0,16	1,6	12,73579
28	0,13	0,7	10,30234
29	0,25	1,1	17,30703
30	0,23	1	15,23746
31	0,12	0,7	12,57659
41	0,24	0,6	29,42877
42	0,26	0,7	76,16457
43	0,22	0,9	48,41874
44	0,32	1	50,0562
45	0,27	0,9	51,73914
46	0,31	1,1	46,78128
47	0,48	1,6	14,3505
48	0,3	1,4	10,09766
49	0,19	1,2	16,94315
50	0,2	1,2	16,73847
51	0,11	1,1	6,686289
52	0,2	1	31,02074
53	0,2	1,2	12,21271
54	0,21	1,1	10,57525
55	0,31	0,3	25,1077
56	0,41	1,3	27,54114
57	0,27	1,4	9,392644
58	0,2	0,2	4,093647
62	0,47	1,8	21,28696
63	0,53	2,6	16,57927
64	0,56	1,6	30,65686
65	0,24	1	16,51104
66	0,82	3,4	24,81205
67	0,28	2	21,94649
68	0,15	1,1	16,96589
69	0,22	0,9	24,31171
70	0,16	1	21,12776
71	0,21	0,9	21,83278
72	0,19	1,3	22,44683

73	0,27	1,8	12,41739
74	0,25	0,8	29,31506

Anexo XVI. Concentración de elementos traza en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía.

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
F16	16,5	35	4,12	18	4,89	1,33	5,66	0,8	4,47	0,92	2,44	0,34	1,72	0,27
F17	28,2	53	5,98	22,7	5,85	1,56	6,72	0,98	5,4	1,19	3,13	0,45	2,25	0,37
F18	18,7	36	4,1	16,2	4,18	1,43	5,2	0,77	4,5	0,98	2,61	0,39	1,89	0,33
F19	20,8	40	4,47	16,1	4,2	1,41	5,42	0,82	4,71	1,08	2,9	0,43	2,22	0,38
F20	31,2	57	6	22,4	5,18	1,77	5,9	0,81	4,47	0,9	2,3	0,32	1,58	0,24
F21	178,3	298	28	91,2	21	4,52	20,4	2,72	13,7	2,59	6,3	0,79	3,83	0,52
F22	49	92	9,61	35,5	8,33	2,38	8,4	1,13	5,92	1,18	2,87	0,39	1,74	0,26
F23	26,1	49	5,3	20	4,86	1,49	5,22	0,76	4,34	0,9	2,38	0,34	1,71	0,27
F25	41,9	75	7,7	27,5	6,2	2,18	6	0,83	4,51	0,91	2,3	0,32	1,55	0,23
F26	35	61	6,08	21,8	4,87	2,29	6,2	0,92	5,5	1,26	3,63	0,53	3	0,5
F27	22,8	42	4,7	18	4,84	1,91	5,7	0,88	5,32	1,24	3,67	0,54	3,03	0,52
F28	12,9	28	3,5	14,8	4,21	1,19	5	0,71	4,1	0,83	2,2	0,3	1,58	0,24
F29	17,7	33	3,69	14,2	3,62	1,18	4,77	0,7	4,38	0,99	2,75	0,43	2,26	0,4
F30	19,3	37	4,21	17	4,23	1,33	5,7	0,87	5,04	1,17	3,28	0,48	2,71	0,45
F31	21,3	43	5,24	21,9	5,87	1,51	7,47	1,19	7,3	1,68	4,81	0,7	4,19	0,68
F41	16,4	31	3,4	12,4	3,07	1,3	4	0,58	3,2	0,68	1,8	0,26	1,32	0,21
F42	5,95	11	1,2	4,2	1,04	0,25	1,38	0,22	1,33	0,31	0,84	0,13	0,71	0,12
F43	11,8	22	2,45	9,18	2,3	0,76	2,92	0,44	2,57	0,53	1,45	0,21	1,15	0,18
F44	10,3	19	2,19	7,86	2,02	0,72	2,59	0,37	2,2	0,45	1,25	0,18	0,96	0,16
F45	7,75	15	1,6	6	1,46	0,22	1,95	0,31	1,82	0,42	1,18	0,18	0,99	0,17
F46	10	18	1,97	7	1,68	0,72	2,19	0,33	1,95	0,43	1,22	0,18	1	0,17
F47	14,3	25	2,65	9,67	2,29	0,92	2,95	0,47	2,75	0,62	1,77	0,27	1,48	0,25
F48	12,2	22	2,43	9	2,25	0,88	2,79	0,42	2,47	0,5	1,35	0,19	1,04	0,17
F49	12	22	2,4	8,9	2,23	0,89	2,94	0,45	2,72	0,6	1,66	0,25	1,34	0,22
F50	14,4	27	2,93	10,9	2,64	0,89	2,79	0,43	2,54	0,53	1,47	0,22	1,19	0,19
F51	13,7	25	2,77	10,4	2,56	0,99	3,07	0,47	2,67	0,56	1,5	0,22	1,16	0,18
F52	5,09	9,7	1,01	3,67	0,89	0,41	1,01	0,16	0,91	0,2	0,56	0,08	0,45	0,07
F53	12,6	24	2,5	9,32	2,38	0,75	3	0,48	2,76	0,62	1,72	0,26	1,39	0,23
F54	10,6	20	2,25	8,3	2,18	0,14	2,86	0,44	2,64	0,56	1,56	0,23	1,28	0,21
F55	110,7	174	17,2	60	12,2	5,83	15,5	2,25	12,8	2,63	7	1	5,1	0,8
F56	13	23	2,35	8	1,96	1,04	2,46	0,34	1,91	0,41	1,09	0,16	0,81	0,13
F57	14,8	27	2,94	10,9	2,65	1,29	3,4	0,5	2,8	0,61	1,63	0,24	1,26	0,2
F58	153	238	22,3	70,1	14,4	7,36	16,2	2,27	12,8	2,56	6,77	0,92	4,74	0,7
F59	20,2	37	3,96	14,3	3,47	1,23	4,1	0,62	3,6	0,77	2,2	0,32	1,73	0,28
F60	33,2	58	5,8	19,9	4,14	2,05	5	0,74	4,32	0,92	2,49	0,37	1,77	0,3
F61	127,3	194	17,9	55,8	11,1	6,84	12,7	1,83	10,1	2,17	5,6	0,78	4,2	0,63
F62	38,5	64	6,1	20,5	4,37	2,05	5,5	0,83	4,77	1,08	2,88	0,43	2,19	0,37
F63	28,9	48	4,8	15,4	3,49	1,89	4,39	0,66	4,03	0,89	2,53	0,39	1,98	0,36
F64	31,8	54	5,46	19	4,02	1,97	4,98	0,74	4,42	0,99	2,59	0,4	1,97	0,35
F65	24,9	42	4,41	15,1	3,59	1,54	4,32	0,63	3,7	0,78	2,17	0,31	1,63	0,27
F66	26,3	43	4,2	14,2	3,12	1,31	3,9	0,56	3,07	0,66	1,79	0,26	1,31	0,21
F67	20,6	36	3,7	13	3	1,27	4,1	0,62	3,6	0,77	2,18	0,32	1,7	0,28
F68	17,1	30	3,23	11,9	2,91	0,92	4,02	0,62	3,7	0,81	2,3	0,36	1,83	0,34
F69	15,7	30	3,12	11,6	2,89	1,22	3,72	0,56	3,09	0,68	1,84	0,27	1,43	0,23
F70	14,9	28	3,09	11,7	2,99	1,22	3,88	0,56	3,06	0,66	1,78	0,26	1,31	0,21

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
F71	15,3	30	3,23	11,9	2,99	0,99	3,9	0,57	3,12	0,67	1,81	0,27	1,36	0,22
F72	17,8	33	3,49	12,2	2,96	1,16	3,65	0,52	2,77	0,59	1,49	0,21	1,08	0,17
F73	14,7	27	2,97	10,9	2,71	1,17	3,1	0,48	2,72	0,59	1,57	0,23	1,24	0,2
F74	13,8	26	3	11,4	2,98	1,12	3,8	0,58	3,35	0,73	2,05	0,31	1,69	0,28
101	16,7	32	3,49	13,1	3,34	0,92	4,47	0,66	3,96	0,84	2,3	0,34	1,76	0,3
102	14,9	28	3,18	12,1	3,16	1,01	4,32	0,64	3,85	0,83	2,29	0,35	1,77	0,31
103	16,4	30	3,47	13,9	3,52	1,02	4,72	0,7	4,31	0,93	2,62	0,39	1,92	0,34
104	17,5	34	3,98	15,8	4,17	1,16	4,98	0,7	4,1	0,83	2,21	0,31	1,57	0,24
105	19,5	37	4,1	15,9	4	1,24	4,35	0,83	4,96	1,14	3,23	0,48	2,73	0,45
107	17	32	3,61	14,3	3,71	1,18	4,7	0,69	4,18	0,88	2,42	0,36	1,77	0,3
108	17,4	33	3,79	14,9	3,95	1,23	5,12	0,79	4,67	1,04	2,8	0,43	2,23	0,38
109	175,4	262	24,2	76	16,2	5,92	17,2	2,4	13,3	2,76	7,2	1,02	5,1	0,8
110	140	223	21,3	69,8	14,1	6,27	15,2	2,21	11,7	2,3	6,03	0,81	4,22	0,61
111	16	30	3,21	11,7	2,9	1,09	3,7	0,54	2,96	0,63	1,64	0,23	1,23	0,19
112	17,1	33	3,68	14,4	3,75	1,01	4,65	0,68	4,1	0,85	2,28	0,34	1,72	0,28
113	18,2	33	3,59	13,6	3,36	1,08	4,35	0,65	3,98	0,85	2,33	0,36	1,79	0,32
114	19	36	3,99	15	3,88	1,05	4,88	0,76	4,58	1,07	2,98	0,46	2,57	0,43
115	20,4	40	4,41	16,9	4,08	1,09	5,31	0,79	4,53	1,01	2,72	0,4	1,92	0,34
116	175,9	260	24,3	76,1	16,8	6	17,6	2,48	13,4	2,73	6,99	0,93	4,67	0,68
117	51,5	90	8,46	29,7	6,26	2,59	7,48	1,14	6,68	1,45	4,08	0,57	3,21	0,51
118	26,3	48	5,1	19,3	4,65	1,25	4,47	0,78	4,4	0,91	2,38	0,34	1,69	0,27
119	20,3	39	4,31	16,7	4,09	0,93	4,9	0,69	4	0,81	2,17	0,29	1,51	0,23
120	19,1	36	4	15	3,85	1,06	4,99	0,74	4,35	0,96	2,62	0,38	1,88	0,33
121	15,4	32	3,71	14,9	4,04	1,18	5,2	0,77	4,48	0,97	2,6	0,37	1,81	0,31
122	22,1	40	4,6	18,1	4,41	1,38	5,51	0,82	4,72	1,06	2,79	0,43	2,07	0,36
123	21,7	40	4,53	18	4,42	1,23	5,56	0,82	4,67	1,03	2,73	0,4	1,9	0,33
124	19,3	38	4,3	17,1	4,38	1,21	5,59	0,84	4,82	1,09	2,92	0,43	2,23	0,38
125	19,3	37	4,1	15,8	3,98	1,09	5,17	0,78	4,52	1,01	2,74	0,41	1,99	0,35
126	18,3	35	4,01	15,9	4,1	0,97	5,3	0,78	4,5	0,98	2,62	0,38	1,8	0,32
127	17,6	33	3,68	14,5	3,72	1,15	4,6	0,66	3,92	0,81	2,21	0,32	1,68	0,26
128	14,1	28	3,07	11,9	3,06	1,03	4,1	0,62	3,67	0,79	2,24	0,34	1,76	0,31
129	21,3	41	4,99	20,1	5,23	1,13	6,41	0,94	5,45	1,2	3,27	0,46	2,5	0,4
130	19,8	40	4,72	19,5	5,05	1,12	6,28	0,91	5,11	1,12	2,97	0,43	2,09	0,35
131	19	39	4,54	19	4,98	1,35	6,72	1,03	6,01	1,35	3,82	0,55	3,03	0,5
132	19	37	4,18	16,3	4,09	1,41	4,45	0,8	4,55	1	2,67	0,39	1,82	0,32
133	15,7	30	3,32	12,6	3,17	0,85	4,3	0,63	3,79	0,81	2,26	0,34	1,76	0,3
134	17,6	33	3,55	13,4	3,31	0,98	4,35	0,65	4,07	0,89	2,53	0,39	1,97	0,35
135	19,6	37	4,23	16,8	4,15	1,14	5,3	0,8	4,6	1,03	2,75	0,42	2,01	0,35
136	15,7	31	3,52	14	3,54	1,09	4,46	0,63	3,5	0,72	1,88	0,27	1,35	0,21
137	16,8	35	3,94	15,3	4,07	1,33	5,22	0,78	4,5	0,99	2,69	0,39	1,88	0,33