



NIVELES ACTUALES E HISTORIA DE ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS DE ORIGEN NATURAL Y ANTROPOGÉNICO EN LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

HABACUC UEMATZIN PÉREZ TRIBOUILLIER

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DEL 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad deLa Paz, B.C.S.,siendo las12horas del día14del mes deMayodel2014se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designadapor el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación deCICIMARpara examinar la tesis titulada:

"NIVELES ACTUALES E HISTORIA DE ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS DE ORIGEN NATURAL Y ANTROPOGÉNICO, EN LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:									
PÉREZ	TRIBOUILLIER	HABACUC UE	MAT	ZIN					
Apellido paterno	materno	nombre(s)						
		Con registro:	В	1	2	0	7	1	4

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis

Uly

DR. EVGUENI CHOUMILINE

-H.N.

DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ

DR. FERNANDO AGUIRRE BAHENA

DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

DRA. GRISELDA MARGARITA RODRÍGUEZ FIGUEROA

RESIDENT DEL COLEGIO DE PROFESORES DRA. MAR CARITA CAS IPN CICIMAR DIRECCIÓN

SIP-14



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de	La Paz, B.C.S.,	_eldía_() <u>5</u> c	el mes	junio	del año	2014
el (la) que suscribe	OCEA	N. HABACU	C UEMA	rzin pérez	Z TRIBOUILLIER	alumno	D(a) del
Programa de M	IAESTRÍA EN CIENCI	AS EN MANE	JO DE R	ECURSOS M	(ARINOS		
con número de regi	stro <u>B120714</u>	adscrito	al c	ENTRO INT	ERDISCIPLINARIO DE (IENCIAS MAR	INAS
manifiesta que es a	utor (a) intelectu	al del pres	sente t	rabajo de	e tesis, bajo la direc	ción de:	1996) and an an a second spin of a first (1997) is the constraint of the second s
		DR. EV	GUENI C	HOUMILIN	E		

y cede los derechos del trabajo titulado:

"NIVELES ACTUALES E HISTORIAS DE ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS DE ORIGEN NATURAL

Y ANTROPOGÉNICO EN LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, 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. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: <u>habacuc tribouillier@hotmail.com</u> - <u>eshumili@ipn.mx</u> Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Hzbauc Ping T.

OCEAN. HABACUC UEMATZIN PÉREZ TRIBOUILLIER

nombre y firma

DEDICATORIA

A mis padres por su interminable apoyo moral, económico y de todos los tipos a lo largo de mi vida, por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, ustedes son la luz de mi camino y han sido y serán siempre el mejor ejemplo, sin duda alguna, no estaría aquí sin su perseverancia. Los Amo

A mi querida hermana Arrigi, que siempre me hace sonreir.

A mis abuelos Pedro y Jobías que sé que me cuidan dondequiera que estén.

A toditita mi familia

Para Noemi.....

Agradecimientos

Al Dr. Evgueni Choumuline por su compromiso y responsabilidad como director de tesis y por toda la paciencia que tuvo conmigo, siempre estaré agradecido.

A la Dra. Griselda Rodríguez Figueroa y al lanchero Francisco Javier Álvarez Espinoza por su apoyo en las salidas para obtener las muestras para la realización de este trabajo.

A todos los miembros de mi comité de tesis: el Dr. Enrique Nava, la Dra. Bertha Ceballos, Dr. Fernando Aguirre Bahena y La Dra. Griselda Rodríguez, por sus comentarios y correcciones.

A todo el personal administrativo del CICIMAR-IPN en especial al Sr. Ceseña, a César y a Magdalena Mendoza por su interminable paciencia y por responder siempre mis dudas.

A todos mis compañeros y amigos que conocí aquí en CICIMAR, a los chicos del cubículo de geología, a mi amiga Xcel por su incondicional amistad, por siempre escucharme y en especial a J.J. Priego, por soportar mis ratos de mal humor, siempre los llevaré conmigo.

Al CONACYT y al SIP, por las becas que hicieron posible mantenerme mientras hacia la maestría.

A mi flaca Noemí Zamora García, por estar conmigo estos últimos diez meses y darme siempre un gran apoyo moral y por hacerme reír tanto.

Y por último quiero agradecer a la vida que me ha dado tanto.

Tabla de contenido	
Lista de figuras	1
Lista de tablas	4
Lista de anexos	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES 1	11
2.1. Antecedentes generales 1	11
2.1.1. Elementos traza en el medio marino1	11
2.1.2. Elementos traza en sedimentos marinos	13
2.2. Antecedentes regionales 1	14
2.2.1. Golfo de California 1	14
2.2.2. Laguna de La Paz 1	15
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 1	17
3.1. Características de los sedimentos 1	18
3.2. Hidrología 1	19
3.3. Marco geológico 2	20
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2	21
4.1. Justificación	21
4.2. Hipótesis	22
5. OBJETIVOS	22
5.1. Objetivo general	22
5.2. Objetivos particulares 2	22
6. METODOLOGÍA 2	23
6.1. Recolecta de las muestras 2	23
6.1.1. Sedimentos superficiales 2	23
6.1.2. Núcleo de sedimentos2	23
6.2. Preparación de las muestras2	23
6.2.1. Sedimentos superficiales	23
6.2.2. Núcleo de sedimentos2	24
6.3. Análisis de las muestras 2	24
6.3.1. Análisis granulométrico 2	24
6.3.2. Determinación del carbono orgánico2	24

6.3.3. Concentraciones totales de elementos mayores y traza	25
6.3.4. Fechación del núcleo de los sedimentos con Pb-210 no soportado	26
6.3.5. Concentraciones totales de los elementos en el núcleo	26
6.3.6. Tratamiento de los datos	26
7. RESULTADOS	28
7.1 Composición de los sedimentos superficiales	28
7.1.1. Textura de los sedimentos superficiales	28
7.1.2. Concentraciones del carbono orgánico en sedimentos superficiales	28
7.1.3. Contenido de los elementos mayores	29
7.1.4. Contenido de ET en los sedimentos superficiales de la Laguna de La P	az
	33
7.1.5. Distribución espacial de las concentraciones de los elementos que sobrepasan los niveles de la corteza terrestre.	33
7.1.6. Análisis de factores	39
7.1.7. Selección de un elemento normalizador	40
7.1.8. Factor de enriquecimiento	42
7.1.9. Distribución espacial de los factores de enriquecimiento de los element	os
enriquecidos	43
7.2 Núcleo de sedimentos	48
7.2.1. Fechación del núcleo de sedimentos.	48
7.2.2. Contenido de las formas de carbono en el núcleo de sedimentos	51
7.2.3 Contenidos de los elementos en los sedimentos del núcleo	52
7.2.4. Resultados del análisis de factores de los componentes del núcleo de sedimentos	los 53
7.2.5. Perfiles verticales de los contenidos de los ET en el núcleo de sedimen	ntos
	54
8. DISCUSIÓN	59
8.1. Influencia del tamaño de grano y del carbono orgánico en los contenidos de ET	э 59
8.2. Contenido de ET en los sedimentos superficiales.	60
8.4. Posible impacto de los ET sobre la biota de la Laguna de La Paz	68
8.5. Concentraciones de ET en el núcleo de sedimentos	72
9. CONCLUSÍONES	75
10. BIBLIOGRAFÍA	76
11. Anexos	83

Lista de figuras

Figura 1. Localización geográfica de la Laguna de La Paz	17
Figura 2. Distribución del tamaño de grano en los sedimentos de la Laguna de La	
Paz en el año 1998 (Green Ruíz, 2000).	18
Figura 3 Esquema de circulación en la Laguna de La Paz, (a) flujo (b) reflujo	
(tomado de Salinas González, 2000).	20
Figura 4. Distribución de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales e	n
la Laguna de La Paz y el canal de comunicación con la Bahía de La Paz	23
Figura 5. Tamaño de grano (ϕ) predominante en los sedimentos superficiales de la	a
Laguna de La Paz.	28
Figura 6. Concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales de la	
Laguna de La Paz.	29
Figura 7. Distribución de la concentración toral de aluminio en los sedimentos	
superficiales de la Laguna de La Paz	29
Figura 8. Distribución de las concentraciones totales de Ca en los sedimentos	
superficiales de la Laguna de La Paz	30
Figura 9. Distribución de las concentraciones totales de Fe en los sedimentos	
superficiales de la Laguna de La Paz	31
Figura 10. Distribución de las concentraciones totales de fósforo en los sedimentos	\$
superficiales de la Laguna de La Paz	31
Figura 11. Distribución de las concentraciones totales del azufre en los sedimentos	j –
superficiales de la Laguna de La Paz	32
Figura 12. Distribución de las concentraciones totales de Ti en los sedimentos	
superficiales de la Laguna de La Paz	33
Figura 13. Distribución espacial de las concentraciones totales del arsénico en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	34
Figura 14. Distribución espacial de las concentraciones totales de cadmio en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	34
Figura 15. Distribución espacial de las concentraciones totales de cromo en los	
sedimentos superficiales la de Laguna de La Paz.	35
Figura 16. Distribución espacial de las concentraciones totales de uranio en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	35
Figura 17. Distribución espacial de las concentraciones totales de vanadio en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	36
Figura 18. Distribución espacial de las concentraciones totales de Pb en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	36
Figura 19. Distribución de las concentraciones totales de Se en los sedimentos	
superficiales de la Laguna de La Paz	37
Figura 20. Distribución espacial de las concentraciones totales de Sr en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	38
Figura 21. Distribución espacial de las concentraciones totales de Cu en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	39
Figura 22. Regresión lineal-elemento normalizador vs elemento referencia: a) Li, b))
Cs, c) Th, d) Al, e) Sc, f) Ti y g) Co.	41
Figura 23. Factor de enriquecimiento promedio altos para algunos ET en los	
sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.	43

Figura 24. Distribución del factor de enriquecimiento de fósforo en los sedimentos
superficiales de la Laguna de La Paz 44
Figura 25. Distribución del factor de enriquecimiento de cadmio en los sedimentos
superficiales de la Laguna de La Paz 44
Figura 26. Distribución del factor de enriquecimiento de arsénico en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz
Figura 27. Distribución del factor de enriquecimiento de uranio en los sedimentos
superficiales de la Laguna de La Paz
Figura 28. Distribución del factor de enriquecimiento de estroncio en los sedimentos
superficiales de la Laguna de La Paz 46
Figura 29. Distribución del factor de enriquecimiento de plomo en los sedimentos
superficiales de la Laguna de La Paz 47
Figura 30. Distribución del factor de enriquecimiento de Se en los sedimentos
superficiales de la Laguna de La Paz
Figura 31. Actividad total del Pb-210 en función de la profundidad en el núcleo de
sedimentos
Figura 32. Logaritmo natural de la actividad del Pb-210 en exceso vs profundidad 49
Figura 33. Grafica de la actividad del PD-210 en exceso en funcion de la masa seca
Eigura 24. Edad da las sodimentos sogún la profundidad (nuntos nogros
rigura 34. Eulau de los sedimentos seguin la profuncidad (puntos negros
rogrosión lipoal)
Figura 35. Tasa de acumulación de los sedimentos ys edad en el núcleo de la
Laguna de La Paz
Figura 36. Distribución de las concentraciones de las distintas formas de carbono
(total, orgánico, inorgánico v como carbonato de calcio) a lo largo del núcleo
Figura 37. Distribución vertical de las concentraciones de escandio, torio, aluminio v
europio
Figura 38. Distribución vertical de las concentraciones de cobalto, hierro, titanio y
cesio
Figura 39. Distribuciones verticales de las concentraciones del Cora, Ca y Sr
Figura 40. Distribución vertical de las concentraciones de plomo
Figura 41. Distribución vertical de las concentraciones de cobre
Figura 42. Distribución vertical de las concentraciones de cromo
Figura 43. % de fracción fina en función del contenido de aluminio en sedimentos
superficiales
Figura 44. Porcentaje de fracción fina vs contenido de Corg en sedimentos
superficiales
Figura 45. Comparación de los perfiles de lantánidos normalizados de la parte norte
de la Laguna de La Paz con otras partes del mundo; 67
Figura 46. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long et al. (1995)
para el As en los sedimentos de la Laguna de La Paz69
Figura 47. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long et al. (1995)
para los contenidos totales del Cd en los sedimentos de la Laguna de La Paz 69
Figura 48. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long et al. (1995)
para el Cr en los sedimentos de la Laguna de La Paz70

Figura 49. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long et al. (1995)	
para el Cu en los sedimentos de la Laguna de La Paz7	1
Figura 50. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long et al. (1995)	
para el Ni en los sedimentos de la Laguna de La Paz7	1
Figura 51 Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long et al. (1995)
para el Cu y As en los sedimentos de la Laguna de La Paz7	2

Lista de tablas

Tabla 1. Control de Calidad de algunos elementos analizados	25
Tabla 2. Concentración total de elementos en los sedimentos superficiales de la	
Laguna de La Paz que sobrepasan los valores de la corteza terrestre, en rojo se	
presentaron los valores que sobrepasaron los de la corteza terrestre (Wedepohl,	
1995)	33
Tabla 3. Matriz de salida del análisis de factores de los sedimentos superficiales, er	n
rojo se presentan los valores de correlación más elevados que sugiere asociación	
entre elementos del mismo factor.	40
Tabla 4. Estadísticos básicos de los factores de enriquecimiento de los elementos	
significativos	42
Tabla 5. Concentración total de elementos que sobrepasan valores de la corteza	
terrestre (Wedepohl, 1995) en el núcleo de sedimentos finos de la Laguna de La Pa	az.
	52
Tabla 6. Resultados del análisis de factores de los sedimentos del núcleo.	53
Tabla 7. Comparación de las concentraciones totales de alguno ET entre la Laguna	j
de La Paz y otras zonas costeras del mundo	62
Tabla 8. Comparación de las concentraciones totales de elementos entre dos	
muestreos en la Laguna de La Paz, uno en 1996 (Rodríguez Meza, 2000) y el	
realizado en el 2013.	64
Tabla 9. Concentraciones (mg kg ') de As, Cd, Cr, U y V en fosforitas de distintas	
formaciones alrededor del mundo y en los sedimentos enriquecidos en P de la	~ -
Laguna de la Paz.	65
Tabla 10. Comparación entre las concentraciones de algunos El s en los nucleo de	la
Laguna de La Paz (este estudio) y el Cuenca Alfonso (Choumiline, 2012)	73

Lista de anexos

Anexo 1. Concentraciones totales de ET en los sedimentos super	ficiales84
Anexo 2. Concentraciones totales de ET en el núcleo de sedimen	tos102

RESUMEN

El estudio de los ciclos biogeoquímicos de los elementos es importante porque participan activamente en el funcionamiento de los ecosistemas marinos costeros. Para determinar los factores que controlan la distribución de elementos traza (ET) en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz y para deducir sus posibles fuentes y niveles de fondo, se colectaron 91 muestras de sedimentos superficiales mediante buceo libre y un núcleo de sedimentos finos de 46 cm de longitud en la porción profunda de la laguna. Las concentraciones totales de 61 elementos en los sedimentos superficiales y en cada horizonte del núcleo se determinaron después de una digestión total con una mezcla de ácidos fuertes concentrados (HCI, HF, HCIO₄) mediante ICP-MS y ICP-AES. El núcleo de sedimentos finos fue fechado usando el Pb-210 no soportado, medido a través de la espectrometría alfa del Po-210. Con los datos de las concentraciones totales de ET se calcularon los factores de enriquecimiento y se compararon con los criterios de calidad de los sedimentos y se realizó un análisis de factores. Los resultados indican enriquecimientos naturales de elementos como Se > As > Cd que reflejan la composición litológica de las formaciones geológicas que rodean la laguna. Los mayores enriquecimientos de As, Cd, U y P fueron registrados en la zona adyacente a la barrera arenosa de El Mogote, lo cual podría estar reflejando parcialmente el transporte litoral de material fosfatado rico en ET, suministrado a la Bahía de La Paz por arroyos que atraviesan las distintas formaciones geológicas. Los índices de calidad de los sedimentos no muestran una posible afectación por elementos potencialmente tóxicos y sólo se detectó un probable efecto negativo para hasta el 10% de los organismos ocasionado por el As y Cu en el 30% y 20% de las estaciones respectivamente. La mayor concentración de Pb (36.8 mg kg⁻¹) se localizó en los sedimentos del malecón costero de la Paz a la altura del muelle fiscal y tiene como fuente probable las actividades antropogénicas que suceden alrededor de esta zona. La tasa de sedimentación calculada para la parte profunda de la laguna de 6.5 mm año⁻¹ y una tasa de acumulación de 0.27 g cm⁻² año⁻¹. Los perfiles verticales de las concentraciones totales de ET en el núcleo muestran un aumento en el aporte de elementos de origen terrígeno con respecto a los biogénicos, mientras que algunos elementos como el Pb, Cu y Cr, entre otros, muestran el efecto de eventos esporádicos como huracanes y/o pulsos de contaminación sobre sus concentraciones y flujos sedimentarios.

ABSTRACT

The study of biogeochemical cycles of elements is important because they are actively involved in the functioning of coastal marine ecosystems. To determine the factors controlling the distribution of trace elements (TEs) in surface sediments from the La Paz Lagoon, their possible sources and background levels, 91 surface sediment samples were collected by means of free diving and a fine sediment core of 46 cm in length was obtained in the deepest portion of the lagoon. To determine total concentrations of TEs in surface sediments and in each horizon of the core, the sediments were digested with a mixture of concentrated strong acids. Then, the concentrations of 61 elements were measured by analytical techniques of ICP- MS and ICP- AES. The core was dated with the method of unsupported Pb-210 by alpha spectrometry of Po-210. The data set of total concentrations of TEs in the sediments was used to calculate the enrichment factor of the total concentrations of the contaminants, and were also compared with the criteria for sediment quality given by Long et al.(1995), and finally a factor analysis was computed. The results indicate the existence of natural enrichment of elements such as Se> As> Cd reflecting the influence of the lithology of geological formations around the lagoon. The highest enrichments of As, Cd, P and U were found adjacent to El Mogote peninsula, which could reflect alongshore transport of phosphatic material enriched in some TEs, delivered to the Bay of La Paz by arroyos that cut through the different geological formations. Sediment quality indices of the potential toxic elements give no indication of possible impairment to the biota of the lagoon by trace elements with the exception of As in 30% of the sampling stations and Cu in 20% of them. Pb has likely as its source the anthropogenic activity, since their highest concentrations (36.8 mg kg⁻¹) were found near the city of La Paz. The dated sediment core from the deepest part of the lagoon suggests a sedimentation rate, averaging 6.5 mm yr⁻¹, and an accumulation rate of 0.27 g cm⁻² yr⁻¹. The vertical profiles of the total concentrations of TEs in the core indicate an increase in the contribution of elements with terrigenous origin with opposite trend for biogenic elements, while contents of some elements such as Pb, Cu, Cr, among others, show the influence of sporadic events like hurricanes and/or pulses of contamination.

1. INTRODUCCIÓN

Hace más de tres décadas que la contaminación del ambiente marino ha sido intensamente estudiada. De los elementos químicos y sus compuestos existentes, algunos han sido reconocidos como potencialmente tóxicos para la biota marina, aun en bajas concentraciones. Los elementos potencialmente tóxicos (EPT) de origen antropogénico pueden poner en riesgo el desarrollo, reproducción y en ocasiones hasta la vida de los organismos (Clark, 2001; Salomons y Förstner, 1984). Los ambientes costeros a su vez están sujetos en mayor grado al impacto antropogénico a causa del acelerado crecimiento poblacional, la industrialización y la agricultura (Clark, 2001).

El exceso de EPT al medio marino proviene principalmente de la industria minera y metalúrgica, refinerías de petróleo, estaciones generadoras de electricidad, descargas urbanas y de dragados de zonas portuarias (Clark, 2001).

De forma natural los elementos traza son introducidos al ambiente marino a través de los ríos, por erosión de la costa, en los aerosoles desde la atmósfera, por las surgencias costeras y corrientes marinas, desde las ventilas hidrotermales, por difusión desde las aguas intersticiales de los sedimentos o por resuspensión de las partículas del lecho marino. (Libes, 1992; Chester, 2003).

En el contexto regional el estudio de los elementos traza (ET) en regiones áridas como la Laguna de La Paz y parte adyacente de la Bahía de La Paz, es de suma importancia para comprender los fenómenos químicos a los que son susceptibles, interpretar su participación en procesos biológicos, así como identificar los aportes naturales y antropogénicos de estos elementos al medio marino. Las fuentes naturales de ET derivan de la erosión e intemperismo de las rocas, el aporte atmosférico, así como de las lluvias intermitentes o de los escurrimientos torrenciales que ocurren en la temporada de ciclones. Sin embargo antes de la década de los noventas, no existían trabajos sobre la geoquímica de los sedimentos de la Laguna de La Paz, solo se hizo una evaluación microbiana en moluscos, encontrando altas concentraciones de bacterias coliformes en almejas (Gómez, 1978, Trejo y Mayoral, 1984). A principios de los noventas en el área continental adyacente a la laguna, la geoquímica de los depósitos fosfáticos del Terciario pertenecientes a la Formación El Cien, entre los que se encuentra el miembro San Juan y que contiene las capas fosfáticas, fue ampliamente descrita por Piper (1991). Por otra parte Pérez *et al.*, (1993) detectaron valores de Pb que eran superiores a la norma oficial de salud NOM-027-SSA1-1993 (1 µg Pb/g peso seco) en *Chione californiensis*. Durante la segunda parte de los 1990s, destacan trabajos sobre la distribución de los ETs en los sedimentos del área de estudio; los cuales reportan enriquecimientos anómalos de As, Cd, Se y Pb; entre otros. (Rodríguez Meza, 1999, Shumilin *et al.*, 2001). Sin embargo el material sedimentario en estas investigaciones se recolectó con draga, lo que genera mezcla de las distintas láminas del sustrato y por lo tanto una muestra no exclusiva de los sedimentos superficiales

En nuestro estudio se controló esta situación recolectando las muestras de forma manual por un buzo con lo cual podemos conocer los niveles actuales de ET con certeza. Por otra parte, en los estudios anteriores los ET fueron determinados principalmente por el análisis de activación neutrónica instrumental, el cual no permite detectar ciertos elementos, en especial algunos potencialmente tóxicos, tales como Cd, Cu y Pb. En nuestra investigación se aplicó una combinación del método de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) y ICP-AES que son métodos más modernos que permiten detectar en los sedimentos más de 60 elementos con buena precisión, exactitud y con un límite de detección muy bajo.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes generales

2.1.1. Elementos traza en el medio marino.

Los elementos traza (ET) son constituyentes del agua de mar que podemos encontrar en la fracción disuelta en concentraciones menores a 100 µmol kg⁻¹ (Millero, 2005). En los últimos años ha sido posible aumentar conocimientos sobre el comportamiento de los ET en los ambientes marinos y en particular en el agua de mar. Esto se debe principalmente al desarrollo de técnicas limpias para la recolección y procesamiento químico de las muestras de agua de mar, aunado al desarrollo de tecnologías, que permiten cuantificar las concentraciones muy bajas de ET, que se encuentran en el océano abierto (Bruland y Lohan, 2004).

Los ET disueltos presentan distintos tipos de comportamientos en la columna de agua. Ciertos elementos disueltos como el Cd, Ni y Zn tienen perfiles verticales similares a los macronutrientes como P y N, típicamente con muy bajas concentraciones en la superficie, las cuales aumentan conforme la profundidad (Chester, 2000). Otros como el Al, Mn, Co, Ce, Pb, Bi y Th son altamente reactivos en el agua de mar, son secuestrados por la materia particulada, por lo que tienen tiempos de residencia muy cortos y se encuentran en la fracción disuelta del agua oceánica en concentraciones extremadamente bajas (Millero, 2005). Algunos elementos como el Cr, As, Se, I, Te y Pu existen en el agua de mar en más de un estado de oxidación, sus distribuciones y comportamiento son variables, sus especies reducidas, termodinámicamente inestables, son formadas por mediación biológica y una vez en el agua de mar oxigenada tienden a ser oxidadas a su máximo número de oxidación (Bruland y Lohan, 2004, Chester, 2003). La mayoría de los elementos, aunque son aportados al océano de forma natural, caen en más de una categoría y otros han sido liberados al mar debido a la actividad humana y por eso sus perfiles cambian con el paso del tiempo. Así una de las motivaciones que impulsan este trabajo es la necesidad del entendimiento del comportamiento de estos.

Entre los principales transportadores de elementos traza al medio marino tenemos a la materia particulada suspendida (MPS), la cual por definición se considera como todas aquellas partículas suspendidas en el agua de mar con un tamaño mayor a 0.45 μ m. Que en zonas costeras se encuentran en concentraciones que van desde unos cuantos cientos de μ g⁻¹ hasta unos cuantos mg l⁻¹ (Millero, 2005).

La MPS consiste en una mezcla de componentes, algunos de estos denominados alóctonos o "componentes externos", que se originan en los continentes, estuarios o en la atmósfera y son traídos al océano principalmente por arrastre de los ríos y depositación atmosférica (Chester, 2000). Estos están conformados por productos del intemperismo de la corteza continental, principalmente por aluminosilicatos y en menor grado materia orgánica, coloides metalo-orgánicos además de óxidos y oxyhydroxidos de fierro (+3) y manganeso (+4), precipitados en ambientes fluviales y estuarinos. Este tipo de componentes tendrá mayores concentraciones, donde la influencia terrestre es más activa, y menores en el océano lejos de los continentes y grandes islas. Por otra parte, los componentes internos incluyen todo el material biológico (tejidos y conchas) y precipitados inorgánicos. Altas concentraciones de partículas biogénicas se presentan en áreas del océano con alta productividad primaria. La materia orgánica particulada, compuesta de organismos vivos y detritus, representa una gran fracción de la MSP y en gran parte de los océanos equivale a más del 50% (Chester, 2003). Algunos componentes formados en el interior de los mares no tienen un origen biogénico y se generan a partir de los componentes disueltos en el agua de mar. Estos incluyen a la barita (no biogénica), carbonatos y oxihidróxidos de fierro (+3) y manganeso (+4). Además de los componentes mencionados anteriormente, podemos encontrar ciertos materiales antropogénicos en la MPS, principalmente productos del drenaje, desechos de minería, desechos nucleares, hidrocarburos, pesticidas entre otros (Chester, 2003).

La composición de los sedimentos está fuertemente relacionada con la cantidad y composición de la MPS, especialmente en las zonas costeras, donde hay una mayor influencia de los continentes, por lo tanto, las condiciones físicas, químicas y biológicas son mucho más variables, que en el océano abierto. Los ambientes de depositación costeros incluyen estuarios, fiordos, bahías, lagunas, deltas, planicies intermareales, la plataforma continental y cuencas marginales. En

12

estos ambientes los sedimentos se depositan en condiciones con una gran variedad de parámetros químicos que van, por ejemplo, desde aguas oxigenadas hasta aguas totalmente anóxicas. Los sedimentos por su tamaño de grano incluyen gravas, arenas, arcillas y lodos, constituidos por una mezcla de compuestos terrígenos, autigénicos (hidrogénicos) y biogénicos (Chester, 2003).

La mayoría de los cambios que sufren los sedimentos una vez depositados, ocurren durante la diagénesis temprana (Froelich *et al.*, 1979). Los procesos diagenéticos están controlados por reacciones redox, que dependen a su vez de la descomposición del carbono orgánico y el agente oxidante que "consume" la materia orgánica. En los ambientes óxicos el oxígeno es el aceptor de electrones preferido, pero cuando el oxígeno se consume, se inicia el metabolismo anaeróbico, el cual utiliza agentes oxidantes secundarios, como especies aceptoras de electrones en función de su potencial termodinámico, como lo son nitratos, nitritos, óxidos de manganeso (+4), óxidos de fierro (+3) y sulfato, lo que comúnmente se conoce como secuencia diagenética (Libes, 2009).

2.1.2. Elementos traza en sedimentos marinos

Los ET pueden ser aportados al medio marino en forma disuelta y particulada a partir de fuentes naturales o antropogénicas, una vez en el mar estos elementos tienden a acumularse en los sedimentos por procesos de adsorción y precipitación. Inicialmente estos procesos se pueden considerar como benéficos ya que los elementos tóxicos son relativamente inactivados al ser retirados de la solución, sin embargo, a largo plazo la acumulación de los ET en los sedimentos puede resultar perjudicial debido a que pueden interactuar y alterar las poblaciones bentónicas (Caruso *et al.*, 2011). Desde el punto de vista analítico, los patrones de concentración de ET en los sedimentos marinos difieren ampliamente de aquellos del agua de mar (Gutiérrez, 2000) y por esta razón los sedimentos son considerados mucho mejores indicadores de contaminación que el agua de mar, además de ser indicadores muy valiosos del efecto de las distintas actividades humanas sobre el medio marino. En este mismo contexto, las distribuciones verticales de los ET en núcleos de sedimentos pueden inclusive proveer información acerca de la historia de contaminación por ET además de aportar información de las condiciones

ambientales en un área concreta al momento de la sedimentación (Valdés *et al.,* 2005). Información sobre las tendencias y periodicidad en el aporte de ET al medio marino puede ser obtenida utilizando series de tiempo (Shiller, 1997). Por otra parte, el análisis de los sedimentos puede indicar mecanismos de transporte de ET, además de identificar sitios donde se favorece la acumulación de los mismos (Ennouri *et al.,* 2010). Por lo tanto el análisis de las concentraciones de ET en los sedimentos marinos juega un papel importante en la evaluación del estado de contaminación del ambiente costero y puede ser usado para diferenciar las diversas fuentes de contaminación y sus tasas de acumulación y preservación, por todos estos motivos, el análisis de los sedimentos es una parte esencial de cualquier estudio de contaminación de la zona costera..

2.2. Antecedentes regionales

2.2.1. Golfo de California

El estudio de los ET en el Golfo de California (GC) se comenzó en la década de los 90's, enfocado principalmente a su distribución en los sedimentos. Se realizaron estudios sobre la distribución espacial de elementos traza en los sedimentos del Alto GC y Norte GC (Shumilin et al., 2002; Daesslé et al., 2004), de las bahías y lagunas costeras de la Península de Baja California (Shumilin et al., 2001), de ambientes hipersalinos (Shumilin et al., 2002b), bajo el efecto de desechos mineros en zonas circundantes (Rodríguez Figueroa, 2010; Marmolejo Rodríguez et al., 2011) y en ambientes geotermales e hidrotermales someros (Leal-Acosta, 2012). Se evaluó el efecto de ventilas hidrotermales sobre la concentración de elementos traza en MPS y materia particulada en hundimiento (MPH) colectadas sobre los campos hidrotermales de la Cuenca de Guaymas (Tambiev y Demina, 1992). También fuera de la zona de influencia hidrotermal se pudieron identificar dos diferentes fuentes de aporte terrígeno hacia los sedimentos de la parte central del GC, una derivada de rocas volcánicas mafias originadas en la Sierra Madre Occidental y otras también de origen volcánico pero con una composición dominantemente félsica derivadas del aporte del Río Colorado (Dean et al., 2004).

Para la región del GC y en todo México son escasas las investigaciones que tratan los ET presentes en la fracción disuelta y particulada del medio marino. Entre los primeros trabajos en este aspecto se destaca el estudio de la biogeoquímica del Cd y Mn, reportando un enriquecimiento de Cd, generado por la intensa mezcla vertical que ocurre en la región de las grandes islas (Delgadillo-Hinojosa *et al.,* 2001, 2006). Este grupo de trabajo analizó también el Fe disuelto por arriba de los 600 m en la región norte del GC, relacionando el enriquecimiento de este elemento con fuentes atmosféricas (Segovía-Zavala *et al.,* 2009, 2010) y además indicó que el Fe disuelto se presenta en concentraciones 12 veces mayores en el GC, que en la región colindante del Pacifico.

Los estudios sobre la MPH son todavía más escasos. En la región de la Bahía de La Paz se cuenta con resultados de una serie de estudio que se realiza en la Cuenca Alfonso desde el 2002 hasta la fecha, el cual mostró, en particular, una fuerte relación entre la composición de la MPH y el aporte terrígeno, así como una fuerte influencia de los huracanes sobre los flujos de elementos particulados terrígenos en esta cuenca (Silverberg *et al.,* 2007; Rodriguez-Castañeda, 2008; Choumiline, 2012).

2.2.2. Laguna de La Paz

En la Laguna de La Paz existen estudios anteriores sobre las distribuciones de elementos traza en los sedimentos, uno de los primeros fue realizado por Méndez y colaboradores (1998), en el cual se estudiaron 12 muestras de sedimentos superficiales (profundidad de 6 m) de la Laguna de La Paz y su canal de comunicación con la Bahía de La Paz. En este trabajo se reportaron las concentraciones de 6 metales (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn) en los sedimentos superficiales. Otro estudio sobre los ET en sedimentos superficiales de la laguna fue hecho por Rodríguez Meza (1999) y Shumilin y colaboradores (2001). En estos se construyeron mapas de distribución espacial de la concentración de varios elementos en los sedimentos superficiales y aplicando el método estadístico multivariado de análisis de factores, se demostró la existencia de asociaciones de elementos de origen terrígeno, biogénico marino y antropogénico, así como también se encontró un enriquecimiento natural de As, Se, Sb y Cd. Usando estas mismas muestras también

se determinó la distribución del Hg, mostrando un empobrecimiento natural de este elemento (Kot *et al.*, 1999). Green-Ruiz (2000), usando el método de absorción atómica, caracterizó la distribución y geomovilidad de algunos metales pesados en los sedimentos superficiales de esta laguna y región adyacente a la Bahía de La Paz. Por último, Romero Bañuelos (2003) determinó las concentraciones de Al, Fe, Mn, Cu y Cd en la MPS a lo largo de 7 estaciones dentro de la Laguna de La Paz en distintas estaciones del año, mostrando enriquecimientos de los elementos analizados comparándolos con aquellos reportados para la corteza terrestre (Wedepohl, 1995).

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de la Paz (Fig.1) se localiza en el estado de Baja California Sur, sobre la costa occidental del GC entre las latitudes 24.1 y 24.2 norte y las longitudes 110.3 y 110.45 oeste (Fig. 1). El área de estudio es un cuerpo costero somero con profundidades menores a 10 m, una superficie aproximada de 45 km² v un volumen de 145x10⁶ m³, conectado a la Bahía de La Paz por un canal de mareas de 3 km de largo y 1.5 km de ancho (Gilmartin y Relevante, 1978). Esta laguna está rodeada en sus extremos este y sureste por la Ciudad de La Paz, la cual cuenta actualmente con población una de más de 260 mil habitantes (INEGI, 2010).





El clima predominante en la región por sus temperaturas y precipitación, según la escala propuesta por Köppen es del tipo árido seco cálido BW (h')h w(e), con una temperatura media anual mayor a 24 °C, las precipitaciones se presentan principalmente de junio a octubre y no exceden los 200 mm año⁻¹ (Cruz Falcón, 2007).

En el invierno los vientos provienen del noroeste con velocidades medias de 2 a 3 m s⁻¹, alcanzando en ocasiones los 4 m s⁻¹ y rachas de 10 m s⁻¹, durante el verano los vientos vienen del sur, registrando intensidades promedio de 2 a 3 m s⁻¹ (Robles Gil-Mester, 1998)

3.1. Características de los sedimentos

Por la composición de sus sedimentos la Laguna de La Paz se divide en cuatro zonas (Green Ruiz, 2000) (Fig. 2): 1) parte norte con predominancia de material arenoso; 2) la parte sur con lodos y arenas; 3) la parte central presenta sustrato arenoso y algunas zonas de lodo con altos niveles de materia orgánica y 4)la parte periférica, cuya composición sedimentaria se ve afectada por el escurrimiento fluvial y las descargas de aguas residuales (Cruz Orozco, 1989). El cuarzo es el mineral predominante (60% - 80%), mientras que fragmentos de roca, calcita biogénica y minerales ferromagnesianos se encuentran en menor abundancia (Green Ruiz, 2000).



Figura 2. Distribución del tamaño de grano en los sedimentos de la Laguna de La Paz en el año 1998 (Green Ruíz, 2000).

3.2. Hidrología

La batimetría de la Laguna de La Paz se caracteriza por profundidades menores de 2 m en más del 50% de su área y dos depresiones ubicadas al norte (7 m) y al sur (4 m). Esta laguna se considera como un cuerpo de agua hipersalino con características antiestuarinas. La temperatura de sus aguas incrementa de 20°C en enero a 31°C en agosto y disminuye de 30°C a 21°C de septiembre a diciembre. La salinidad promedio anual de este cuerpo costero es de 36.4 u.p.s con su mayor salinidad en la temporada cálida (>38 u.p.s.) y la menor en el otoño (<35 u.p.s.) (Cervantes Duarte *et al.*, 2001).

El tipo de marea en la Laguna de La Paz es mixto, con predominancia semidiurna, registrando corrientes de marea por bombeo a través del canal principal del rango entre 15-100 cm s⁻¹ (Figura 3). El tiempo de residencia de sus aguas es de 4.55 periodos de marea. Vientos fuertes sobre la Laguna de la Paz ocasionan una mezcla vertical completa de la columna de agua y si estos son persistentes por varios días, generan una corriente de compensación en el fondo (Salinas González, 2000).





Figura 3.- Esquema de circulación en la Laguna de La Paz, (a) flujo (b) reflujo (tomado de Salinas González, 2000).

3.3. Marco geológico

La zona en estudio se encuentra rodeada al oeste por las subprovincia geológica de la Sierra de La Giganta mientras que al sur y este encontramos la subrovincia de la Región del Cabo. Se destaca la Formación El Cien, compuesta por rocas sedimentarias marinas y en particular por las rocas fosfáticas, enriquecidas en Cd, As y U. El área se encuentra en una zona tectónica, relativamente activa por la existencia de fallas normales y de rumbo debidas a la expansión del fondo oceánico del GC, las cuales forman los pilares tectónicos de Sierra de La Giganta, Sierra de la Laguna y Sierra de las Cruces (Fletcher *et al.*, 2003).

Choumiline (2009) caracterizó las provincias sedimentarias en la Laguna de La Paz en función a los minerales pesados, generando 4 distintas zonas: a) zona Norte con influencias del intemperismo y erosión de rocas marinas de la Formación El Cien; b) zona Oeste con aporte de sedimentos generados por rocas terrestres de la Formación Lomas de La Virgen; c) zona Sureste influenciada por la erosión de rocas graníticas de la sierra de Las Cruces además rocas metamórficas y extrusivas de la Formación Comondú; y por último, d) la zona Este que refleja el aporte desecuencias volcanoclásticas, conglomerados volcánicos, asi como rocas metamórficas y extrusivas.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1. Justificación

El estudio de los ET es de suma importancia para comprender su participación en procesos biológicos, así también para identificar aportes naturales y antropogénicos de los ET al medio marino.

La Laguna de la Paz se localiza en una región semiárida, expuesta al aporte natural de los ET debida a la erosión causada por el viento y las lluvias que ocurren en la temporada de ciclones.

El aporte antropogénico de los elementos en estudio puede estar relacionado con el rápido crecimiento que ha experimentado la Ciudad de La Paz en las últimas décadas, en particular se desconoce el impacto que ha generado la infraestructura necesaria para cubrir las necesidades de la población, como son el puerto Pichilingue, las instalaciones de PEMEX, CFE y en especial el efecto de la empresa minera "ROFOMEX" sobre la concentración de elementos potencialmente tóxicos (As, Cu, Pb y Zn) en los sedimentos del área en estudio.

En la Laguna de La Paz existen estudios anteriores sobre las distribuciones de los ET en sedimentos superficiales, para los cuales se usó un muestreo de 1996, sin embargo las muestras fueron tomadas usando una draga, lo que no representaba específicamente la capa superficial de los sedimentos. Por ello, en este estudio se propuso recolectar únicamente el primer centímetro de los sedimentos superficiales. Además en esta investigación se utilizó un método analítico (ICP-OES y ICP-MS) que permite analizar una mayor cantidad de elementos presentes en la Tabla Periódica de elementos. Otra razón para realizar este trabajo es que desde el último muestreo (1996) la población de la Ciudad de la Paz ha crecido en más de 60 000 habitantes (INEGI, 2010), por lo que resulta necesario conocer los niveles actuales de estos elementos con el fin de descartar cualquier posible riesgo para la salud, así como para proponer un esquema de monitoreo a futuro de los ET en la Laguna de La Paz.

4.2. Hipótesis

Los enriquecimientos de ET en la Laguna de La Paz se deben principalmente a la composición química de las formaciones geológicas adyacentes y en menor grado se ven influenciados por las actividades antropogénicas que se dan en la Ciudad de La Paz.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Conocer los fenómenos que controlan la distribución de elementos en los sedimentos de la Laguna de La Paz con la finalidad de establecer el grado de contaminación actual, sus posibles fuentes y la historia de acumulación de los mismos.

5.2. Objetivos particulares

- Generar la distribución espacial del tamaño de grano en los sedimentos de la Laguna de La Paz.
- 2) Caracterizar los niveles actuales (concentraciones totales) de los elementos traza en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.
- 3) Obtener las principales asociaciones de elementos traza en sedimentos superficiales y los patrones de distribución espacial de sus concentraciones.
- 4) Determinar las tasas de sedimentación y acumulación de los sedimentos en la zona profunda de la Laguna de La Paz.
- 5) Caracterizar las principales de asociaciones de elementos traza en el núcleo de sedimentos, así como los patrones de distribución vertical de sus concentraciones.
- 6) Determinar los factores de enriquecimiento e índices de calidad de los sedimentos superficiales y en el núcleo.

6. METODOLOGÍA

6.1. Recolecta de las muestras

6.1.1. Sedimentos superficiales

Durante febrero del 2013, a bordo de la embarcación "CICIMAR XIII" se recolectaron 91 muestras de sedimentos superficiales (Fig. 4) del primer centímetro de profundidad, por un buzo utilizando un tubo de policarbonato. Como se observa en la figura 4 la red de muestreo es uniforme e inicia desde la barrera arenosa El Mogote y se extiende en la totalidad de la Laguna de La Paz.



Figura 4. Distribución de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales en la Laguna de La Paz y el canal de comunicación con la Bahía de La Paz.

6.1.2. Núcleo de sedimentos

Adicionalmente en el sistema lagunar se recolectó un núcleo de sedimentos de 46 cm de longitud usando un nucleador de gravedad con un tubo de policarbonato, localizado en las coordenadas 24.15N y -110.41W (Fig. 4), a una profundidad de 8 metros y fue tomado desde la embarcación "CICIMAR XIII".

6.2. Preparación de las muestras

6.2.1. Sedimentos superficiales

Una vez que se tuvieron las muestras de sedimentos superficiales a bordo de la embarcación, se guardaron en bolsas plásticas y se refrigeraron. Después en el laboratorio estas se pusieron a secar en un horno de madera, aquellas que presentaban exceso de humedad fueron liofilizadas durante 24 hrs. Una fracción de cada muestra fue destinada al análisis granulométrico. Otra fracción se secó a 60 °C durante 48 horas y después las muestras fueron homogenizadas con un mortero de ágata y se fraccionaron para los análisis de concentración total de ET del carbono total y orgánico de los sedimentos.

6.2.2. Núcleo de sedimentos

El núcleo de 46 cm de longitud fue seccionado en intervalos de 1 cm. Cada una de los horizontes fue pesado en húmedo y posteriormente del secado a 60 °C se volvió a pesar con el propósito de conocer la densidad relativa en seco. Una vez secas las muestras se homogenizaron con un mortero y pistilo de ágata.

6.3. Análisis de las muestras

6.3.1. Análisis granulométrico

Los sedimentos superficiales fueron tamizados a través de un tamiz con una luz de malla de 2.8 phi para separar las arenas de las gravas pequeñas. La fracción restante, compuesta de arenas gruesas hasta las arcillas se le eliminó la materia orgánica utilizando peróxido de hidrógeno al 30 %, posteriormente se agregó hexametafosfato como agente dispersante para eliminar cualquier agregado de sedimentos que pudiera haber quedado. Para determinar la distribución de tamaños se analizó la muestra en suspensión directamente en un analizador de partículas marca HORIBA modelo LA-950V2, el cual posee la capacidad de realizar mediciones de partículas con tamaños de 0.01 µm hasta 3000 µm.

6.3.2. Determinación del carbono orgánico

El procedimiento para la medición del carbono orgánico se realizó en el laboratorio particular ACTLABS en Canadá. Este método permite determinar las especies orgánicas más volátiles de carbono. Una muestra de 0.1 g se calentó en un ambiente de oxígeno puro a 380 °C, liberando las especies volátiles orgánicas de carbono, estas son oxidadas por el oxígeno para formar CO y CO₂, siendo la mayoría de CO₂. El carbono se midió como bióxido de carbono en la celda de infrarrojos como el flujo de gases a través de las celdas de IR. El bióxido de carbono absorbe la luz

infrarroja en una longitud de onda de 425 nm dentro del espectro infrarrojo en un instrumento: ELTRA CW-800. El CO₂ se libera de las trazas de H₂O pasando por una trampa de humedad antes de la detección de dióxido de carbono en la célula de infrarrojos.

6.3.3. Concentraciones totales de elementos mayores y traza

Las muestras de sedimentos superficiales fueron analizadas en el laboratorio comercial "ACTLABS" (Ancaster, Ontario, Canadá). 0.25 g se sometieron a una digestión total (Loring *et al.*, 1992 con una mezcla de ácidos fuertes (HCIO₄-HNO₃-HCI-HF) a 260 °C hasta que casi estuvieron secas. A continuación se volvieron a diluir con agua regia y se sometieron al análisis de ICP-MS en un instrumento marca Perkin Elmer ELAN 6000 Sciex para los elementos traza. Por su parte, las concentraciones totales de AI, Ca, Fe, P, S y Ti fueron analizadas mediante la espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo marca Varian. Para asegurar la exactitud del método se incluyó como control el estándar internacional "MESS-3" (Consejo Nacional de Investigación, Canadá) mostrando buenos valores de recuperación y precisión (Tabla 1).

Elemento	Límte de detección mg kg ⁻¹	Porcentaje de Recuperación (%)	Precisión (%)
As	0.1	82	1.8
Cd	0.1	97.2	24.7
Cu	0.2	98.2	20
Cr	0.5	110	5.7
Li	0.5	93	1.6
Р	10	91	3.8
Pb	0.5	99	7.8
Se	0.1	85	13
U	0.1	95	10

Tabla 1	. Control de	Calidad de	algunos	elementos	analizados.
i abia i		oundud do	aiganoo	010111011100	ananzaaoo.

6.3.4. Fechación del núcleo de los sedimentos con Pb-210 no soportado.

Las tasas de sedimentación se obtuvieron con el método radiométrico del ²¹⁰Pb, el cual es un isótopo radioactivo con una vida media de 22.26 años, por lo que resulta útil para fechaciones de 100 a 130 años. El ²¹⁰Pb es un producto de la serie de decaimiento radioactivo del ²³⁸U. Como principio este método presume un equilibrio en las concentraciones de los productos del decaimiento del ²³⁸U en los sedimentos y en que existe un aporte constante de ²¹⁰Pb vía atmósfera a los sedimentos, el cual se considera como en exceso, por ser originado del decaimiento del ²²²Rn, que es un gas y es liberado desde las rocas a la atmósfera, una vez en esta sigue su decaimiento radioactivo hasta convertirse en ²¹⁰Pb y precipitarse incorporándose a los sedimentos.

La medición del ²¹⁰Pb se realizó a través de la detección de partículas alfa del ²¹⁰Po, aprovechando la condición de equilibrio secular entre estos dos isótopos. Aunque el decaimiento del ²¹⁰Pb en exceso a lo largo del núcleo es exponencial, de manera práctica la tasa de sedimentación se calcula graficando el logaritmo natural de la actividad del ²¹⁰Pb contra la masa seca acumulada.

6.3.5. Concentraciones totales de los elementos en el núcleo.

Las concentraciones totales de ET en los distintos horizontes del núcleo de sedimentos se determinaron siguiendo el mismo procedimiento que para los sedimentos superficiales descrito en la sección 6.3.3.

6.3.6. Tratamiento de los datos

- Se calcularon los parámetros estadísticos básicos (valor mínimo, máximo, media y desviación estándar) para las concentraciones de ET en las muestras de sedimentos.
- Se calculó el factor de enriquecimiento (FE) con la fórmula, propuesta por Salomons y Förstner (1984):

	$[Elemento]_{muestra}$
<u>FE =</u>	[Elemento normalizador] _{muestra}
	[Elemento] _{corteza}
	[Elemento normalizador] _{corteza}

FE	Tipo de enriquecimiento
FE < 1	Inexistente
1 < FE < 3	Menor
3 ≤ FE < 5	Moderado
5 ≤ FE < 10	severamente moderado
10 ≤ FE < 25	Severo
25 ≤ FE < 50	muy severo
FE ≥ 50	extremadamente severo

- Se realizó el análisis de factores por componentes principales con el programa STATISTICA^R para conocer las asociaciones entre los elementos.
- Se compararon las concentraciones de los ET obtenidas con los criterios propuestos por Long *et al.* (1995) para conocer la posible afectación de los organismos.
- Se elaboraron los mapas de distribución de las concentraciones y factores de enriquecimiento de los elementos traza en los sedimentos superficiales con el programa Surfer10.

7. RESULTADOS

7.1 Composición de los sedimentos superficiales

7.1.1. Textura de los sedimentos superficiales

Los sedimentos más gruesos (gravas medias) se encuentran en la porción externa del canal de mareas, en el canal predominan tamaños que van desde arenas medias hasta gravas finas. Esta distribución de las mayores tallas en el canal de mareas concuerda con la existencia en ese lugar, de las corrientes con las máximas velocidades (Salinas, 2000). Los limos y arcillas se distribuyen en las partes de la laguna donde las corrientes son menores, como lo son la parte mas profunda de la laguna al oeste y la porción sur que presenta profundidades menores a tres metros (Fig. 5).



Figura 5. Tamaño de grano (ϕ) predominante en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

7.1.2. Concentraciones del carbono orgánico en sedimentos superficiales

La figura 6 muestra que las mayores concentraciones de C_{org} (10 %) en la Laguna de La Paz se encuentran en las afueras del canal de mareas. En la zona oeste de la laguna las concentraciones rondan por el 6%, en el resto de la laguna son menores al 3 %.



Figura 6. Concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

7.1.3. Contenido de los elementos mayores

En la figura 7 se presenta la distribución espacial de la concentración total del aluminio, la cual tiene una distribución muy homogénea que varía entre 5.5 y 8.75 %. Las concentraciones más bajas se encuentran en la parte externa del canal y son inferiores al 2 %.



Figura 7. Distribución de la concentración total de aluminio en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.
Para el caso del calcio (Fig. 8) es posible apreciar que las concentraciones más altas de 31 % se encuentran en la parte externa del canal de mareas de la laguna, mientras en la parte interna del cuerpo costero se registran concentraciones que varían desde 1% hasta 26%.



Figura 8. Distribución de las concentraciones totales de Ca en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

Las concentraciones totales del hierro fluctúan entre 0.1 y 5%, sus mayores concentraciones coinciden con zonas donde se presentan los sedimentos más finos y con la desembocadura del arroyo El Cajoncito (Fig. 9).



Figura 9. Distribución de las concentraciones totales de Fe en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

El fósforo presenta concentraciones del orden entre 0.1 y 0.3 % en la mayor parte de la superficie de la Laguna de La Paz, sin embargo, sus concentraciones tienden a aumentar hasta 1% conforme se acercan a la barrerarenosa de El Mogote en su pare más angosta cerca del estero Zacatecas (Fig. 10).



Figura 10. Distribución de las concentraciones totales de fósforo en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

.

Las menores concentraciones de azufre 0.05 % concuerdan con la zona de corrientes más intensas localizada en el canal de mareas, al internarse a la laguna las concentraciones aumentan hasta sus valores máximos que se registran en las depresiones al oeste de la laguna, en la zona de la antigua descarga de aguas residuales y en la parte externa del canal de navegación estos máximos corresponden claramente con las zonas con predominancia de sedimentos finos y de aquellas con los mayores contenidos de materia orgánica (Fig. 11).



Figura 11. Distribución de las concentraciones totales del azufre en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

Las menores concentraciones de titanio (0.02 - 0.12 %) se encuentran en el canal de mareas y zona adyacente, al adentrarse en el cuerpo costero se da un ligero incremento, resaltando dos puntos máximos el mayor (0.6 %) que corresponden a los sedimentos más finos y que se encuentran en la zona de descarga de aguas residuales y otro al norte de Punta Comitán (0.42 %) (Fig. 12).



Figura 12. Distribución de las concentraciones totales de Ti en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

7.1.4. Contenido de ET en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz

Las concentraciones totales de ET en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz se presentan en su totalidad en el Anexo 1. Éstas fueron comparadas con las de la corteza terrestre superior (Wedepohl, 1995). El contenido del Se sobrepasa las concentraciones de la corteza continental superior en todas las estaciones. Los contenidos del As, Cd, Cu, P y Sr los rebasan en su valor de media y máximo. Los contenidos de Cr, Pb, U y V lo sobrepasan en al menos una estación (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración total de elementos en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz que sobrepasan los valores de la corteza terrestre, en rojo se presentaron los valores que sobrepasaron los de la corteza terrestre (Wedepohl, 1995).

	As	Cd	Cr	Cu	Р	Pb	Se	Sr	U	V
min max.	1.2 - <mark>29.1</mark>	0.1 - <mark>1.2</mark>	2.5 - <mark>129</mark>	2.6 - 70.2	0.04 - <mark>0.93</mark>	3.5 - <mark>36.8</mark>	0.1 - 1.3	269 - <mark>1000</mark>	0.5 - <mark>6.4</mark>	8 -125
X±D.S.	<mark>8</mark> ±5.5	0.3 ± 0.2	29 ± 21	<mark>18</mark> ± 6.3	0.22 ± 0.2	11.1 ± 4.9	0.6 ± 0.3	660 ± 228.5	2.2 ± 1.2	44 ± 22
Corteza*	2	0.102	35	14.3	0.07	17	0.083	316	2.5	53

7.1.5. Distribución espacial de las concentraciones de los elementos que sobrepasan los niveles de la corteza terrestre.

Como es posible apreciar en las figuras 13, 14,15, 16 y 17, las mayores concentraciones de arsénico (29.1 mg kg⁻¹), cadmio (1.2 mg kg⁻¹), cromo (129 mg kg-1), uranio (6.4 mg kg⁻¹) y vanadio (125 mg kg-1) se encuentran próximas a la parte más angosta de la barrera arenosa de El Mogote.



Figura 13. Distribución espacial de las concentraciones totales del arsénico en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.



Figura 14. Distribución espacial de las concentraciones totales de cadmio en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.



Figura 15. Distribución espacial de las concentraciones totales de cromo en los sedimentos superficiales la de Laguna de La Paz.



Figura 16. Distribución espacial de las concentraciones totales de uranio en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.



Figura 17. Distribución espacial de las concentraciones totales de vanadio en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

Las concentraciones totales del Pb para toda la superficie de la laguna se mantienen por debajo de los 18 mg kg⁻¹, con excepción de una mancha con concentraciones que alcanzan los 36.8 mg kg⁻¹ situada a un costado del malecón turístico que se encuentra a un costado de la Ciudad de La Paz a la altura del Muelle Fiscal (Fig. 18).



Figura 18. Distribución espacial de las concentraciones totales de Pb en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

No existe un patrón claro de distribución en las concentraciones de selenio (Fig. 19), lo que sí es posible apreciar es que los valores más bajos (0.05 mg kg⁻¹) se presentan en el canal de mareas y su nivel máximo (2 mg kg⁻¹) se alcanza en la zona adyacente a la barrera de El Mogote.



Figura 19. Distribución de las concentraciones totales de Se en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

La distribución espacial del Sr no es muy regular, lo que vale la pena resaltar es que su menor concentración de 250 mg kg⁻¹ se registró en la zona profunda de la laguna (Fig. 20) donde se encuentran los sedimentos más finos.



Figura 20. Distribución espacial de las concentraciones totales de Sr en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

Como sucede para muchos ET, las altas concentraciones se registran en sedimentos finos (Chester, 2001). Tal es el caso del Cu cuyas concentraciones más bajas se encuentran en el canal de mareas donde, encontramos los sedimentos más gruesos, al interior de la laguna y conforme disminuye el tamaño de grano predominante se registraron mayores concentraciones totales de cobre, teniendo dos máximos (65 mg kg⁻¹): uno en la zona cercana a las instalaciones del CIB, donde encontramos sedimentos finos y otro en la antigua descarga de aguas residuales de la Ciudad de La Paz que existía antes de 1988.(Fig. 21).



Figura 21. Distribución espacial de las concentraciones totales de Cu en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

7.1.6. Análisis de factores

La matriz de salida del análisis de factores se muestra en la Tabla 3. El factor 1 (41.4 % de la varianza explicada) agrupa con valores positivos altos al As, Cd, U, P, Y, y a todos los elementos del grupo de los lantánidos. El factor 2 (22.6 %) con valores positivos engloba a algunos elementos abundantes de la corteza terrestre como el Li, Mn, Fe, Ni, Cs, Co, Sc y Ti. El factor 3 (12%) agrupa con valores positivos a elementos como Al, Be, Tl, Th, Zr y Bi también de origen terrígeno y con valores negativos al carbono orgánico, Ca y Sr que nos indican la contribución biogénica de los sedimentos compuesta principalmente por fragmentos calcáreos, principalmente de conchas de los moluscos. Tabla 3. Matriz de salida del análisis de factores de los sedimentos superficiales, en rojo se presentan los valores de correlación más elevados que sugiere asociación entre elementos del mismo factor.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Corg	-0.42	-0.07	-0.80
Li	-0.01	0.90	0.26
Al	0.19	0.00	0.80
Ca	-0.26	-0.17	-0.83
Cd	0.95	-0.07	-0.12
V	0.74	0.55	0.18
Cr	0.81	0.17	0.03
Mn	0.61	0.73	0.13
Fe	0.45	0.82	0.25
Ni	0.39	0.73	-0.47
Er	0.98	0.08	0.08
Be	0.02	0.13	0.88
Но	0.98	0.08	0.08
Cs	-0.05	0.89	0.25
Со	0.40	0.81	0.20
Eu	0.95	-0.11	0.22
Bi	-0.03	0.32	0.61
Ga	0.15	0.50	0.67
As	0.94	-0.03	-0.02
Rb	0.03	0.23	0.67
Y	0.99	0.00	0.03
Sr	-0.33	-0.52	-0.62
Zr	0.11	0.29	0.61
Nb	-0.21	0.74	0.42

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Sn	-0.11	0.65	0.39
Sb	-0.08	0.64	0.15
Ba	0.05	-0.60	0.70
La	0.98	-0.07	0.07
Ce	0.97	0.05	0.10
Pr	0.99	0.01	0.10
Nd	0.99	0.02	0.09
Sm	0.99	0.06	0.10
Gd	0.99	0.05	0.09
Tb	0.98	0.08	0.11
Dy	0.99	0.08	0.08
Cu	-0.07	0.78	0.11
Tm	0.96	0.03	0.03
Yb	0.98	0.08	0.11
Lu	0.93	0.10	0.01
Та	-0.20	0.65	0.43
W	-0.25	0.66	0.40
Pb	-0.11	0.15	0.64
Sc	0.70	0.61	0.05
Th	0.54	0.36	0.61
U	0.86	-0.04	-0.33
Ti	-0.04	0.80	0.44
Р	0.94	-0.13	-0.12
S	-0.17	0.76	-0.45

7.1.7. Selección de un elemento normalizador

Para poder calcular el factor de enriquecimiento es necesario contar con un elemento normalizador efectivo. Esto varía para cada región en función de la granulometría, mineralogía y las propiedades químicas de las diversas rocas constituyentes de las formaciones geológicas. Para la Laguna de La Paz se evaluaron distintos elementos de origen terrígeno como el Al, Co, Cs, Li, Sc, Ti y Th generando una regresión lineal con algún elemento que pudiera presentarse como contaminante y en este caso se usó el Zn como elemento de referencia ya que es un elemento que se puede aportar por la actividad antropogénica (Fig. 22).



Figura 22. Regresión lineal-elemento normalizador vs elemento referencia: a) Li, b) Cs, c) Th, d) Al, e) Sc, f) Ti y g) Co.

Como lo muestra la figura 22a el litio resultó ser el mejor normalizador para el área de estudio debido a que presentó el coeficiente de correlación (R²) más elevado (0.88) con el Zn

7.1.8. Factor de enriquecimiento

El tamaño de grano y el origen de los sedimentos son los dos parámetros más significativos que controlan la variabilidad de los contenidos de elementos traza en los sedimentos, por lo que deben de ser compensados por cualquier procedimiento de normalización. Como se mencionó en el apartado anterior se seleccionó el Li como elemento normalizador y los resultados del factor de enriquecimiento se presentan completos en el anexo 2. En la tabla 4 solo se presentan los elementos con los factores de enriquecimiento más elevados.

Tabla 4. Estadísticos básicos de los factores de enriquecimiento de los elementos significativos.

	Se	As	Р	Cd	Sr	U	Cu	Pb
promedio ± des. std.	10.3 ± 9.1	5.2 ± 4.5	4.6 ± 4.9	3.6 ± 3.5	3.4 ± 3.1	1.3 ± 1.1	1.2 ± 0.7	0.8 ± 0.5
min	1.3	0.9	0.6	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
max	67.8	20.1	21.7	16.7	16.2	5.1	5.2	3.0

La figura 23 nos muestra los valores de FE promedio que sobresalen y se encuentran en el siguiente orden de magnitud: Se> As>P > Cd > Sr > U > Cu > Pb. Estos resultados evidencian que el Se presenta un enriquecimiento severo, el As por su parte se clasifica como severamente moderado, mientras que el P, Cd y Sr están moderadamente enriquecidos. La tabla 4 muestra también que el U, Cu y Pb no presentan enriquecimiento en su valor promedio, sin embargo en los sedimentos de algunas estaciones si se encuentran moderadamente enriquecidos.



Figura 23. Factor de enriquecimiento promedio altos para algunos ET en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

El color rojo significa enriquecimientos severamente moderados, el amarillo moderados y el verde enriquecimientos menores o inexistentes para el caso del Pb.

7.1.9. Distribución espacial de los factores de enriquecimiento de los elementos enriquecidos

Al ver la distribución espacial del factor de enriquecimiento de P (Fig. 24) Cd (Fig. 25), As (Fig. 26) y U (Fig. 27) en los sedimentos superficiales de la laguna es posible observar que los mayores enriquecimientos de estos elementos se encuentran adyacentes a la parte más angosta de la barrera arenosa de El Mogote. Ésta similitud nos sugiere que estos elementos tienen una misma fuente.



Figura 24. Distribución del factor de enriquecimiento de fósforo en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.



Figura 25. Distribución del factor de enriquecimiento de cadmio en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.



Figura 26. Distribución del factor de enriquecimiento de arsénico en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.



Figura 27. Distribución del factor de enriquecimiento de uranio en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

La distribución del FE del estroncio nos indica que gran parte de la superficie de la laguna se encuentra por debajo del nivel de enriquecimiento moderado, sin embargo, se pueden apreciar zonas en las que existe un aumento en el FE siendo la más evidente la que se encuentra fuera del canal de mareas (Fig. 28). Estas zonas de mayor enriquecimiento, coinciden con las mayores concentraciones de calcio además que coinciden también con las partes de la laguna donde existe una predominancia de sedimentos gruesos representados en su mayoría por fragmentos de conchas por lo que podemos deducir que este se encuentra co-precipitado con su análogo químico el Ca, además de que el análisis de factores también los agrupa en un mismo factor.



Figura 28. Distribución del factor de enriquecimiento de estroncio en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

En casi la totalidad de la Laguna de La Paz se puede considerar que el plomo se encuentra no enriquecido (Fig. 29). Sin embargo resaltan dos zonas, donde el FE de plomo en los sedimentos superficiales alcanza niveles moderadamente enriquecidos. Estos sitios se encuentran junto al malecón de La Paz, donde convergen varios arroyos que fluyen por las calles de la ciudad en tiempos de lluvias.



Figura 29. Distribución del factor de enriquecimiento de plomo en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

El FE del selenio en la Laguna de La Paz se encuentra por arriba de un enriquecimiento moderado resaltando un punto en las afueras de la laguna, en donde el FE alcanza un valor de 67.5, lo cual es considerado como altamente enriquecido (Fig. 30).



Figura 30. Distribución del factor de enriquecimiento de Se en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

7.2 Núcleo de sedimentos

7.2.1. Fechación del núcleo de sedimentos.

Para conocer las tasas de sedimentación y de acumulación de los sedimentos, así como para tratar de reconstruir la historia de aporte de ET en la porción más profunda de la Laguna de La Paz, se fechó un núcleo de sedimentos finos mediante el método del Pb-210 en exceso, el cual nos permite datar sedimentos de hasta 120 años. Los resultados muestran que la actividad del Pb-210 en exceso en los distintos horizontes de núcleo presenta un decremento hasta los 27 cm de profundidad (Fig. 31). Para conocer los valores de fondo se tomaron dos mediciones del Ra-226 obteniendo un valor de 0.435 DPM.





Para conocer la tasa linear de sedimentación se graficó la actividad del Pb-210 en exceso vs la profundidad (Fig. 32) y con una regresión linear se calculó la sedimentación asumiendo la profundidad a la cual se consumió la mitad del Pb-210 en exceso, al resolver la ecuación que se incluye en la figura 32, se obtuvo una tasa de sedimentación de 6.5 mm año⁻¹.



Figura 32. Logaritmo natural de la actividad del Pb-210 en exceso vs profundidad.

Con el propósito de conocer la tasa de acumulación lineal de los sedimentos en la porción profunda de la laguna se graficó la actividad del Pb-210 en exceso en función a la masa seca acumulada en cada capa de espesor de 1 cm de horizonte correspondiente (Figura 33) y con la regresión lineal se calculó una tasa de acumulación de 0.27 g cm⁻² año⁻¹ teniendo las mismas consideraciones que el caso anterior.



Figura 33. Gráfica de la actividad del Pb-210 en exceso en función de la masa seca acumulada.

A partir de la información anterior se puede asignar una edad a cada sección del núcleo (Fig. 34), con lo cual hace posible a su vez reconstruir la historia de aporte de elementos a la Laguna de La Paz.



Figura 34. Edad de los sedimentos según la profundidad (puntos negros corresponden al modelo CRS, los puntos blancos a las edades calculadas con la regresión lineal).

El modelo CRS (constant rate of supply) nos permite no solo conocer la tasa de acumulación promedio, sino también estimar la tasa de acumulación en cada sección del núcleo como se muestra en la Figura 35.



Figura 35. Tasa de acumulación de los sedimentos vs edad en el núcleo de la Laguna de La Paz.

7.2.2. Contenido de las formas de carbono en el núcleo de sedimentos

La figura 36 muestra que el carbono total presenta una tendencia regular con niveles que van de 3.13 % hasta 2.23 %, Después del inicio de los 90s estas concentraciones comienzan a descender hasta los niveles más bajos registrados en la actualidad (1.8 %). El carbono orgánico presenta la misma tendencia de disminución hacia épocas recientes, sin embargo la disminución de sus valores comienza desde mediados de los 70s cuando se alcanzó la mayor concentración (1.9 %), a partir de estas fechas se ve un descenso gradual en los niveles de carbono orgánico hasta el 2013 donde se alcanza el menor de 0.76 %. El carbono inorgánico muestra un aporte regular a lo largo del núcleo teniendo su concentración más alta en el año de 1992 (1.68 %).



Figura 36. Distribución de las concentraciones de las distintas formas de carbono (total, orgánico, inorgánico y como carbonato de calcio) a lo largo del núcleo.

7.2.3 Contenidos de los elementos en los sedimentos del núcleo.

Las concentraciones totales de ET, así como otros componentes mayores de cada sección del núcleo de sedimentos finos se compararon con los valores reportados para la corteza terrestre (Wedepohl, 1995) encontrando que el P, Se, As, Zn y Cu sobrepasan las concentraciones de la corteza terrestre en todos los horizontes, mientras que el U, Cd y Pb sobrepasan estos niveles en alguna de las secciones del núcleo (Tabla 5).

Tabla 5. Concentración total de elementos que sobrepasan valores de la corteza terrestre (Wedepohl, 1995) en el núcleo de sedimentos finos de la Laguna de La Paz.

	C _{org} (%)	P (%)	Se	As	Zn	Cu	U	Cd	Pb
promedio ± d. std.	1.4 ± 0.4	0.2 ± 0.03	0.4 ± 0.2	<mark>8.1</mark> ± 0.8	<mark>96.3</mark> ± 12.6	<mark>38.9</mark> ± 7.5	<mark>3</mark> ± 0.7	0.3 ± 0.1	15.6 ± 4.4
min	0.7	0.132	0.1	6.5	67.7	20.4	1.3	0.1	11.3
max	2.1	0.238	0.9	10	131	68.3	4.2	0.4	33.2
corteza superior		0.0665	0.083	2	52	14.3	2.5	0.102	17

Con las concentraciones totales de ET se calcularon los FEs para los 61 elementos analizados, usando al igual que como en los sedimentos superficiales el litio como elemento normalizador. Los distintos factores de enriquecimiento promedio no muestran ningún enriquecimiento considerable con excepción del Se (FE=6) y As (FE=5), los demás elementos no se consideran como enriquecidos en el núcleo de sedimentos.

7.2.4. Resultados del análisis de factores de los componentes del núcleo de los sedimentos

Para conocer las posibles asociaciones de elementos en el núcleo de sedimentos se aplicó la técnica exploratoria del análisis de factores por el método de extracción de componentes principales, el cual explico el 70% de la varianza en tres factores mismos que indican la posible presencia de cuatro fuentes de material sedimentario a la parte profunda de la Laguna de La Paz. Tres de estas fuentes se consideran que tienen un origen terrígeno mientras que la restante es de origen biogénico (Tabla 6).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Corg	0.27	0.82	0.14
Li	-0.23	-0.96	-0.06
Mg	0.07	-0.93	0.11
Ca	0.36	0.80	0.15
V	-0.18	-0.96	0.03
Mn	-0.17	-0.87	0.17
Fe	-0.19	-0.96	0.07
Hf	-0.08	-0.07	0.78
Ni	-0.10	-0.74	0.21
Er	0.88	0.33	0.27
Be	-0.13	-0.77	0.17
Но	0.88	0.18	0.16
Cs	0.33	-0.90	-0.08
Co	-0.26	-0.93	-0.06
Eu	0.98	0.13	0.11
Se	-0.13	-0.64	-0.32
Zn	-0.28	-0.77	-0.25
Rb	0.71	0.15	-0.30
Sr	0.50	0.78	0.27
Zr	0.42	0.37	0.66
Sb	-0.03	0.19	0.83
lantánidos	0.94	0.24	0.11
Cu	-0.14	-0.75	0.15
w	-0.39	-0.73	0.05
Sc	0.68	-0.55	-0.19
Th	0.97	-0.10	-0.01
Ti	-0.11	-0.88	0.26
Р	0.38	0.77	0.34

Tabla 6. Resultados del análisis de factores de los sedimentos del núcleo.

7.2.5. Perfiles verticales de los contenidos de los ET en el núcleo de sedimentos

Al graficar las concentraciones totales de ET contra la edad de cada sección del núcleo de sedimentos es posible apreciar que las distribuciones de las concentraciones confirman las asociaciones propuestas en el análisis de factores. Como lo muestra la figura 37, el Al, Sc y Th, presentan un patrón vertical muy similar resaltando los años 2000, 1980 y 1965, en los cuales existe una disminución importante en las concentraciones totales de estos elementos.



Figura 37. Distribución vertical de las concentraciones de escandio, torio, aluminio y europio.

La distribución de las concentraciones de los elementos terrígenos de la segunda asociación compuesta por el Co, Fe, Ti y Cs muestran un comportamiento similar con una tendencia a aumentar hacia las partes más jóvenes del núcleo (Fig. 38).



Figura 38. Distribución vertical de las concentraciones de cobalto, hierro, titanio y cesio.

Los elementos correspondientes a la fracción biogénica de los sedimentos y el carbono orgánico presentes en el núcleo muestreado indican una tendencia a la baja en las partes más recientes del núcleo (Fig. 39).



Figura 39. Distribuciones verticales de las concentraciones del C_{org} , Ca y Sr.

Dado que existe el interés de conocer, cuál es la historia de contaminación de los elementos que podrían resultar potencialmente tóxicos se puso especial atención en las distribuciones de estos elementos en el núcleo de los sedimentos finos resaltando particularmente el plomo, el cual presenta valores anómalamente elevados en los años del 1977 (20.4 mg kg⁻¹), 1990 (30.2 mg kg⁻¹), 2003 (20.9 mg kg⁻¹) y 2013 (33.2 mg kg⁻¹) (Fig. 40).



Figura 40. Distribución vertical de las concentraciones de plomo.

La distribución vertical del cobre (Fig 41), presenta un comportamiento muy similar a los elementos terrígenos como el Co, Cs, Fe, Ti ya que aumenta hacia tiempos recientes, con concentraciones que van de los 20 mg kg⁻¹ hasta los 46 mg kg⁻¹, sin embargo en el año de 1970 existe un valor particularmente alto de 70 mg kg⁻¹.



Figura 41. Distribución vertical de las concentraciones de cobre.

Los rangos de concentración del cromo tienen una distribución uniforme a los largo del núcleo, con valores que van desde los 31 mg kg⁻¹ en 1976, a los 49 en el año 2000, a pesar de esto, en los años de 1965 y 1974 las concentraciones llegaron hasta los 73 y 76 mg kg⁻¹ respectivamente.



Figura 42. Distribución vertical de las concentraciones de cromo.

8. DISCUSIÓN

8.1. Influencia del tamaño de grano y del carbono orgánico en los contenidos de ET

Al apreciar los resultados del análisis de factores, es posible observar que no existe relación alguna entre el contenido de ET y el tamaño de grano, esto también se puede apreciar en la figura 43, en la cual podemos ver que existen muestras con mínima cantidad de sedimentos finos, pero que contienen la misma cantidad de aluminio que muestras con alto porcentaje de material fino. Esta información contradice lo encontrado en la literatura, por ejemplo Lyn *et al.* (2002) observaron una fuerte relación entre sedimentos menores a 63 µm y altos contenidos de elementos como el AI, Fe, Mn, Zn, Cu y Pb en la desembocadura del rio Yangtze, en el mar Oriental de China. Lo mismo apreciaron Singh *et al.* (1991) en los sedimentos del rio Damodar, en la India, particularmente en la fracción de los sedimentos menores a 37 µm.



Figura 43. % de fracción fina en función del contenido de aluminio en sedimentos superficiales.

Una posible explicación para lo anterior podría ser que a pesar de que cada muestra tiene un tamaño de grano predominante, la gran parte de las muestras presenta una distribución bimodal del diámetro de sus partículas.

Por otra parte, si observamos la figura 44, nos es posible apreciar que el tamaño de grano tampoco tiene relación con el contenido de C_{org} en los sedimentos superficiales, ya que existen valores de C_{org} similares tanto en sedimentos predominantemente gruesos como finos.



Figura 44. Porcentaje de fracción fina vs contenido de C_{org} en sedimentos superficiales.

8.2. Contenido de ET en los sedimentos superficiales.

A pesar de que se analizó una gran cantidad de elementos, para este trabajo se hizo hincapié en aquellos que son considerados potencialmente tóxicos por sus posibles implicaciones en la biota marina, además de los que sobrepasaron las concentraciones promedio de la corteza terrestre. Las distribuciones espaciales del factor de enriquecimiento y concentraciones totales de As, Cd, U y P nos muestran una coincidencia de sus valores más altos en los sedimentos superficiales recolectados en la zona adyacente a la parte más angosta de El Mogote, lo cual nos podría estar indicando una misma fuente para estos elementos posiblemente de origen fosfático proveniente de la Formación El Cien (antes llamada San Gregorio) transportados por la corriente litoral (Nava Sánchez y Cruz-Orozco, 1989). Esto ha sido evidenciado a través de la concentración y distribución de fosfatos, la identificación de partículas o minerales en los sedimentos de la barrera de El Mogote (Green-Ruiz *et al.*, 1986; Mendoza-Maravillas, 1990). Esta hipótesis se ve soportada también por los trabajos realizados por Piper (1991), en los cuales caracterizó la composición química de los depósitos fosfáticos del Terciario en Baja California Sur y descubrió enriquecimientos de elementos como Cd, Cr y V originados en condiciones marinas de alta productividad primaria. Estos planteamientos también se ven respaldados por el análisis de factores por el método de componentes principales, el cual nos muestra la asociación del As, Cd, U y P en un mismo factor por lo que de nuevo se puede concluir que estos elementos tienen una fuente en común

La Laguna de La Paz puede considerarse como un cuerpo costero con bajo impacto antropogénico y las concentraciones de As, Co, Cu, Fe, U y Zn muy parecidos a los encontrados en otros sitios limpios del Golfo de California como El Alto Golfo y Bahía Concepción, aunque esta última presenta el impacto de hidrotermalismo y condiciones de óxido-reducción que elevan las concentraciones de Cd, Co, Cr y Pb (Rodíguez-Meza et al., 2009 y Leal-Acosta, 2012). También se presentan en la Laguna de La Paz concentraciones de ET muy similares a los reportados por Wedepohl para la Corteza Continental, con excepción de elementos como el As, Cd, P y U que se encuentran enriquecidos debido al aporte de material fosfático a la Laguna de La Paz desde la Formación El Cien (Piper, 1995). Otra forma de descartar la contaminación antropogénica es comparar las concentraciones encontradas en este estudio con las reportadas para zonas que se sabe se encuentran bajo fuerte impacto antropogénico, como lo es la zona minera de Santa Rosalía en el mismo estado de B.C.S, donde las concentraciones de ET como Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, U y Zn rebasan en varios ordenes de magnitud las concentraciones presentes en la Laguna de La Paz, lo mismo sucede, aunque en menor grado, en ambientes contaminados como la Laguna Altata en Sinaloa, el Golfo de Ussuri en Rusia, La Bahía Izmit en Turquía y las Lagunas San José en Puerto Rico y Sidi Mousa en Marruecos, como es evidente en la Tabla 7.

Tabla 7. Comparación de las concentraciones totales de alguno ET entre la Laguna de La Paz y otras zonas costeras del mundo. ¹este estudio, ²Green-Ruíz *et al.*, 2003. ³Shumilin et al., 2002. ⁴Rodriguez-Meza *et al.*, 2009. ⁵Caccia *et al.*, 2003. ⁶Pekey, 2006. ⁷Anikiyev *et al.*, 1994. ⁸Santos et al., 2005. ⁹Acevedo-Figueroa et al., 2006. ¹⁰Maanan *et al.*, 2004. ¹¹Rodriguez-Figueroa, 2009. ¹²Wedepohl, 1995.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	U	Zn
Laguna de La Paz ¹	8	0.3	6.5	29	18	20000	296	11.1	2.2	49
Altata, Sinaloa ²	-	-	17.4	15.7	29.3	54000	925	121	-	80.5
Alto Golfo de California ³	7	-	5.5	28.1	-	17300	-	-	2.2	43.8
Bahía Concepción ⁴	8	4	17	71	20	30000	-	31	2	-
Bahía de Florida⁵	-	-	0.3	8.4	0.95	1841.4	33.8	1.7	-	2
Bahía Izmit, Turquia ⁶	21.8	4.9	-	74.3	67.6	-	-	102	-	930
Golfo de Ussuri, Rusia ⁷	-	5.5	24	-	25	-	289	47	-	229
Isla Rey Jorge, Antártico ⁸	-	-	-	31	92	64700	624	10.5	-	89
Laguna San Jose, Puerto Rico ⁹	13	1.8	-	-	105	39000	-	219	-	531
Laguna Sidi Mousa, Marruecos ¹⁰	-	-	-	180	30.4	67800	-	-	-	49.8
Santa Rosalia, BCS ¹¹	10	1	377	164	1573	55000	12073	42	33	166
Corteza Continental ¹²	2	0.1	11.6	35	14.3	30890	527	17	2.5	52

Al descartar la actividad antropogénica como fuente de ET a la Laguna de La Paz, nos es necesario prestar importancia a las formaciones geológicas (Ergin *et al.*, 1991) que rodean el área de estudio y que aportan ET través de arroyos que las atraviesan y desembocan en la Laguna de La Paz.

Choumiline en el 2009 determino que las principales fuentes de sedimentos a la Laguna de La Paz provenían principalmente de los arroyos que atraviesan las formaciones geológicas adyacentes y en la parte norte de la laguna se ve influenciado por el aporte de sedimentos desde la barrera arenosa El Mogote ya sea por viento, mareas inclusive oleaje (Nava Sánchez y Cruz Orozco, 1989).

Al comparar las concentraciones totales de elementos podemos ver que el As, Cd, Cr, Se y U presentan concentraciones promedio muy similares en los estudios de 1996 (Rodríguez Meza, 2000) y en el presente estudio (muestreo de 2013) e inclusive la concentración promedio del lantano es exactamente igual en ambos trabajos. Esto sugiere que existe una fuente constante que suministra estos elementos a la laguna.

La concentración promedio de Pb ha disminuido dos tercios desde el muestreo de 1996 (Tabla 8) y con excepción de 5 estaciones (V18, V19, V20, V22 y V25) las demás presentan concentraciones de Pb inferiores a los reportados en la corteza

terrestre (Wedepohl, 1995). Esta considerable disminución de las concentraciones de Pb puede ser atribuido a la descontinuación del uso del alkyl-plomo como aditivo de gasolinas alrededor del mundo (Boutron *et al.*, 1991; Rosman *et al.*, 1994), este plomo producto de la quema de gasolinas era depositado, vía atmosférica, en las calles de la ciudad (Andrews, *et al.*, 2004). Durante la temporada de lluvias que comúnmente se registran, en la zona, en el verano, este plomo junto con otros ET como Cu y Zn (Andrews, et al., 2004) productos también de la actividad automotriz, eran lavados de las calles de la ciudad por los múltiples arroyos que las atraviesan, esto es algo muy probable que suceda en la ciudad de La Paz ya que muchas calles de la ciudad se convierten en causes de agua, que desembocan en la Laguna de La Paz, donde enriquecían los sedimentos con este elemento.

Las concentraciones de Cu han aumentado cuatro veces y las del Zn el doble desde el muestreo de 1996, la búsqueda de una explicación clara del motivo de este aumento en las concentraciones de Cu y Zn merece un estudio en particular con un muestreo de mayor resolución, sin embargo es bien sabido que altas concentraciones de Cu y Zn están comúnmente relacionadas con las actividades antropogénicas especialmente con el uso de automóviles (Andrews, 2004). Inclusive Callender y Rice (2000) mencionan que existe una correlación directa entre la densidad poblacional, la densidad de tráfico vehicular y las concentraciones antropogénicas y totales de Pb y Zn, esto indica que la densidad poblacional está fuertemente relacionado por la densidad de tráfico y esta es un predictor de las concentraciones de Pb y Zn en el ambiente derivadas de las actividades antropogénicas. Diferencias en la distribución de Pb y Zn a lo largo del gradiente urbano-suburbano-rural desde Atlanta hasta los pantanos de La Florida muestran que la prohibición de gasolinas con plomo desde principios de los 80s ha provocado una disminución en las concentraciones de este elemento, mientras que el aumento del parque vehicular ha mantenido las concentraciones de Zn elevadas, lo cual es reflejado en el enriquecimiento de Zn en los ambientes acuáticos debido al transporte por lluvias. Estos mismos autores también establecen que concentraciones altas de Zn pueden estar relacionadas con las emisiones de plantas generadoras de energía, como se sabe cerca de la Laguna de La Paz existen dos plantas de este tipo, sin embargo, para descartarlas como fuentes de Zn a la Laguna de La Paz se debe hacer un estudio especial, que incluya el muestreo de aerosoles y el analisi de isotopos estables.

Tabla 8. Comparación de las concentraciones totales de elementos entre dos muestreos en la Laguna de La Paz, uno en 1996 (Rodríguez Meza, 2000) y el realizado en el 2013.

	1996	2013
As	10	8
Cd	3	0.3
Cr	22	29
Cu	10	39
Se	1	0.4
U	3	3
La	15	15
Pb	50	16
Zn	45	96

8.3. Lantánidos como evidencia del aporte de fosforita a la parte norte de la Laguna de La Paz

Como se muestra en la figura 12, el fósforo se encuentra enriquecido en la parte norte de la laguna, especialmente junto a la parte más angosta de la barrera arenosa de El Mogote. Además, en esta misma zona encontramos las concentraciones más altas de arsénico, cadmio, cromo, uranio y vanadio. Enriquecimiento de estos elementos se han encontrado en numerosas fosforitas alrededor del mundo, como lo muestra la Tabla 9 Por lo que podemos deducir que el origen de estos elementos traza es el material fosfático enriquecido que es aportado a la Bahía de La Paz por los arroyos que atraviesan la Formación El Cien, localizada al Noroeste de la Laguna. Una vez en la Bahía de La Paz el transporte litoral mueve

estos sedimentos hacia las costas del sur de esta bahía (Nava Sánchez y Cruz-Orozco, 1989; Salinas González, 2000), donde son depositados formando la barrera Arenosa de El Mogote. Una vez ahí, son transportados dentro de la Laguna de La Paz especialmente por la parte más angosta, principalmente por procesos de saltación generada por el viento o por la marea.

Tabla 9. Concentraciones (mg kg⁻¹) de As, Cd, Cr, U y V en fosforitas de distintas formaciones alrededor del mundo y en los sedimentos enriquecidos en P de la Laguna de La Paz.

	As	Cd	Cr	U	V
Laguna de La Paz ^a	29.1	1.2	129	6.4	125
San Juan De La Costa ^b	_	35.5	314		60.5
Kendal-Porus, jamaica ^c	_	6040	71	170	16
Himalaya, India ^d	—	_	—	122	745
Bayovar-Sechura, Peru ^e	14.3	17.3	134	44.9	492
Corteza Continental ^f	2	0.1	35	25	53

^aeste estudio, ^bPiper, 1994; ^cGarret *et al.,* 2008; ^d Banerjee *et al.,* 1997; ^e Bech *et al.,* 2010; ^fWedepohl, 1995.

Las propiedades geoquímicas de los lantánidos los hacen herramientas útiles para inferir procesos que movilizan elementos durante el intemperismo, así como en la distribución de los elementos traza entre las fases disuelta y particulada (Sholkovitz, 1995). Para confirmar la influencia de las fosforitas sobre los sedimentos de la porción norte de la laguna se utilizaron los patrones de lantánidos de las estaciones con mayor enriquecimiento de fósforo y se compararon con los patrones de las tierras raras normalizadas con lutita reportados para otras partes del mundo. La figura 45 muestra claramente que todas las fosforitas consideradas presentan una anomalía negativa de Ce, después un incremento en las tierras raras de masa media y una disminución en las tierras raras pesadas. Esta anomalía negativa de cerio es característica de todas las fosforitas y es indicativo de las condiciones de reducción en la columna de agua a causa de la alta productividad primaria (Piper, 1994),
aunque también puede estar causado por procesos diagenéticos (Shields, 2001), como es el caso mostrado en la figura 45g.



Figura 45. Comparación de los perfiles de lantánidos normalizados de la parte norte de la Laguna de La Paz con otras partes del mundo;

a) Laguna de La Paz (este estudio), b) San Juan de La Costa (Piper, 1994), c) Cuenca del Yangtze, China (Ilyn, 1998) d) Mina de fosforitas Durmala, (Banerjee, 1997), e) Cuenca Karatau, Kasajstan (Ilyn, 1998), f) Cuenca Khubsugul, Mongolia (Ilyn, 1998), g) Hohotoé-Kpogamé, Togo (Gnandi, 2003), h) Cuenca Georgina, Australia (Ilyn, 1998)

8.4. Posible impacto de los ET sobre la biota de la Laguna de La Paz.

Para conocer la disponibilidad de algún elemento hacia la biota marina es necesario hacer pruebas de biodisponibilidad ya sea a través de lixiviaciones secuenciales o bioensayos (Tessier et al., 1987). Sin embargo, las concentraciones totales de ET en este estudio no muestran ningún valor extremadamente alto, por eso se optó por utilizar los índices de calidad ambiental de los sedimentos propuesto por Long et al. (1995), lo cual nos permite inferir de manera tentativa la posible afectación de los elementos potencialmente tóxicos sobre los organismos marinos utilizando las concentraciones totales de ET usando dos niveles, el primero ERL "effect range low" y el segundo ERM " effect range medium". Las concentraciones menores a la de ERL implican una posible afectacion a menos del 10 % de los organismos. Las concentraciones que se encuentren entre ambos niveles implican un daño probable hasa del 50 % de los organismos y concentraciones mayores a la de ERM implican una afectacion de hasta el 90 % de los organismos. Comparando nuestros datos con los criterios antes mencionados se establece que ningún elemento se encuentra en concentraciones que pudieran afectar a la biota. El único elemento que sobrepasa el criterio "effect range low" (ERL) es el cobre, el cual sugiere una posible afectación del 10% en el 20% de las estaciones muestreadas y del arsénico que sobrepasa ERL_{As} en el 30% de las estaciones de muestreo.

Los criterios de calidad de los sedimentos establecen un nivel ERL para el arsénico de 8.2 mg kg⁻¹, como es posible apreciar en la figura 30, el 30 % de las estaciones revasan este nivel ERL, especialmente en la zona cercana a la barrera arenosa de El Mogote (Fig. 46).



Figura 46. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long *et al.* (1995) para el As en los sedimentos de la Laguna de La Paz.

Como se puede observar en la Figura 47, solo la estación M28 sobrepasa el nivel de ERL que en el caso del cadmio es de 1.2 mg kg⁻¹.



Figura 47. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long *et al.* (1995) para los contenidos totales del Cd en los sedimentos de la Laguna de La Paz.

Las concentraciones de cromo en la laguna solo sobrepasaron el nivel de ERL (82 mg kg-1) en las estaciones M27 y M28 (Fig. 48). Estos valores están relacionados al aporte de material fosfático rico en ETs a la parte norte de la Laguna de La Paz.



Figura 48. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long *et al.* (1995) para el Cr en los sedimentos de la Laguna de La Paz.

En el caso del cobre el 20 % de las estaciones sobrepasan el nivel ERL (34 mg kg⁻¹), estas estaciones se encuentran localizadas en las cercanías de punta Comitán (CIBNOR) y en las cercanías del sitio de la antigua descarga de las aguas residuales de la Ciudad de La Paz y cerca de la desembocadura del arroyo "El Cajoncito" (Fig. 49).



Figura 49. Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long *et al.* (1995) para el Cu en los sedimentos de la Laguna de La Paz.

En el caso del Ni (Fig. 50) según los criterios de calidad de los sedimentos solo la estación M28 sobrepasa el rango de ERL que es de 20.9 mg kg⁻¹.



para el Ni en los sedimentos de la Laguna de La Paz.

Las concentraciones totales de zinc en la Laguna de La Paz no indican mayor afectación para los organismos con excepción de la estación L37 donde podría haber una implicación de al menos 10 % de los organismos (Fig. 51).



Figura 51. . Evaluación de calidad ambiental según los criterios de Long *et al.* (1995) para el Cu y As en los sedimentos de la Laguna de La Paz.

8.5. Concentraciones de ET en el núcleo de sedimentos

Las concentraciones de ETs en el núcleo colectado en la Laguna de La Paz y otro colectado en la Cuenca Alfonso (Choumiline, 2009) el cual se encuentra a unos 70 km de distancia dentro de la Bahía de La Paz (Tabla 9), muestra concentraciones muy similares de elementos como el Ba, Ca, Cr, Fe y Sc. Otros elementos como el As, Co y Cs presentan valores ligeramente más altos en la Laguna de La Paz, esto se debe probablemente a que la laguna se encuentra rodeada del continente y tiene muchos más arroyos cercanos que descargan sus sedimentos, así que el aporte es más directo y las concentraciones ligeramente mayores. La concentración de U en la Cuenca Alfonso es el doble de la de la Laguna de La Paz, esto se debe a que en la cuenca se tienen condiciones anóxicas, las cuales favoreces la reducción de U (+6) a

U (+4), la cual es una forma de uranio que tiene una gran susceptibilidad por las partículas por lo que tiende a precipitarse (Shumilin *et al.*, 2012).

Elemente	Cuenca	Laguna de
Liemento	Alfonso	La Paz
As	0.35 - 9.7	6.5 - 10
,	4.4 ± 3	8 ± 0.8
Ва	50 - 885	289 - 400
54	349 <u>+</u> 238	340 <u>+</u> 29
Ca	0.29 - 7.2	2.8 - 7.8
Οu	4.1 <u>+</u> 1.8	5.2 <u>+</u> 1.4
Co	0.9 - 10.6	8.9 - 16.3
00	6.6 ± 2.8	13 ± 2
Cr	2.3 - 89.3	31.2 – 75.9
	54 <u>+</u> 21	41 <u>+</u> 8.5
Cs	0.5 – 16.3	8 - 13.9
03	6.6 <u>+</u> 5	<u>11 ± 1.3</u>
Fο	2.1 - 3.3	2.9 - 4.8
ΓC	2.6 ± 03	3.9 ± 0.4
Sc	9.5 - 14.4	4 - 16
30	11.8 <u>+</u> 1.2	13.8 ± 2.3
	0.7 – 19.1	1.3 - 4.2
	6.2 <u>+</u> 4.6	3 ± 0.7

Tabla 10. Comparación entre las concentraciones de algunos ETs en los núcleos de la Laguna de La Paz (este estudio) y de Cuenca Alfonso (Choumiline, 2012).

En cuanto a las tasas de sedimentación (0.65 cm año⁻¹) y acumulación (0.27 g cm⁻² año⁻¹) que se registraron en el núcleo es prudente mencionar que estas concuerdan con otras zonas costeras del mundo como el estuario del Río Nanliu en China (Xia *et a*l., 2011) donde se registró una tasa de sedimentación de 0.8 cm año⁻¹ y de acumulación de sedimentos de 0.65 g cm⁻² año-1, también con la Ría de Vigo (Álvarez-Iglesias *et al.*, 2007) donde se registraron tasas de 0.55 cm año⁻¹ y 0.21 g cm⁻² año⁻¹ respectivamente y con la desembocadura del Río Culiacán (Ruíz-

Fernández *et al.*, 2003) donde la sedimentación alcanzó valores de 0.4 cm año⁻¹ y con una sedimentación de 0.5 g cm⁻² año⁻¹, como se puede apreciar, aunque todos estos lugares presentan el aporte de ríos, la Laguna de La Paz presentó valores semejantes, lo cual nos puede estar indicando el efecto de la erosión de los suelos causado por el desarrollo urbano de La Paz. Una vez erosionados estos sedimentos son depositados en la Laguna de La Paz por efecto eólico. Sin embargo para corroborar estas afirmaciones es necesario llevar a cabo un estudio del aporte eólico al que es sometida la Laguna de La Paz así como intentar fechar más núcleos dentro de este cuerpo costero para confirmar estos niveles de acumulación y sedimentación. En el caso de las concentraciones anómalas de elementos como el Pb, Cu y Cr en la parte profunda de la Laguna, hace falta hacer una revisión detallada de las actividades que se han desarrollado a lo largo de la historia de la Ciudad de La Paz, de la mano con algunas instancias gubernamentales, además sería prudente llevar a cabo análisis de isótopos estables de estos elementos para tratar de determinar cuál es el origen de estas concentraciones anómalas.

9. CONCLUSÍONES

La marea, el viento así como la distribución del tamaño de grano y materia orgánica tienen una gran influencia en la distribución de los ET en la Laguna de La Paz.

Las distintas formaciones geológicas que rodean a la Laguna de La Paz aportan elementos de manera constante a sus sedimentos resaltando las fosforitas de la Formación El Cien que enriquecen los sedimentos de la parte norte en elementos como arsénico, cadmio, cromo, fósforo, lantánidos uranio y vanadio.

Exceso de concentraciones de elementos como el Cu, Pb y Zn tienen como origen probable las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la zona urbana de La Paz, especialmente aquellas relacionadas con el uso y mantenimiento de automóviles, en el caso de cobre estas podrían estar relacionadas también a la antigua descarga de aguas residuales.

Hasta el 10 % de los organismos podrían verse afectados por las concentraciones de As y Cu en 20 % y 30% de las estaciones muestreadas respectivamente, según los criterios de calidad de los sedimentos.

El núcleo de sedimentos no presentó enriquecimientos significativos de ETs, sin embargo es posible ver una asociación muy marcada en el comportamiento de los distintos elementos.

El exceso de sedimentos producto de la urbanización de La Paz generó un aumento en el flujo de elementos terrígenos, diluyendo a su vez a los de origen biogénico desde los últimos 50 años.

La distribución vertical de las concentraciones de plomo muestran el efecto del paso de ciclones tropicales o lluvias torrenciales que lo lavan desde las calles de la ciudad.

El Cu y Cr podrían estar mostrando pulsos de contaminación posiblemente antropogénica, en el núcleo de sedimentos, los cuales deben de ser estudiados más a fondo.

75

10. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Iglesias, P. B. Quintana, B. Rubio & M. Pérez-Arlucea. 2007. Sedimentation rates and trace metal input history in intertidal sediments from San Simon Bay derived from 210Pb and 137Cs chronology. Journal of Environmental Radioctivity, 98: 229-250.
- Acevedo-Figueroa, B.D., C.J., Jiménez, J. Rodríguez-Sierra. 2006. Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico. Environmental Pollution 141: 336-342.
- Andrews, S. & R.A. Sutherland. 2004. Cu, Pb, and Zn contamination in Nuuanu watershed, Oahu, Hawaii. Science of The Total Environment, 324: 173-182.
- Anikiyev, V.V., S. Perepelitsa, E. Shumilin. 1994. Effects of Man-Made and Natural Sources on the Heavy Metal Patterns in Bottom Sediments in the Gulf of Peter the Great, Sea of Japan. Geochemistry International, 31: 73-85.
- Banerjee, D.M., M. Schidlowski, F. Siebert, M.D. Brasier. 1997. Geochemical changes across the Proterozoic–Cambrian transition in the Durmala phosphorite mine section, Mussoorie Hills, Garhwal Himalaya, India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 132: 183-194.
- Bech, J., M. Suarez, F. Reverter, P. Tume, P. Sánchez, A. Lansac. 2010. Selenium and other trace elements in phosphate rock of Bayovar–Sechura (Peru). *Journal of Geochemical Exploration*, 107:136-145.
- Boutron, C., U. Gorlach, J. Candelone, M. Bolshov, R. Delmas, R. 1991. Decrease in anthropogenic lead, cadmium and zinc in Greenland snows since the late 1960s. *Nature*, 353: 153-156.
- Bruland, K.W. & M.C. Lohan, 2004. Controls of trace metals in seawater. Pp.23- 47 In: Oceans and Marine Geochemistry, Vol .6. (H. Elderfield - editor). In: Treatise on Geochemistry (H.D. HolandyK.Turekian- editors), Elsevier, New York.
- Callender, E. & K. Rice. 2000. The Urban Environmental Gradient: Anthropogenic Influences on the Spatial and Temporal Distributions of Lead and Zinc in Sediments. Environ. Sci. Technol., 34(2): 232-238.

- Caruso, A., C. Cosentino, L. Tranchina & M. Brai. 2011. Response of benthic foraminifera to heavy metal concentration in marine sediments. Chemistry and Ecology, 27: 9-30.
- Cervantes-Duarte, R., F. Aguirre-Bahena, A. Reyes-Salinas, J.E. Valdez-Holguín. 2001. Caracterización hidrológica de una laguna costera de Baja Califoronia Sur, México. Oceánides, 16:93-105.

Clark, R.B. 2001. Marine Pollution. Oxford University Press, Oxford, 220 p.

- Chester, R. 2003. Marine Geochemistry. Blackwell Publishing, London, 506 p.
- Choumiline, K. 2009. Aplicación de métodos estadísticos multivariados en la determinación de las fuentes de aporte de sedimentos. Estudio del caso de la Laguna de La Paz, B.C.S., México. Tesis de licenciatura. UABCS. La Paz, Baja California Sur, 64 p.
- Cruz-Orozco, R., P. Rojo García, L. Godínez-Orta, E. Nava-Sánchez. 1989.
 Topografía, hidrología y sedimentos de las márgenes de la Laguna de La Paz,
 B.C.S. Rev. Inv. Cient. UABCS, 1: 3-15
- Daesslé, L.W., V.F. Camacho-Ibar, J.D. Carriquiry, M.C. Ortiz-Hernández. 2004.The geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent sediments from the Northern Gulf of California. Continental Shelf Research, 24: 2093-2106.
- Dean, W., C. Pride, R. Thunell, 2004. Geochemical cycles in sediments deposited on the slopes of the Guaymas and Carmen Basins of the Gulf of California over the last 180 years. Quaternary Science Review, 23, 1817-1833.
- Delgadillo-Hinojosa, F., J.V Macías-Zamora, J.A. Segovia-Zavala, S. Torres-Valdéz. 2001. Cadmium enrichment in the Gulf of California. Mar.Chem, 75, 109-122.
- Delgadillo-Hinojosa, F., J.A. Segovia-Zavala, M.A. Huerta-Díaz M.A. & H. Atilano-Silva. 2006. Influence of geochemical and physical processes on the vertical distribution of manganese in Gulf of California waters. Deep Sea Research, I(53): 1301-1319.
- Ennouri, R., L. Chouba, P. Magni & M.M. Kraien. 2010. Spatial distribution of trace metals (Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, Fe and Mn) and oligo-elements (Mg, Ca, Na and

K) in surface sediments of the Gulf of Tunis (Northern Tunisia). Environ Monit Assess,163: 229–239

- Ergin, M., C. Saydam, Ö. Baştürk, E. Erdem, & R. Yörük. 1991. Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and İzmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara, Chemical Geology, 91: 269-285
- Folk, R.L., 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphil Publishing, Austin, Texas, 182 p.
- Froelich, P.N., M.L. Bender, N.A. Luedtke, G.R. Heath & T. DeVries. 1982. The marine phosphorus cycle. American Journal of Science 282: 474-511.
- Garrett, R., A. Porter, P. Hunt & Lalor G. The presence of anomalous trace element levels in present day Jamaican soils and the geochemistry of Late-Miocene or Pliocene phosphorites. Applied Geochemistry, 23: 822-834.
- Gilmartin M. & N. Revelante.1978, The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoon at the Gulf of California. Est. Coast. Mar. Sci., 7: 29-47
- Gnadi, K. & H.J. Tobschall. 2003. Distribution patterns of rare-earth elements and uranium in tertiary sedimentary phosphorites of Hahotoé-Kpogamé, Togo. Journal of African Earth Sciences, 37: 1-10.
- Gómez A.M. 1978. Estudio de la contaminación por materia orgánica en la Ensenada de La Paz, B.C. S. Tesis profesional. U.A.B.C.S., La Paz, Baja California Sur, 26 p.
- Green-Ruiz, C.R. 2000. Geoquímica de metales pesados y mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos de los cuatro puertos de Golfo de California. Tesis de Doctorado, ICMyL, UNAM, Mazatlán, Sinaloa, 329 p.
- Green-Ruiz, C. & F. Páez-Osuna. 2003. Heavy metal distribution in surface sediments from a subtropical coastal lagoon system associated with an agricultural basin. Bull. Environ. Contam. Toxicol, 71: 52–59.
- Ilyn, A.V. 1998. Raree art geochemistry of old phosphorites and probability of syngenetic precipitation and acumulation of phosphate. Chem. Geol., 144: 243-256
- INEGI. 2010. Censo Nacional de Población y Vivienda 2010 en www.inegi.org.mx

- Kot, F.S., C. Green-Ruiz, F. Páez-Osuna, E. Shumilin & D. Rodriguez Meza.1999.
 Distribution of mercury in sediments from La Paz Lagoon, Peninsula of Baja
 California Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol, 63: 45-51.
- Leal-Acosta, M.L. 2012. Influencia de las fuentes geotermales e hidrotermales sobre la biogeoquímica de elementos traza en la Bahía Concepción, Golfo de California. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, Baja California Sur, 328p.
- Libes, S.M. 2009. An Introduction to Marine Biogeochemistry. Wiley & Sons, New York, 734 p.
- Lin, L., I. Hsieh, K.M. Huan & Wang C.H. 2002. Influence of the Yangtze Riverygrain size on the spatial variations of heavy metals and organic carbon in the East China Sea continental shelf sediments. Chemical Geology, 182: 377-394.
- Loring, D.H., & R.T.T Rantala. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Earth-Science Review. 32: 235-238.
- Maanan, M., B. Zourarah, C. Carruesco, A. Aajjane & J. Naud. 2004. The distribution of heavy metals in the Sidi Mousa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast). Journal of African Earth Sciences, 39: 473-483.
- Marmolejo-Rodríguez A., M. Sánchez-Martínez, J. Romero Guadarrama, A. Sánchez González & V Magallanes-Ordóñez. 2011. Migration of As, Hg, Pb and Zn in arroyo sediments from a semiarid coastal system influenced by the abandoned gold mining district at El Triunfo, Baja California Sur, Mexico. J. Environ. Monit., 13: 2182-2189.
- Méndez, L., B. Acosta, T. Álvarez-Castañeda & C.H. Lechuga-Devéze, 1998. Trace metal distribution along the southern coast of Bahia de La Paz (Gulf of California), Mexico. Bull. Environ. Contamin. Toxicol., 61: 612-622.
- Millero, F. 2005. Chemical Oceanography (Third edition), CRC Press, Boca Raton, Fl, 536 p.
- Páez-Osuna, F. & J. Osuna-López.1990. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the Lower Gulf of California. An. Inst.Cienc.Mar.Limnol., 17: 287-298.

- Pekey, H. 2006. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream, Marine Pollution Bulletin, 52(10): 1197-1208.
- Pérez, Z.A., B.M. Levy, H. Vega & B. Aguilar. 1993. Evaluación del Pb en la almeja Chione californiensis de la Ensenada de La Paz, B.C.S. muestras de 1988 a 1989. Resumen V Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. P.60.
- Piper, D.Z. 1991. Geochemistry of a tertiary sedimentary phosphate deposits: Baja California Sur, Mexico. Chem. Geol., 92:283-316.
- Robles-Gil-Mester, S.M.G. 1998. El clima en la ciudad de La Paz. Tesis Maestría. FFL-UNAM, Mexico, D.F. 233pp.
- Rodríguez-Castañeda, A.P. 2002. Elementos mayores y traza en sedimentos y macroalgas de la Bahía de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Maestría. CICIMAR- IPN, La Paz, B.C.S., 120 p.
- Rodríguez-Castañeda, A.P., I. Sánchez-Rodríguez, E. Shumilin & D. Sapozhnikov. 2006. Element concentrations in some species of seaweeds from La Paz Bay and La Paz Lagoon, south-western Baja California, Mexico. J.Applied Phycology, 18: 399-408.
- Rodríguez-Figueroa, G.M., 2010. Niveles de contaminación por metales pesados en la zona costera de Santa Rosalía: sedimentos y macroalgas. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, 178 p.
- Rodríguez-Figueroa, G., E. Shumilin & I. Sánchez-Rodríguez. 2009. Heavy metal pollution monitoring using brown seaweed *Padina Durviaelli* in the coastal zone of Santa Rosalía mining region, Peninsula of Baja California. J.Applied Phycology, 21: 19-26.
- Rodríguez-Meza, G.D., 1999. Elementos mayores y traza en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, B,C,S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S., 163p
- Rodríguez-Meza, G.D., E. Shumilin, D. Sapozhnikov, L. Méndez & B. Acosta. 2009. Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los

sedimentos de Bahía Concepción (B.C.S., México). Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana, 61: 57-72.

- 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, La Paz, B.C.S.,100 p.
- Rosman, K., W. Chisholm, C. Boutron, J. Candelone & Hong S. 1994. Isotopic evidence to account for changes in the concentration of lead in Greenland snow between 1960 and 1988. Geochimica et Cosmochimica Acta, 58: 3265-3269.
- Ruiz-Fernández A.C., C. Hillarie-Marcel, F. Paéz-Osuna, B. Ghaleb & M. Soto-Jímenez. 2003. Historical trends of metal pollution recorded in the sediments of the Culiacan River Estuary, Northwestern Mexico. Applied Geochemistry, 18: 577.588
- Salinas-Gonzales, F. 2000. Mezcla Turbulenta y Transporte de Masa en La Bahía y Ensenada de La Paz, B.C.S.: Experimentación y Modelación Numérica. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, Baja California Sur, 260p.
- Salomons, W. & U. Förstner. 1984. Metals in Hydrocycle. Springer Verlag, Heidelberg, 349 pp.
- Santos, I., E. Silva-Filho, C. Schaefer, M. Albuquerque-Filho & L. Campos. 2005. Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antartic Station, King George Island. Marine Pollution Bulletin, 50: 185-194.
- Segovia–Zavala, J.A., F. Delgadillo–Hinojosa, M.L. Lares–Reyes, M.A. Huerta–Díaz,
 A. Muñoz–Barbosa & Torres–Delgado. 2009. Atmospheric input and concentration of dissolved iron in the surface layer of the Gulf of California. Cienc. Mar, 35: 75–90.
- Segovia–Zavala, J.L., M.L. Lares–Reyes, F. Delgadillo–Hinojosa, A. Tovar–Sánchez
 & S.A. Sañudo–Wilhelmy. 2010. Dissolved iron distributions in the central region of the Gulf of California. Deep–Sea Research, 1: 53–64.

- Shields, G. & P. Stille. 2001. Diagenetic constraints on the use of cerium anomalies as palaeoseawater redox proxies: an isotopic and REE study of Cambrian phosphorites. Chem. Geol., 175: 29-48.
- Shiller, A.M. 1997. Dissolved trace elements in the Mississipi River: Seasonal, interannual, and decadal variability. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61(20): 4321-4330.
- Sholkovitz, E.R. 1995. The aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries. Aquat. Geochem., 1: 1-34.
- Shumilin, E., M. Grajeda-Muñoz, N. Silverberg & D. Sapozhnikov. 2002. Observations on trace element hypersaline geochemistry in surficial deposits of evaporation ponds of Exportadora de Sal, Guerrero Negro, Baja California Sur, Mexico. Mar. Chem., 79: 133-153.
- Shumilin, E., J.D. Carriquiry, V.F. Camacho-Ibar, D. Sapozhnikov, S. Kalmykov, A. Sánchez, S. Aguíñiga-García & Sapozhnikov Y. 2002. Spatial and vertical distributions of elements in sediments of the Colorado River delta and Upper Gulf of California. Mar. Chem., 79: 113-131.
- Shumilin, E., S. Kalmykov, D. Sapozhnikov, E. Nava-Sánchez, D. Gorsline, L. Godínez-Orta, Y. Sapozhnikov, O. Holguin-Quiñones & A. Rodríguez Castañeda, 2000. Major and trace element accumulation in coastal sediments along southeastern Baja California studied by instrumental neutron activation analysis and ²¹⁰Pb dating. J. Radioanalyt. Nucl. Chem., 246: 533-541.
- 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.
- Shumilin, E., G. Rodríguez-Figueroa, D. Sapozhnikov, Y. Sapozhnikov & K. Choumiline. 2012. Antropogenic and authigenic uranium in marine sediments of the central Gulf of California dyacent to the Santa Rosalía mining region. Arch Environ Contam Toxicol, 63: 309-322.
- Silverberg, N., E. Shumilin, F. Aguirre-Bahena, A.P. Rodríguez-Castañeda & D. Sapozhnikov. 2007. The impact of hurricanes on sedimenting particulate

matter in the semi-arid Bahía de La Paz, Gulf of California. Cont. Shelf Res., 27: 2513-2522.

- Singh, A.K., S.I. Hasnain & D.K. Banderjee. 1991. Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River – a tributary of the lower Ganges, India. Environmental Geology, 39: 90-98.
- Tambiev, S.B. & L.L. Demina. 1992. Biogeochemistry and fluxes of manganese and some other metals in regions of hydrothermal activities (Axial Mountain, Juan de Fuca Ridge and Guaymas Basin, Gulf of California). Deep-Sea Research, 39: 687-703.
- Tessier, A. & P.G.C. Campbell. 1987. Partitioning of trace metals in sediments: Relationships with bioavailability. Hidrobiología 149: 43-52.
- Trejo, S.D. & E. Mayoral. 1984. Estudio de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua y almeja Catarina Argopecten circularis en la Ensenada de La Paz, B.C.S. En: presente y futuro de la Ensenada de La Paz. UABCS. Gobierno del estado de Baja California Sur, La Paz, Memoria, B.C.S. 123p.
- Valdés, J., G. Vargas, A. Sifeddine, L. Ortlieb & M. Guiñez. 2005 Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: Geochemical and statistical approach, Marine Pollution Bulletin, 50(12):1558-156.
- Wedepohl, K., 1995. The composition of the continental crust. Geochim. Cosmochim. Acta, 59:1217-1232.
- Xia, P., X. Meng, P. Yin, Z. Cao & X. Wang. 2011. Eighty year sedimentary record of heavy metal inputs in the intertidal sediments from the Nanliu River estuary, Beibu Gulf of South China Sea. Environmental Pollution, 159: 92-99.

11. ANEXOS

ANEXO 1. CONCENTRACIONES TOTALES DE ET EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES.

Elemento	Li	Na	Ma	AI	K	Са	Cd	V	Cr	Mn
Unidad reportada	nnad	%	<u>%</u>	%	%	%	nom	nom	ppm	ppm
Límite de		/0	/0	/0	/0	/0				
detección	0.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	1	0.5	1
L1	18.9	3	0.56	6.58	3.39	5.42	0.2	42	29.6	227
L2	16.2	3	0.61	6.97	2.24	4.34	0.4	41	32.4	215
L3	16.8	3	0.56	5.4	2.31	6.07	0.2	35	33.8	190
L4	19.6	3	0.8	6.75	2.32	5.35	0.3	41	35.7	245
L5	14.3	3	0.57	7.2	2.09	4.52	0.3	39	35.2	200
L6	9.6	2.81	0.4	5.62	1.53	11.3	0.1	27	27.7	113
L7	31.9	2.92	1.29	5.37	1.25	11.9	0.2	57	39.2	396
L9	48.4	3	1.76	6.36	1.7	6.79	0.2	68	45	448
L12	14.3	3	0.78	8.13	1.62	3.25	0.1	49	36.7	314
L15	14.1	3	0.79	7.88	1.73	3.12	0.1	53	37.4	308
L17	53.8	3	1.9	7.51	1.93	1.72	0.1	70	46.8	469
L18	12.9	3	0.65	7.59	1.67	4.69	0.2	40	31.3	241
L20	50.6	3	1.77	7.01	1.93	1.68	0.2	75	50.8	407
L22	10.4	2.56	0.41	4.74	2.01	10.5	0.1	24	34	111
L23	7.3	1.78	0.49	3.19	0.81	20.6	0.2	25	38.8	150
L24	39.6	2.6	1.4	5.46	1.46	10.8	0.2	50	43.9	408
L25	58.5	3	1.92	7.16	1.74	2.87	0.1	73	48.4	422
L26	8.3	3	0.26	5.43	1.4	13.8	0.1	17	24.4	62
L27	6.5	2.46	0.27	4.29	0.95	18	0.1	18	27.2	88
L31	14.5	3	0.84	6.94	1.81	6.51	0.5	44	48.3	256
L34	13.6	2.92	0.92	6.77	1.68	6.68	0.6	47	52.3	288
L35	13.2	2.75	1.06	6.56	1.61	7.78	0.6	51	50.9	298
L37	13.7	2.76	0.87	6.38	1.54	9.12	0.6	47	51.2	285
L38	14.3	1.68	0.72	2.29	0.55	25.2	0.1	24	31.7	182
L39	33.1	3	1.33	6.62	2	4.41	0.2	65	52.5	355
L40	15.7	2.88	1.36	6.92	1.47	6.84	0.9	78	76.9	449
M1	9.5	2.5	0.42	4.93	1.39	14.3	0.2	26	30.1	126
M2	15.7	3	0.62	6.73	1.99	8.07	0.1	41	30.8	296
M3	8.7	2.78	0.33	5.36	1.33	13.6	0.2	21	26.4	110
M4	10.8	3	0.37	6.43	1.62	8.09	0.1	25	32.1	105
M5	62.7	3	1.87	7.79	1.96	1.85	0.3	82	47.8	413

M7	18.2	2.99	0.62	5.87	1.51	10.7	0.1	34	32.9	212
M8	38.7	3	1.06	6.88	2.06	2	0.2	65	42.8	345
M9	60.7	3	1.83	7.39	2.08	1.71	0.3	95	38.7	539
M13	16.4	3	0.74	7.83	1.56	4.02	0.1	39	7.8	265
M16	17.3	1.89	0.67	2.38	0.6	24.2	0.1	23	9	223
M18	54.2	2.47	1.66	4.96	1.5	9.84	0.2	59	24.1	622
M19	46.8	3	1.52	4.93	1.46	6.9	0.2	57	26.2	506
M21	59.3	3	1.92	6.94	1.88	4.03	0.2	71	41.8	667
M22	7.5	1.96	0.61	3.26	0.97	20.5	0.2	16	8.4	115
M23	13.6	2.85	0.59	6.29	1.76	7.54	0.3	63	23.9	282
M25	14.6	2.81	0.83	4.84	0.9	5.57	0.7	44	40.6	264
M27	15.9	2.61	1.86	6.06	1.05	7.41	1.1	104	104	646
M28	16.3	2.57	1.89	6.27	1.08	7.62	1.2	125	129	711
M32	59.8	3	1.94	5.79	1.47	2.61	0.2	64	28.6	510
M33	68.5	3	2.11	6.2	1.58	3.16	0.2	69	32.6	752
M34	14.2	2.52	1.37	4.43	1.06	10.2	1.1	77	48.6	511
M36	47.4	3	1.61	6.23	1.6	4.16	0.2	58	28.8	426
M37	59.8	3	1.86	5.25	1.51	2.43	0.2	66	33.4	500
M38	63.6	3	1.94	6.31	1.31	3.01	0.2	74	36.8	666
M40	18	3	0.72	6.8	0.97	5.76	0.4	36	13.6	277
M41	52.1	2.92	1.64	6.22	2.2	2.59	0.1	55	30.5	448
M42	60	3	1.84	7.2	1.71	3.25	0.2	69	28.7	527
M43	17.8	2.89	0.77	6.5	0.73	4.7	0.4	39	28.2	271
M44	15.6	3	0.67	6.68	0.6	5.01	0.3	33	12.1	232
M45	9.8	3	0.24	6.76	0.81	6.23	0.1	14	5	60
M46	9.6	3	0.26	6.46	0.79	6.36	0.1	17	4.7	69
M47	29.2	2.61	1.03	5.14	0.58	13	0.2	44	18.7	301
M48	31.2	2.82	1.14	6.14	1.25	9.85	0.2	56	18.5	371
Z1	13	2.44	0.87	4.47	0.74	6.93	0.4	51	51.5	330
Z2	9.8	1.93	1.02	4.03	0.93	13.4	0.4	48	45	340
Z3	16.4	2.95	1.28	6.05	0.84	4.85	0.7	64	61.9	413
V1	15.8	2.84	0.59	6.68	0.52	3.8	0.5	36	12.6	230
V3	10.3	2.61	0.61	4.73	0.88	10.7	0.1	20	7.5	117
V4	4.3	1.55	0.48	1.98	0.43	26	0.1	8	3.3	57
V6	5.5	1.34	0.61	1.64	0.37	28.7	0.1	10	3	77
V7	12.1	1.78	0.98	2.51	0.66	20.5	0.2	19	8.2	132
V10	7.7	1.78	1	2.51	0.6	20.7	0.1	14	2.5	101
V11	5.3	1.5	1.03	1.4	0.32	27.4	0.1	9	2.7	82
V12	18.9	2.78	0.54	6.01	0.58	6.94	0.3	33	11.7	206
V13	12.2	3	0.43	5.94	1.27	10.6	0.1	19	6	132

	4-14	~ ~	o 17		~ -		• • •	~~~	• • •	470
V14	17.1	2.8	0.47	5.44	0.7	7.87	0.1	26	6.1	178
V17	17.9	2.6	0.5	4.88	0.62	10	0.1	24	5.1	177
V18	16.4	3	0.46	4.93	0.83	4.8	0.2	28	15.7	192
V19	15.9	2.89	0.64	5.07	1.17	10.2	0.2	27	12.6	177
V20	17.5	2.83	0.49	6.35	0.94	3.82	0.2	30	9.3	190
V22	18.6	2.95	0.51	6.86	2.17	4.23	0.2	32	8.2	212
V23	17.9	3	0.6	6.74	0.82	4.7	0.3	32	9.6	195
V25	22.8	3	0.69	7.06	0.7	4.91	0.1	38	9.5	258
V26	16.9	2.95	0.55	6.67	0.64	3.95	0.4	30	10.3	204
V28	20.5	3	0.55	7.29	2.16	3.72	0.3	32	13.9	209
V29	17.9	3	0.59	6.69	0.77	5.46	0.3	33	13.9	216
V30	18.2	3	0.49	7.26	2.44	4.71	0.2	30	9.2	241
V31	16.7	3	0.55	6.65	0.91	5.34	0.3	31	12	190
V33	18	2.97	0.6	5.69	0.88	4.15	0.4	36	28.7	248
V34	19.3	3	0.62	6.84	1.87	4.04	0.3	36	24.3	233
V35	18.6	2.89	0.62	6.39	2.19	7.35	0.2	37	12.1	227
V36	16.5	3	0.56	6.65	1.83	6.22	0.3	31	10.9	199
M29	64.4	3	1.99	6.83	0.81	3.36	0.2	68	28.2	555
M39	68.3	3	1.96	7.05	0.87	2.71	0.1	69	28.1	830
promedio	24.27	2.763	0.952	5.863	1.345	8.173	0.27	44.02	29.01	296
desv std	18.14	0.407	0.543	1.481	0.598	6.251	0.225	22.33	20.94	172.9
min	4.3	1.34	0.24	1.4	0.32	1.68	0.1	8	2.5	57

Elemento	Fe	Hf	Hg	Ni	Er	Be	Но	Ag	Cs	Со
Unidad reportada	%	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de	0.04	0.4	4.0	o =	~ 1	• •	0 4	0.05	0.05	0 4
deteccion	0.01	0.1	10	0.5	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.1
<u>L1</u>	1.73	6.3	20	8	1.7	1.9	0.6	7.41	3.54	4.2
<u>L2</u>	1.62	1	20	8.5	1.8	1.5	0.6	3.32	3.29	4.4
L3	1.55	2	10	10.2	1.3	1.5	0.4	2.01	2.74	3.8
L4	1.64	0.5	10	9	1.6	1.5	0.6	1.42	3.65	5.1
L5	1.37	0.6	10	8.2	1.4	1.6	0.5	1.07	2.44	4.7
L6	0.83	0.4	10	8.8	0.9	1.3	0.3	0.83	1.44	2.5
L7	2.58	1	10	14.7	1.2	1.2	0.4	0.85	6.01	9.4
L9	3.39	1.2	10	16.7	1.3	1.3	0.5	0.7	9.54	12
L12	1.88	0.6	10	7.8	1.2	1.5	0.4	0.6	2.54	8.9
L15	1.92	0.6	10	8.2	1.3	1.5	0.5	0.56	2.94	9.1
L17	4	1.2	110	18	1.3	1.3	0.5	0.48	10.4	13.9
L18	1.54	0.7	10	7.5	1	1.4	0.4	0.41	2.45	6.4
L20	3.72	1.2	10	15.2	1.3	1.9	0.5	0.46	10.3	13.1
L22	0.85	1	10	7.9	0.9	1	0.3	0.37	2.92	2.6
L23	0.83	0.3	10	11.5	1.3	0.8	0.4	0.25	1.5	3.1
L24	2.59	1	10	14.8	1	1.1	0.3	0.39	7.5	8.8
L25	3.75	1.3	10	17.5	1.4	1.5	0.5	0.37	11.4	12.6
L26	0.49	0.2	10	7.4	0.3	1.3	0.1	0.26	1.24	1.5
L27	0.51	0.2	10	8.7	0.6	1	0.2	0.28	0.93	1.9
L31	1.46	0.4	10	9.7	2	1.3	0.7	0.24	2.23	5.1
L34	1.55	0.1	10	10.5	2.1	1.1	0.8	0.26	2.2	5.5
L35	1.58	0.1	10	11.1	2.3	1.1	0.8	0.21	1.99	5.5
L37	1.56	0.1	10	11.7	2.3	1.1	0.8	0.23	2.11	5.7
L38	1.1	0.6	10	14.6	0.7	0.5	0.2	0.17	2.67	4
L39	2.86	0.8	10	14.5	1.8	1.5	0.7	0.23	8.18	9.1
L40	2.51	0.2	10	16.7	3.2	1.2	1.1	0.22	2.38	9.2
M1	0.91	0.2	10	9.4	1	0.9	0.4	0.19	1.45	2.7
M2	1.75	1.3	10	8.8	1.2	1.4	0.4	0.32	2.44	4.3
M3	0.7	0.2	10	8	0.9	1	0.3	0.2	1.4	2.2
M4	0.85	0.4	10	6.7	0.8	1.4	0.3	0.22	1.53	2.5
M5	4.02	3.8	10	17.2	1.4	1.7	0.5	0.47	11.7	14.6
M7	1.31	0.6	10	9.7	0.8	1.3	0.3	0.24	3.34	5.3
M8	2.67	0.9	10	11.6	1.2	1.8	0.4	0.25	8.23	9.2
M9	4.48	1.5	10	20.8	1.5	1.9	0.5	0.95	10.7	18

M13	1.81	0.7	10	7.8	1	1.5	0.3	0.56	2.74	9.5
M16	1.27	0.5	10	13.6	0.7	0.6	0.2	0.38	3.07	4.5
M18	3.28	1.3	10	16.8	1.4	1.6	0.5	0.45	9.65	11.1
M19	3.07	1.4	10	15.4	1.5	1.3	0.5	0.42	8.46	10.2
M21	3.93	2.1	10	18.4	1.8	1.7	0.6	0.48	11.7	13.2
M22	0.66	0.4	10	10.3	1.1	0.8	0.4	0.22	1.77	2
M23	1.98	0.7	10	9.5	2.8	1.5	1	0.21	3.69	5.3
M25	1.6	2.7	10	9.7	2.4	1.2	0.8	0.3	1.75	5.2
M27	3.32	0.9	10	20	4.4	1.2	1.4	0.2	2.21	12.7
M28	3.68	1.1	10	22	4.5	1.4	1.5	0.26	2.26	13.6
M32	3.72	1.8	10	16.7	1.5	1.3	0.5	0.33	11.8	11.8
M33	4.07	2	10	18.7	1.5	1.6	0.5	0.36	12.6	13.2
M34	2.65	0.4	10	14.4	3.6	1.2	1.3	0.18	1.93	6.3
M36	3.17	1.8	10	14.7	2	1.5	0.7	0.36	8.83	11.2
M37	3.67	1.7	10	16.5	1.3	1.6	0.4	0.35	10.8	12.2
M38	4.02	1.8	10	18.1	1.4	1.9	0.5	0.35	11.1	13.3
M40	1.75	1.7	10	9.6	2.1	1.5	0.7	0.24	3.38	6
M41	3.17	1.5	10	14.2	1.2	1.5	0.4	0.33	12.8	10.1
M42	3.69	1.3	10	16.1	1.6	1.6	0.6	0.26	11.3	12.2
M43	1.82	0.2	10	9.2	2.6	1.4	0.9	0.15	3.48	6
M44	1.49	0.1	10	7.9	2	1.4	0.7	0.14	2.79	5.4
M45	0.56	0.1	10	4.5	0.3	1.7	0.1	0.19	1.07	1.2
M46	0.61	0.1	10	5.3	0.4	1.5	0.1	0.15	1.17	1.5
M47	2.18	0.7	10	13.3	1.2	1.2	0.4	0.22	5.48	8.4
M48	2.61	0.8	10	13	1.5	1.2	0.5	0.24	5.74	10.7
Z1	1.87	1.2	10	11.3	2	1.2	0.6	0.26	2.29	6.3
Z2	1.77	0.1	10	14	1.7	0.8	0.6	0.11	1.66	6.9
Z3	2.35	0.2	10	14.1	3	1.4	1	0.16	3.3	8.4
V1	1.67	0.5	10	7.4	2.3	1.6	0.8	0.14	3.62	4.2
V3	0.82	0.5	10	7.1	0.7	1.1	0.3	0.17	1.43	2.3
V4	0.39	0.2	10	10.9	0.4	0.6	0.2	0.12	0.65	1.3
V6	0.48	0.6	10	17.7	0.5	0.5	0.2	0.2	0.79	1.6
V7	0.93	0.7	10	11.6	0.9	0.9	0.3	0.21	2.44	2.7
V10	0.6	0.1	10	10.6	0.7	0.8	0.3	0.15	0.96	1.7
V11	0.42	0.1	10	12.7	0.6	0.5	0.2	0.13	0.66	1.4
V12	1.52	0.9	10	7.5	1.8	1.9	0.6	0.2	3.25	3.6
V13	0.86	0.7	10	6.8	0.9	1.8	0.3	0.17	1.6	2.4
V14	1.35	2.3	10	7.6	1.7	1.8	0.6	0.23	3.07	2.9
V17	1.34	0.7	10	8	1.9	1.7	0.7	0.15	3.19	3
V18	1.29	1.3	30	6.3	1.1	1.7	0.4	0.21	2.39	3.8

V19	1.23	1.1	10	7.8	1.2	1.5	0.5	0.26	2.89	3.5
V20	1.52	1.5	10	6.6	1.9	1.8	0.6	0.21	3.35	3.8
V22	1.62	0.7	10	6.4	2.1	1.6	0.7	0.16	3.55	3.7
V23	1.58	0.7	10	7.4	2	1.8	0.6	0.2	3.11	4
V25	1.72	0.6	30	7.4	1.5	1.9	0.5	0.16	3.09	5.8
V26	1.5	0.9	10	7.2	2.2	1.7	0.7	0.14	3.32	3.8
V28	1.57	0.5	10	7	2.2	1.5	0.8	0.13	3.19	4.1
V29	1.69	1.2	10	8.6	2.1	1.7	0.7	0.15	3.09	4
V30	1.59	2	10	6.6	1.5	1.7	0.5	0.26	2.77	4.1
V31	1.43	0.7	10	7.7	1.9	1.8	0.7	0.14	2.79	4.3
V33	1.61	0.6	10	8	1.9	1.4	0.6	0.15	2.82	4.6
V34	1.61	0.4	10	8.3	2.1	1.5	0.7	0.12	2.94	4.5
V35	1.82	1.5	10	8.2	1.9	1.5	0.6	0.18	3.03	4.6
V36	1.52	0.6	10	8.2	2	1.4	0.7	0.15	2.91	4.8
M29	3.89	2	10	17.7	2	1.8	0.7	0.28	12.7	11.8
M39	4.01	1.9	10	17.7	1.8	1.7	0.6	0.3	12.4	12.9
promedio	1.97	0.97	11.8	11.3	1.58	1.39	0.54	0.44	4.45	6.49
desv std	1.08	0.89	11	4.21	0.78	0.35	0.26	0.86	3.61	4.01
min	0.39	0.1	10	4.5	0.3	0.5	0.1	0.11	0.65	1.2

Elemento	Eu	Bi	Se	Zn	Ga	As	Rb	Y	Sr	Zr
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de										
deteccion	0.05	0.02	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	1
<u>L1</u>	0.93	0.65	0.7	44	14.2	7.6	94.5	14.8	491	201
L2	1.02	0.2	0.7	41.6	13.5	9.7	61.8	16.8	510	45
L3	0.75	0.12	0.9	36.6	12.6	8.6	55.2	10.8	563	70
L4	0.86	0.1	0.5	42.7	13.4	8.3	69.6	16.5	674	34
L5	0.9	0.07	1	32.4	14.8	8.9	53.2	14.7	661	32
L6	0.65	0.04	0.8	16.6	11	6	38.1	9.7	973	21
L7	0.65	0.09	0.4	57.9	12.6	4.5	49.9	11.5	813	35
L9	0.71	0.11	0.6	84.7	16.4	5.6	71.2	12.4	496	41
L12	0.8	0.08	0.7	33.4	16.4	4.3	44.3	11.6	551	22
L15	0.87	0.07	0.7	34.7	16.2	4.5	48.7	12.9	540	25
L17	0.73	0.12	0.9	99.6	19.3	6.1	81.1	13.3	277	45
L18	0.77	0.05	0.8	29.9	15.5	3.8	45.9	10.6	582	28
L20	0.72	0.11	0.5	93.2	18.6	6.8	65.9	12.9	278	44
L22	0.56	0.05	0.7	19.4	10.4	4.9	56.6	9.6	866	48
L23	0.57	0.03	0.5	17.4	6.4	6.9	24.7	14.2	1000	21
L24	0.53	0.11	0.5	67.1	13.8	5.3	56.1	10.2	1000	39
L25	0.69	0.12	1.1	98.9	18.5	5	76.5	13.9	364	50
L26	0.36	0.03	0.8	11.6	10.8	2.2	34.4	3.4	1000	12
L27	0.42	0.03	0.4	11.8	8.7	1.9	23.9	6.1	1000	12
L31	1.15	0.06	0.4	30.6	14.2	13.4	49.8	22.6	623	26
L34	1.2	0.06	0.8	72	13.8	14.6	45.7	24.6	633	17
L35	1.23	0.04	0.9	32	12.9	16.6	45.1	26.1	731	14
L37	1.2	0.05	0.8	282	11.8	14.9	42.1	24.5	750	21
L38	0.36	0.05	0.5	26.9	5.1	2.8	20.2	6.8	1000	24
L39	0.86	0.1	1	64.1	14.8	7.3	71.4	18.3	424	51
L40	1.51	0.06	1.1	48	13.6	27.1	40.7	35.4	611	30
M1	0.6	0.02	0.6	22.3	9.5	5.6	36.6	10.3	1000	16
M2	0.86	0.06	0.4	30.5	13.4	14.3	56.3	12	773	61
M3	0.6	0.03	0.3	14.4	9.8	4.4	34.7	9	962	15
M4	0.58	0.03	0.6	15.9	12.5	3.9	41.1	7.8	857	20
M5	0.79	0.13	0.7	107	19.7	7.3	83.9	13.7	329	125
M7	0.54	0.06	0.7	32.4	12.3	5.1	46.4	7.8	820	25
M8	0.67	0.12	0.6	67.4	18.6	4.2	57.7	11.5	479	35
M9	0.65	0.18	1.1	111	21.2	6.8	53.9	11.1	363	47

M13	0.7	0.07	0.9	34.4	15.9	5.3	42.8	9.2	601	25
M16	0.37	0.05	0.4	27.4	6.3	3.6	16.6	5.6	1000	17
M18	0.69	0.12	0.5	79.2	15.3	5.3	50.4	11.3	1000	41
M19	0.73	0.13	0.6	72.8	15.1	6	43.5	12.2	585	46
M21	0.73	0.15	0.5	94.7	18.6	7.8	56.4	14.3	435	67
M22	0.57	0.04	0.7	12.4	5.3	4.4	31.9	10.4	1000	19
M23	1.31	0.08	0.6	35.5	11	12.8	57.4	25.6	593	43
M25	1.27	0.07	0.8	30.6	10.9	18.5	16.4	18.8	508	102
M27	1.76	0.08	0.6	56.9	11.5	28.4	29	40.9	598	47
M28	1.84	0.08	1	61.6	12.6	29.1	28.4	42.5	606	52
M32	0.6	0.13	1	90	16.7	6.2	50.9	11.3	289	56
M33	0.6	0.16	0.6	105	18.7	7.7	52	11.7	328	60
M34	1.62	0.06	1.3	17.9	10.9	25.9	20.3	35.1	727	27
M36	0.8	0.15	0.9	76	16	8.6	50.5	16.5	404	63
M37	0.52	0.15	0.4	92.8	17.3	7	35.2	9.8	269	54
M38	0.58	0.2	0.8	99.2	19	7.8	34.4	11.2	365	58
M40	1.12	0.09	0.9	35.7	13.2	12.6	27.9	19.8	602	76
M41	0.58	0.13	0.5	89.5	14.9	5.3	82.4	10.4	323	47
M42	0.82	0.13	0.9	91.5	17.9	5.8	75	13.9	403	46
M43	1.2	0.08	0.5	38.2	12.3	14	26.8	24.4	509	23
M44	0.95	0.07	0.5	33.4	13	8.2	21.2	18.7	639	19
M45	0.4	0.04	0.6	11.8	10.9	3.9	22.1	3.4	865	13
M46	0.43	0.02	0.8	9.8	11.2	2.7	21.4	3.8	845	9
M47	0.67	0.08	0.9	51.3	11.5	7.7	22.9	10.2	898	25
M48	0.86	0.08	0.2	57.1	13.4	5.2	47.3	12.4	733	26
Z1	0.87	0.05	0.6	43.7	10.5	13	16.3	17.6	532	47
Z2	0.85	0.03	0.8	31.7	7.7	10	28.9	17.5	743	11
Z3	1.34	0.05	0.9	46.1	12.2	17	29.4	28.9	482	29
V1	1.07	0.08	0.8	36.9	12.3	9.1	17.5	20.8	453	33
V3	0.48	0.04	0.1	19.4	7.5	3.2	24.2	5.9	1000	22
V4	0.29	0.02	1.1	10.9	3.3	1.2	12.3	3.7	1000	9
V6	0.34	0.03	0.6	14.1	2.8	3.9	11.9	4.3	1000	19
V7	0.43	0.07	0.7	42.1	4.7	3.6	23.4	7.2	1000	25
V10	0.39	0.05	0.3	14.3	4.1	3.2	16.9	5.7	1000	11
V11	0.25	0.05	0.4	18.8	5.4	1.6	9.1	4.1	1000	3
V12	1.01	0.09	0.8	33	9.9	5.7	19.2	12.9	617	44
V13	0.61	0.06	0.2	20.3	8.4	3.7	36.2	6.9	1000	25
V14	0.91	0.08	0.1	29.5	8.1	5.6	24.2	11.8	603	66
V17	0.84	0.09	0.2	34	7.7	5.7	24.5	12.7	700	29
V18	0.54	0.1	0.4	33.9	9.2	4	17.7	7.1	811	36

	1									
V19	0.69	0.12	0.1	45.7	7.6	4.7	36.7	8.9	1000	30
V20	1.09	0.08	0.8	30.5	9.2	6.4	33	12.7	461	57
V22	1.2	0.07	0.3	34.5	10.7	7.3	64.3	15.1	496	36
V23	1.1	0.09	0.4	70.8	9.6	7.9	26.7	14.4	555	37
V25	0.82	0.05	0.3	48.1	11.9	4.8	27.2	11.5	899	24
V26	1.15	0.06	0.5	32.6	10.3	8.3	20.6	16.1	497	43
V28	1.35	0.06	0.1	27.6	11.1	8.6	63	17.8	494	31
V29	1.09	0.06	0.1	32.5	10.4	8.4	24.4	15.3	590	50
V30	1.1	0.06	0.3	31.9	10.9	8.3	71.3	11.8	625	67
V31	1.07	0.07	0.6	33.5	10.6	7.2	28	15.1	676	32
V33	1.03	0.06	0.1	31.6	11.4	9.7	26.6	14.3	491	36
V34	1.24	0.06	0.2	32	11.1	7.6	51.5	15.8	497	35
V35	1.1	0.06	0.6	32.5	10.9	9.4	63.6	14.6	648	58
V36	1.14	0.07	0.3	30.8	10.5	8.2	53.5	16	674	35
M29	0.89	0.16	1.1	93.3	16.8	6.4	38	15.3	365	64
M39	0.87	0.15	0.9	119	17.9	6.3	42.3	14	368	55
promedio	0.84	0.09	0.62	48.8	12.2	7.99	41.4	14.1	660	39
desv std	0.33	0.07	0.28	37.6	4.02	5.53	19.3	7.53	229	26.6
min	0.25	0.02	0.1	9.8	2.8	1.2	9.1	3.4	269	3

Elemento	Nb	Мо	In	Sn	Sb	Те	Ba	La	Ce	Pr
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm						
Límite de										
detección	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1	0.1	0.1	0.1
L1	6.9	1	0.1	2	0.7	0.1	841	16.7	30	3.9
L2	0.9	0.7	0.1	1	0.1	0.1	817	18	31.4	4
L3	4.9	0.8	0.1	1	0.8	0.1	844	11.1	19.1	2.7
L4	0.9	0.8	0.1	1	0.1	0.1	751	16.7	30.2	3.8
L5	1.2	0.5	0.1	1	0.2	0.1	820	14.9	27.2	3.5
L6	1.6	0.3	0.1	1	0.4	0.1	715	11	20.8	2.4
L7	3.6	0.5	0.1	2	0.6	0.1	304	13.8	30.5	3.3
L9	3.4	0.8	0.1	1	0.8	0.1	289	14.7	30.6	3.4
L12	1.8	0.5	0.1	1	0.2	0.1	705	13.1	26.1	3.2
L15	2.2	0.8	0.1	1	0.3	0.1	707	14.9	29.4	3.6
L17	0.9	0.3	0.1	1	0.5	0.1	327	14.9	31.2	3.4
L18	2.7	0.8	0.1	1	0.3	0.1	629	11.8	23.4	2.7
L20	4.1	0.5	0.1	1	0.6	0.1	353	13.8	28.5	3.2
L22	1.9	0.8	0.1	1	0.6	0.1	697	10.5	18.8	2.3
L23	0.1	0.3	0.1	1	0.1	0.1	310	14.1	25.9	3.1
L24	4	0.6	0.1	1	0.6	0.1	309	11.5	23.7	2.6
L25	2.1	0.5	0.1	1	0.6	0.1	326	15.2	30.9	3.5
L26	1.2	0.2	0.1	1	0.4	0.1	689	5	9.6	1
L27	1.6	0.2	0.1	1	0.4	0.1	493	8.5	18.9	1.9
L31	0.2	0.6	0.1	1	0.1	0.1	683	21.2	35.4	4.7
L34	0.1	0.5	0.1	1	0.1	0.1	673	21.9	35.9	4.9
L35	0.1	0.7	0.1	1	0.1	0.1	643	24.1	39.1	5.3
L37	0.1	1.1	0.1	1	0.1	0.1	654	23	38.1	5.1
L38	0.7	0.5	0.1	1	0.2	0.1	151	7.6	15.7	1.8
L39	0.7	0.9	0.1	1	0.3	0.1	461	18.1	35.4	4.3
L40	0.1	0.9	0.1	1	0.1	0.1	660	30.7	48.2	6.8
M1	0.7	0.4	0.1	1	0.1	0.1	585	10.9	19.5	2.5
M2	4.6	0.7	0.1	1	1	0.1	837	12.9	23.7	3
M3	1.2	0.3	0.1	1	0.3	0.1	633	10.5	19.9	2.4
M4	2.6	0.7	0.1	1	0.6	0.1	866	10	19.1	2.2
M5	6.5	1.2	0.1	2	0.7	0.1	377	16.1	34.2	3.8
M7	2.6	0.9	0.1	1	0.7	0.1	613	10.1	20.7	2.3
M8	0.9	0.4	0.1	2	0.2	0.1	682	11.7	23.1	2.9
M9	7.1	1.5	0.1	2	0.9	0.1	<u>4</u> 51	7.7	18.8	2.4

M13	4.1	1	0.1	1	0.8	0.1	713	11.3	22.9	2.7
M16	2.2	1	0.1	1	0.3	0.1	191	8.1	19.1	1.9
M18	4.8	1.6	0.1	2	0.9	0.1	306	14.1	29.9	3.3
M19	5.4	1.4	0.1	1	0.7	0.1	406	12.9	27.1	3.2
M21	6.9	1.6	0.1	2	0.9	0.1	406	11.4	24.8	3.2
M22	0.5	0.4	0.1	1	0.2	0.1	423	11	19.1	2.5
M23	0.4	0.7	0.1	1	0.2	0.1	749	27.8	45.2	6.2
M25	4	0.8	0.1	1	0.7	0.1	723	19.6	32.4	4.6
M27	0.9	1.3	0.1	1	0.8	0.1	567	37.7	60.4	8.7
M28	2	1.3	0.1	1	0.9	0.1	578	41.3	67.2	9.5
M32	5.8	0.8	0.1	2	0.7	0.1	303	10.6	22.5	2.8
M33	6.2	0.9	0.1	2	0.7	0.1	295	10.4	22	2.7
M34	0.6	0.8	0.1	1	0.6	0.1	590	33.2	54	7.7
M36	6.2	1.6	0.1	2	1.4	0.1	441	13.1	27.1	3.6
M37	5.9	0.7	0.1	2	0.8	0.1	309	7.9	17.5	2.1
M38	6.8	1	0.1	2	5.2	0.1	363	8.3	18.9	2.4
M40	1.4	0.8	0.1	1	0.1	0.1	809	20.1	36.9	4.6
M41	4.9	0.5	0.1	2	0.7	0.1	298	12.4	25.5	3
M42	2.8	1	0.1	1	0.8	0.1	381	16.3	33.2	3.9
M43	0.1	1	0.1	1	0.1	0.1	685	23.2	40.2	5.3
M44	0.2	0.8	0.1	1	0.1	0.1	712	18.9	34.9	4.4
M45	1.5	0.3	0.1	1	0.8	0.1	1080	5.3	8.9	1.1
M46	1.4	0.4	0.1	1	0.5	0.1	1020	5.7	10	1.2
M47	3.7	0.8	0.1	1	0.5	0.1	407	13.6	29.7	3.1
M48	3.1	1	0.1	1	0.5	0.1	470	15.8	34.3	3.8
Z1	3.4	0.9	0.1	1	0.5	0.1	628	14	23.1	3.6
Z2	0.1	0.5	0.1	1	0.1	0.1	456	16.4	26.7	3.8
Z3	0.1	2.2	0.1	1	0.3	0.1	613	27.5	45.7	6.3
V1	0.2	0.7	0.1	1	0.1	0.1	779	20.6	36.1	4.8
V3	2.1	0.4	0.1	1	0.4	0.1	767	7.6	13.9	1.8
V4	1.1	0.2	0.1	1	0.2	0.1	252	4.5	9.4	1
V6	1.3	0.9	0.1	1	0.3	0.1	182	5.1	10.1	1.1
V7	1.9	1.2	0.1	1	0.4	0.1	259	8.5	17.1	2
V10	0.3	0.6	0.1	1	0.3	0.1	330	7.2	14.6	1.7
V11	0.5	0.3	0.1	1	0.2	0.1	171	4.8	10.6	1.1
V12	~ ~	08	01	1	0.4	0.1	829	16.4	29.5	3.8
1// 0	2.6	0.0	0.1							
V13	2.6 1.9	0.4	0.1	1	0.6	0.1	750	10.2	19.4	2.4
V13 V14	2.6 1.9 4	0.8 0.4 0.7	0.1	1 1	0.6 0.5	0.1 0.1	750 798	10.2 15.9	19.4 28.8	2.4 3.8
V13 V14 V17	2.6 1.9 4 2	0.8 0.4 0.7 0.7	0.1 0.1 0.1	1 1 1	0.6 0.5 0.5	0.1 0.1 0.1	750 798 735	10.2 15.9 16.6	19.4 28.8 29.5	2.4 3.8 4

	1									
V19	3.3	0.7	0.1	1	0.9	0.1	663	12.6	25	3.1
V20	1.8	0.8	0.1	1	0.5	0.1	894	16.6	30.1	3.9
V22	0.9	0.8	0.1	1	0.1	0.1	894	18.6	32.7	4.3
V23	1.1	0.9	0.1	1	0.3	0.1	908	17.9	32.1	4.1
V25	1.3	0.5	0.1	1	0.4	0.1	879	14.9	28.8	3.6
V26	0.3	0.9	0.1	1	0.1	0.1	851	18.7	33.6	4.3
V28	0.2	0.9	0.1	1	0.1	0.1	892	20.4	34.9	4.6
V29	0.9	1.4	0.1	1	0.2	0.1	877	18	31.8	4.2
V30	4.3	0.8	0.1	1	0.7	0.1	1050	14.9	26.3	3.4
V31	0.6	0.8	0.1	1	0.2	0.1	869	18	33.2	4.2
V33	0.5	0.8	0.1	1	0.1	0.1	796	16	26.6	3.7
V34	0.2	0.9	0.1	1	0.1	0.1	847	18.4	31	4.2
V35	2.9	0.6	0.1	1	0.4	0.1	848	16.6	29.9	3.9
V36	0.6	1	0.1	1	0.1	0.1	823	18.5	34.7	4.3
M29	3.5	0.8	0.1	1	0.6	0.1	338	18.1	37.4	4.4
M39	4.5	0.7	0.1	2	0.7	0.1	360	17.1	35.4	4.1
promedio	2.3	0.78	0.1	1.16	0.5	0.1	604	15.1	27.9	3.52
desv std	1.99	0.35	0	0.36	0.58	0	234	6.76	10.4	1.52
min	0.1	0.2	0.1	1	0.1	0.1	151	4.5	8.9	1

Elemento	Nd	Sm	Gd	Tb	Dy	Cu	Ge	Tm	Yb	Lu
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de							• •			.
deteccion	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
<u>L1</u>	15.1	2.8	3	0.5	2.8	8.3	0.1	0.2	1.4	0.2
<u>L2</u>	15.5	3	3	0.5	3	9.1	0.3	0.3	1.5	0.2
<u>L3</u>	10.6	2.1	2.2	0.4	2	7.6	0.2	0.2	1.1	0.2
L4	14.7	2.9	3.1	0.5	3	9.3	0.1	0.2	1.5	0.2
L5	13.6	2.7	2.9	0.4	2.6	7.5	0.2	0.2	1.2	0.2
L6	9.6	1.8	1.9	0.3	1.7	9.2	0.1	0.1	0.8	0.1
L7	12.8	2.4	2.5	0.4	2.1	24.7	0.1	0.2	1	0.1
_L9	12.9	2.5	2.5	0.4	2.3	43.1	0.1	0.2	1.1	0.2
L12	12.5	2.5	2.5	0.4	2.2	13.6	0.2	0.2	1	0.1
L15	13.9	2.7	2.7	0.4	2.3	13.2	0.2	0.2	1.1	0.2
L17	13.2	2.6	2.6	0.4	2.4	43	0.4	0.2	1.2	0.2
L18	10.8	2.1	2.3	0.3	1.8	10.9	0.1	0.1	0.9	0.1
L20	12.6	2.6	2.6	0.4	2.3	41.1	0.2	0.2	1.1	0.2
L22	8.7	1.6	1.8	0.3	1.5	6.4	0.1	0.1	0.7	0.1
L23	12.2	2.3	2.4	0.4	2.1	4.9	0.1	0.2	1.1	0.2
L24	10.2	1.9	2	0.3	1.7	26.9	0.1	0.1	0.8	0.1
L25	13.2	2.7	2.7	0.4	2.5	70.2	0.2	0.2	1.1	0.2
L26	3.9	0.7	0.7	0.1	0.6	4.6	0.1	0.1	0.2	0.1
L27	7.7	1.4	1.3	0.2	1.1	10.5	0.1	0.1	0.4	0.1
L31	18	3.4	3.7	0.6	3.4	8.3	0.1	0.3	1.6	0.2
L34	18.6	3.5	3.9	0.6	3.7	45.6	0.1	0.3	1.8	0.2
L35	20.4	3.8	4.1	0.6	3.8	7	0.1	0.3	1.7	0.3
L37	19.7	3.6	4.1	0.6	3.9	10.5	0.1	0.3	1.9	0.3
L38	6.8	1.3	1.4	0.2	1.2	9.5	0.1	0.1	0.6	0.1
L39	16.7	3.3	3.5	0.5	3.2	24.3	0.1	0.3	1.6	0.2
L40	26.4	5.2	5.7	0.9	5.3	12.3	0.1	0.4	2.5	0.4
M1	9.6	1.8	1.9	0.3	1.8	4.6	0.1	0.1	0.8	0.1
M2	11.4	2.2	2.3	0.3	2.1	7.7	0.1	0.2	1.1	0.2
M3	9	1.8	1.8	0.3	1.6	4.5	0.1	0.1	0.7	0.1
M4	8.7	1.6	1.7	0.2	1.4	10.3	0.1	0.1	0.6	0.1
M5	14.5	2.8	2.9	0.4	2.6	57.4	0.1	0.2	1.2	0.2
M7	8.8	1.6	1.7	0.2	1.4	13.3	0.2	0.1	0.6	0.1
M8	11.6	2.2	2.3	0.4	2.1	26.7	0.3	0.2	1	0.1
M9	9.8	2.2	2.4	0.4	2.4	64.2	0.3	0.2	1.2	0.2

M13	10.6	2	2.1	0.3	1.8	25.6	0.5	0.1	0.8	0.1
M16	7.4	1.3	1.3	0.2	1.1	11.3	0.1	0.1	0.5	0.1
M18	13.2	2.6	2.6	0.4	2.4	34.4	0.1	0.2	1.2	0.2
M19	12.8	2.6	2.7	0.4	2.5	60.4	0.1	0.2	1.2	0.2
M21	13.1	2.7	3.1	0.5	3	38	0.2	0.3	1.5	0.2
M22	9.5	1.8	1.9	0.3	1.9	7.6	0.1	0.2	0.9	0.1
M23	24.1	4.7	4.8	0.8	4.7	9.8	0.1	0.4	2.2	0.3
M25	18.2	3.6	3.9	0.6	3.9	7.3	0.2	0.3	1.9	0.3
M27	34.8	6.7	7.6	1.2	7.2	8.8	0.2	0.6	3.4	0.5
M28	36.8	7.2	7.8	1.2	7.3	10.7	0.2	0.6	3.6	0.5
M32	10.8	2.3	2.4	0.4	2.4	35.6	0.2	0.2	1.2	0.2
M33	10.7	2.4	2.5	0.4	2.6	45.4	0.1	0.2	1.3	0.2
M34	30.3	5.9	6.3	1	6.2	2.6	0.1	0.5	3	0.4
M36	14.4	3	3.3	0.5	3.3	31.2	0.1	0.3	1.7	0.2
M37	8.6	1.9	2.1	0.3	2.2	38.2	0.2	0.2	1.2	0.2
M38	10	2.1	2.3	0.4	2.4	46.6	0.1	0.2	1.2	0.2
M40	17.9	3.5	3.7	0.6	3.6	11.1	0.1	0.3	1.7	0.3
M41	11.2	2.2	2.3	0.3	2	51.2	0.2	0.2	1	0.1
M42	14.8	3	3	0.5	2.8	37.9	0.2	0.2	1.4	0.2
M43	20.7	4.1	4.3	0.7	4.1	14.6	0.1	0.4	2	0.3
M44	17	3.3	3.5	0.6	3.3	11.2	0.1	0.3	1.6	0.2
M45	4	0.8	0.8	0.1	0.6	8.5	0.1	0.1	0.3	0.1
M46	4.4	0.9	0.8	0.1	0.7	5	0.1	0.1	0.3	0.1
M47	12.5	2.4	2.4	0.3	2	21.4	0.1	0.2	0.9	0.1
M48	15	2.9	3	0.4	2.6	23.9	0.2	0.2	1.2	0.2
Z1	14.2	3	3.3	0.5	3.1	8	0.4	0.3	1.5	0.2
Z2	14.9	2.9	3.4	0.5	3	5.6	0.1	0.3	1.5	0.2
Z3	24.9	4.9	5.2	0.8	5	11	0.1	0.4	2.3	0.4
V1	18.6	3.7	3.9	0.6	3.7	7.2	0.1	0.3	1.9	0.3
V3	6.9	1.3	1.4	0.2	1.2	4.3	0.1	0.1	0.6	0.1
V4	4.1	0.8	0.7	0.1	0.7	3.7	0.1	0.1	0.4	0.1
V6	4.4	0.9	0.9	0.1	1	5.7	0.1	0.1	0.4	0.1
V7	8.1	1.5	1.6	0.3	1.6	18.8	0.1	0.1	0.7	0.1
V10	6.4	1.3	1.3	0.2	1.2	5.3	0.1	0.1	0.6	0.1
V11	4.6	0.9	1	0.1	0.9	7.4	0.1	0.1	0.4	0.1
V12	15.1	3	3.1	0.5	3	8.4	0.1	0.2	1.5	0.2
V13	9.2	1.9	1.9	0.3	1.7	3.3	0.1	0.1	0.8	0.1
V14	14.6	2.9	3.1	0.5	2.8	6.1	0.1	0.3	1.4	0.2
V17	15.5	3.1	3.3	0.5	3.2	7.7	0.1	0.3	1.6	0.2
V18	8.5	1.7	1.9	0.3	1.8	9.3	0.3	0.2	0.9	0.1

V19	12	2.5	2.4	0.4	2.3	10.3	0.1	0.2	1	0.2
V20	14.9	2.9	3.2	0.5	3.2	7.5	0.1	0.3	1.5	0.2
V22	16.6	3.2	3.5	0.5	3.3	7.6	0.2	0.3	1.8	0.2
V23	15.7	3.1	3.4	0.5	3.2	45	0.1	0.3	1.6	0.2
V25	14.6	2.7	3	0.4	2.7	10.1	0.1	0.2	1.2	0.2
V26	16.6	3.3	3.5	0.6	3.4	10.3	0.1	0.3	1.6	0.3
V28	18.1	3.6	3.7	0.6	3.7	7.4	0.1	0.3	1.8	0.2
V29	16	3.2	3.5	0.5	3.3	11	0.1	0.3	1.4	0.2
V30	13.3	2.6	2.7	0.4	2.7	10.2	0.1	0.2	1.3	0.2
V31	16.5	3.2	3.2	0.5	3.1	10.6	0.1	0.3	1.6	0.2
V33	14.1	2.9	3.1	0.5	3.1	6.9	0.2	0.3	1.4	0.2
V34	16.5	3.3	3.5	0.6	3.4	10.2	0.1	0.3	1.6	0.2
V35	14.5	2.9	3	0.5	3	7.3	0.1	0.3	1.4	0.2
V36	16.6	3.3	3.5	0.5	3.3	10.2	0.1	0.3	1.5	0.2
M29	17.1	3.4	3.6	0.6	3.4	40.3	0.1	0.3	1.6	0.2
M39	16.2	3.2	3.4	0.5	3.2	41.9	0.4	0.3	1.5	0.2
promedio	13.7	2.7	2.85	0.44	2.67	18.1	0.14	0.23	1.28	0.19
desv std	5.94	1.16	1.28	0.21	1.25	16.3	0.08	0.11	0.61	0.09
min	3.9	0.7	0.7	0.1	0.6	2.6	0.1	0.1	0.2	0.1

Elemento	Та	W	Re	TI	Pb	Sc	Th	U	Ti	Р	S
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%
Límite de		0.4	0.004	0.05	o =		0 4	0 4	0 0005	0.004	0.04
deteccion	0.1	0.1	0.001	0.05	0.5	1	0.1	0.1	0.0005	0.001	0.01
<u>L1</u>	0.5	1.1	3.74	0.45	11.3	6	1.5	2.1	0.19	0.11	0.09
	0.1	0.4	3.25	0.44	11	6	4.6	2.4	0.15	0.29	0.1
<u>L3</u>	0.4	0.7	2.66	0.36	11.2	4	3.8	1.6	0.15	0.12	0.07
<u>L4</u>	0.1	0.3	2.2	0.47	14	6	4.3	2.2	0.16	0.26	0.16
<u>L5</u>	0.1	0.4	1.93	0.38	11	5	3.3	1.8	0.13	0.25	0.12
<u>L6</u>	0.2	0.3	1.38	0.26	7.9	3	1.8	1.2	0.1	0.14	0.11
<u>L7</u>	0.3	0.6	1.09	0.32	7.5	11	3.8	1.3	0.27	0.12	0.41
<u>L9</u>	0.2	0.6	1.74	0.37	9.9	14	4.8	1.6	0.3	0.11	0.4
L12	0.2	0.2	2.09	0.37	9.6	9	3.8	1	0.26	0.1	0.17
L15	0.1	0.2	1.71	0.38	9.5	9	4.6	1.2	0.28	0.12	0.19
L17	0.1	0.1	28.3	0.38	11.3	18	4.8	1.4	0.37	0.12	0.29
L18	0.2	0.3	1.74	0.36	9.3	7	3	1.1	0.21	0.12	0.17
L20	0.2	0.6	0.554	0.46	11	16	4.8	1.3	0.34	0.11	0.41
L22	0.1	0.4	1.04	0.45	8.1	3	3.2	1.5	0.13	0.13	0.18
L23	0.1	0.1	0.41	0.26	3.6	5	1.9	1.9	0.06	0.28	0.22
L24	0.3	0.6	0.552	0.3	8.6	11	3.9	1.6	0.23	0.11	0.35
L25	0.1	0.3	1.95	0.38	11.6	16	5.1	1.6	0.34	0.12	0.23
L26	0.1	0.2	0.394	0.2	8.7	2	1	0.5	0.04	0.04	0.12
L27	0.1	0.3	0.348	0.17	6.1	2	1	0.7	0.07	0.07	0.14
L31	0.1	0.1	0.658	0.44	6.7	8	3.5	3	0.11	0.5	0.14
L34	0.1	0.1	0.72	0.46	14.3	9	3.2	3.3	0.09	0.58	0.14
L35	0.1	0.1	0.658	0.41	6.2	10	3.4	3.6	0.04	0.61	0.16
L37	0.1	0.1	0.714	0.47	6.5	9	3.6	3.6	0.04	0.54	0.17
L38	0.1	0.2	0.708	0.2	3.5	4	2.2	1.2	0.09	0.11	0.26
L39	0.1	0.3	0.462	0.6	9.9	11	5.5	2.2	0.27	0.23	0.33
L40	0.1	0.1	0.806	0.43	7.2	15	4.3	5	0.04	0.87	0.16
M1	0.1	0.2	0.532	0.24	6.9	3	1.9	1.3	0.09	0.17	0.13
M2	0.4	0.7	0.72	0.27	10.7	4	3.6	1.3	0.14	0.12	0.08
M3	0.1	0.2	0.504	0.25	7.6	3	1.9	1.1	0.08	0.16	0.12
M4	0.2	0.3	0.562	0.29	9.6	3	2	0.9	0.09	0.09	0.11
M5	0.5	1	0.46	0.51	12.2	17	5.4	1.6	0.37	0.14	0.5
M7	0.2	0.4	0.488	0.34	9.2	5	2.5	0.8	0.13	0.07	0.17
M8	0.1	0.1	0.819	0.42	11.6	10	3.5	0.9	0.29	0.08	0.27
M9	0.5	0.9	1.66	0.53	15.2	16	3.6	1.1	0.51	0.1	0.71

M13	0.3	0.7	0.8	0.42	10.8	7	3.1	1	0.23	0.07	0.21
M16	0.1	0.3	0.256	0.21	4.7	4	2	1	0.12	0.07	0.32
M18	0.4	0.7	0.668	0.42	11.6	14	4.8	2.2	0.3	0.12	0.54
M19	0.4	0.7	0.37	0.47	12.3	10	4.4	1.8	0.28	0.16	0.3
M21	0.5	1	0.506	0.51	14.6	12	5.1	1.9	0.35	0.18	0.25
M22	0.1	0.1	0.37	0.36	5.3	3	2.3	2.5	0.05	0.2	0.22
M23	0.1	0.1	0.002	0.53	11.2	8	6.4	4.1	0.09	0.44	0.11
M25	0.3	0.6	0.001	0.47	9.1	5	3.4	3.9	0.2	0.71	0.14
M27	0.1	0.1	0.001	0.43	8.1	21	5.5	6.3	0.07	0.9	0.18
M28	0.1	0.1	0.002	0.4	8.3	22	6	6.4	0.16	0.91	0.16
M32	0.4	0.7	0.004	0.43	13.4	15	4.3	2.3	0.33	0.16	0.36
M33	0.4	0.8	0.004	0.46	14.5	17	4.3	1.7	0.36	0.17	0.33
M34	0.1	0.1	0.001	0.48	7.3	13	3.9	5.9	0.11	0.93	0.17
M36	0.8	1.1	0.004	0.61	13.3	11	5.2	2.1	0.29	0.23	0.36
M37	0.5	0.8	0.002	0.46	13.4	14	3.3	1.5	0.32	0.14	0.36
M38	0.6	0.8	0.002	0.48	14.3	13	3.7	1.4	0.34	0.14	0.29
M40	0.1	0.2	0.001	0.51	12.5	6	5.8	2.9	0.12	0.34	0.16
M41	0.3	0.6	0.001	0.38	11.9	5	4.8	1.3	0.25	0.1	0.22
M42	0.2	0.7	0.004	0.47	13.4	15	5.3	1.7	0.33	0.13	0.27
M43	0.1	0.1	0.001	0.53	10.5	8	4.7	3.4	0.06	0.46	0.16
M44	0.1	0.1	0.001	0.48	10.8	7	3.9	2.5	0.11	0.31	0.15
M45	0.3	0.2	0.001	0.25	12.9	1	1.2	0.5	0.04	0.04	0.06
M46	0.1	0.1	0.002	0.25	11.5	2	1.2	0.6	0.05	0.04	0.08
M47	0.2	0.4	0.002	0.42	8.8	8	3.5	1.5	0.21	0.1	0.4
M48	0.1	0.2	0.002	0.45	9.8	11	4.5	1.6	0.29	0.1	0.35
Z1	0.2	0.3	0.002	0.37	7.7	7	3.5	3	0.18	0.46	0.12
Z2	0.1	0.1	0.002	0.27	5.2	12	2.6	3	0.05	0.35	0.14
Z3	0.1	0.1	0.002	0.38	8.5	15	4.7	5.2	0.07	0.62	0.38
V1	0.1	0.1	0.002	0.48	11	7	5.5	2.7	0.11	0.32	0.07
V3	0.1	0.2	0.002	0.25	9.9	3	2	1	0.08	0.06	0.14
V4	0.1	0.1	0.001	0.14	4.8	1	0.9	2.5	0.04	0.04	0.27
V6	0.1	0.4	0.001	0.14	3.5	2	1.3	2.9	0.05	0.05	0.31
V7	0.1	0.3	0.002	0.3	7.3	4	2.5	3.3	0.1	0.08	0.38
V10	0.1	0.6	0.001	0.17	7	2	2.2	2.2	0.07	0.08	0.23
V11	0.1	0.2	0.001	0.12	7.3	1	0.9	2.8	0.04	0.07	0.32
V12	0.1	0.6	0.001	0.39	13.2	5	6.1	2.1	0.17	0.1	0.07
V13	0.1	0.3	0.004	0.36	15.4	3	2.9	1.9	0.1	0.08	0.15
V14	0.2	0.5	0.001	0.39	12.6	5	6.5	2.1	0.16	0.09	0.11
V17	0.1	0.5	0.002	0.42	13.6	4	6.8	2.3	0.14	0.09	0.11
V18	0.3	0.4	0.001	0.66	20	3	3.4	1.8	0.15	0.12	0.11
	-			_	-	-		-	-		

	1										
V19	0.4	0.9	0.004	0.49	36.8	5	4.1	2.2	0.15	0.09	0.25
V20	0.1	0.4	0.004	0.5	13.9	5	5.7	2.1	0.18	0.14	0.1
V22	0.1	0.2	0.002	0.5	12.7	5	5.7	2.5	0.15	0.19	0.08
V23	0.1	0.4	0.002	0.55	31.4	5	5.6	2.4	0.14	0.18	0.14
V25	0.1	0.2	0.004	0.6	17.8	6	4.1	1.7	0.19	0.14	0.14
V26	0.1	0.2	0.004	0.54	13.4	5	5.7	2.6	0.12	0.26	0.1
V28	0.1	0.1	0.004	0.54	10.6	7	5.4	3	0.12	0.34	0.11
V29	0.1	0.3	0.001	0.45	13	6	5.5	2.3	0.15	0.23	0.09
V30	0.3	0.5	0.002	0.42	15.6	5	4.9	1.6	0.15	0.12	0.07
V31	0.1	0.1	0.002	0.6	19.8	5	4.2	2.4	0.13	0.25	0.14
V33	0.1	0.1	0.001	0.47	10.2	7	4.1	2.9	0.09	0.33	0.1
V34	0.1	0.1	0.002	0.43	9.9	7	4.4	2.8	0.1	0.26	0.1
V35	0.2	0.3	0.002	0.41	12.4	6	4.9	2	0.17	0.17	0.09
V36	0.1	0.1	0.002	0.67	13.3	5	4.4	2.4	0.13	0.26	0.16
M29	0.2	0.5	0.002	0.53	15.8	15	7.7	2.3	0.29	0.17	0.3
M39	0.2	0.3	0.004	0.52	16.1	17	7.3	1.9	0.35	0.14	0.3
promedio	0.19	0.37	0.78471	0.41	11.1	7.97	3.99	2.19	0.17	0.22	0.21
desv std	0.14	0.27	3.03209	0.12	4.89	4.99	1.57	1.18	0.1	0.21	0.12
min	0.1	0.1	0.001	0.12	3.5	1	0.9	0.5	0.04	0.04	0.06
ANEXO 2. CONCENTRACIONES TOTALES DE ET EN EL NUCLEO DE

SEDIMENTOS

Elemento	Li	Na	Mg	Al	K	Ca	Cd	V	Cr	Mn
Unidad reportada	ppm	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de detección	0.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	1	0.5	1
H1	71.4	3	2.38	7.6	1.96	2.85	0.2	71	40.2	493
H2	75.1	3	2.56	8.21	2.02	2.91	0.2	76	41.7	493
H3	72	3	2.28	7.56	2.29	2.94	0.2	68	37.7	467
H4	75.7	3	2.47	8.27	1.93	3.57	0.2	72	44	483
H5	79.2	3	2.48	8.68	2.26	3.31	0.2	77	42.5	513
H6	76.5	3	2.27	7.55	2.33	3	0.2	74	46.8	495
H7	77.9	3	2.38	7.57	2.24	3.05	0.2	74	46.1	508
H8	78.4	2.99	2.27	6.43	2.01	3.13	0.1	76	49	514
H9	77.6	2.98	2.2	5.3	1.9	2.96	0.2	74	45.8	522
H10	85.4	3	2.62	8.28	2.39	3.51	0.2	83	49.2	539
H11	75.8	3	2.37	8.05	2.36	3.85	0.2	75	39.6	487
H12	76.9	3	2.42	8.42	1.88	3.93	0.2	75	41.2	524
H13	78.5	3	2.58	8.57	1.64	4.8	0.2	79	38.9	577
H14	79.7	3	2.45	8	1.62	4.54	0.2	76	41.4	564
H15	75.7	3	2.43	8.08	1.97	4.58	0.2	74	37.8	558
H16	73.4	3	2.39	7.74	1.91	5.25	0.3	72	38.6	508
H17	70.6	3	2.25	7.5	1.94	5.47	0.2	70	38.4	512
H18	67.4	3	2.28	7.78	1.81	5.25	0.2	69	36.6	507
H19	66.2	3	2.3	7.7	1.73	5.8	0.3	69	33.5	501
H20	65	3	2.3	7.25	2.13	4.47	0.3	66	41.8	483
H21	65.3	2.98	2.19	7.35	1.99	5.95	0.2	66	43.8	495
H22	60.4	2.73	2.12	6.82	1.96	5.38	0.2	63	33.1	442
H23	63.5	2.94	2.13	7.27	2.63	6.47	0.2	64	35.3	489
H24	56.3	2.61	2.06	6.62	2.44	6.18	0.2	62	31.2	417
H25	60	2.94	2.08	7.1	2.25	7.09	0.3	64	75.9	483
H26	60.2	2.86	2.13	7.37	2.34	6.7	0.3	66	44.4	479
H27	65	3	2.26	7.38	1.95	5.53	0.3	68	38.8	499
H28	63.7	3	2.2	7.45	2.13	5.29	0.4	68	39.1	511
H29	63.8	3	2.38	7.95	1.53	5.95	0.4	69	47.9	500
H30	61.2	3	2.07	5.07	2.15	5.07	0.3	66	41.9	480
H31	60.5	3	2.18	7.1	1.73	5.99	0.3	61	73.3	457
H32	57.9	3	2.08	7.02	2.33	5.77	0.4	60	34	444
H33	55.7	3	2.16	7.17	2.48	6.47	0.3	62	36.5	434
H34	52	3	2.08	7.12	2.47	6.61	0.3	60	33.3	429
H35	57.3	3	2.22	7.23	2.95	5.76	0.4	65	41.8	453
H36	56.5	3	2.16	6.86	2.03	5.97	0.4	63	37.3	434

H37	57.4	3	2.22	7.13	1.87	5.46	0.3	64	38.5	431
H38	57.6	3	2.13	7.08	1.73	6.05	0.4	61	36.7	439
H39	57.1	3	2.13	7.18	1.89	5.64	0.3	62	40.1	444
H40	59.4	3	2.14	6.97	2.3	5.61	0.4	60	37.1	434
H41	61	3	2.24	7.04	2.36	5.41	0.3	63	44.5	447
H42	57.6	3	2.15	7.24	1.99	6.19	0.4	63	33.6	442
H43	54.2	3	2.09	6.92	2.05	6.82	0.3	59	34.9	411
H44	52.9	3	2.06	7.08	2.27	6.32	0.4	60	36.9	416
H45	46.4	3	1.92	6.84	2.41	7.6	0.3	56	34.7	386
H46	40.2	2.94	1.69	6.41	1.84	7.78	0.3	51	35	353
promedio	65.3	2.9	2.24	7.33	2.1	5.18	0.27	67.3	41.1	476
desv std	10.1	1.21	0.18	0.71	0.29	1.36	0.08	6.73	8.5	46.3
min	40.2	2.61	1.69	5.07	1.53	2.85	0.1	51	31.2	353
max	85.4	3	2.62	8.68	2.95	7.78	0.4	83	75.9	577

Elemento	Fe	Hf	Hg	Ni	Er	Be	Ho	Ag	Cs	Со
Unidad reportada	%	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de detección	0.01	0.1	10	0.5	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.1
H1	4.06	1.9	10	18.8	1.7	1.7	0.6	0.22	11.9	13.8
H2	4.21	2	10	19.7	1.9	1.8	0.7	0.23	12.5	14.4
H3	4.03	1.8	20	18.7	1.7	1.7	0.6	0.21	11.8	13.4
H4	4.24	1.9	40	19.8	1.8	2	0.7	0.22	12.4	14.2
H5	4.49	1.9	10	20.8	1.9	1.9	0.7	0.2	13.3	15.4
H6	4.29	1.8	10	20.5	1.6	1.9	0.6	0.49	12.5	14.6
H7	4.4	2	10	20.5	1.6	1.8	0.6	0.27	12.7	15
H8	4.44	2.1	50	20.6	1.4	1.9	0.5	0.32	12.2	14.9
H9	4.43	2.1	10	20.6	1.1	2	0.4	0.33	8.55	15
H10	4.83	2.3	10	21.9	1.8	2.3	0.6	0.32	13.9	16.3
H11	4.38	1.9	20	20	1.7	1.7	0.6	0.25	12.6	14.5
H12	4.41	2	10	20.7	1.8	1.8	0.6	0.28	12.6	14.7
H13	4.49	1.8	20	21.3	1.9	2.1	0.7	0.3	12.7	14.9
H14	4.5	1.9	30	20.5	1.8	1.9	0.7	0.29	12.5	15.1
H15	4.3	1.9	10	19.9	1.9	2	0.7	0.29	12.3	14.5
H16	4.24	1.8	10	20.1	1.8	1.7	0.6	0.26	11.8	14.4
H17	4.21	1.9	10	21.8	1.8	1.7	0.6	0.29	11.5	14.2
H18	4.2	1.9	10	19.8	1.9	1.6	0.6	0.29	11.4	14.2
H19	4.13	1.8	10	24.3	1.9	1.6	0.7	0.28	11.3	14.2
H20	3.91	2.2	10	19.5	1.6	1.7	0.5	0.35	8.58	13.4

H21	3.91	1.9	10	19	1.8	1.8	0.6	0.3	10.9	13.7
H22	3.64	1.7	10	17.5	1.7	1.6	0.6	0.25	10.2	13.2
H23	3.91	1.9	10	19.4	1.8	1.6	0.6	0.31	11	13.5
H24	3.49	1.7	10	17.6	1.6	1.6	0.6	0.26	9.86	12.3
H25	3.88	1.9	10	19.5	1.8	1.7	0.6	0.33	10.6	13.2
H26	3.76	1.9	10	19.3	1.8	1.6	0.7	0.4	10.8	13.1
H27	4.11	2.1	10	19.7	2	1.7	0.7	0.34	11.2	13.5
H28	4.07	2.2	10	20.1	2	1.8	0.7	0.41	11.3	13.2
H29	3.97	2.2	10	19.5	2.1	1.8	0.8	0.29	11.3	13.1
H30	3.75	2.1	10	19.1	1.5	1.6	0.5	0.36	9.19	12.7
H31	3.8	2.1	10	18.9	2	1.7	0.7	0.31	10.7	12.6
H32	3.67	2.1	10	18.1	2	1.6	0.7	0.27	10.4	11.9
H33	3.51	2	10	18.1	2.1	1.8	0.7	0.25	10.4	11.6
H34	3.46	2.2	40	18	2	1.5	0.7	0.33	10.1	11.1
H35	3.65	2.3	10	19.1	2.1	1.7	0.7	0.29	10.8	11.7
H36	3.6	2.2	10	18.8	2	1.7	0.7	0.31	10.4	11.2
H37	3.65	2.2	10	18.8	2	1.7	0.7	0.31	10.6	11.4
H38	3.59	2.2	10	18.9	1.9	1.6	0.7	0.33	10.5	11.8
H39	3.69	2.1	10	18.8	2	1.6	0.7	1.34	10.4	11.6
H40	3.61	2	10	19.2	1.9	1.7	0.7	0.56	10.8	11.7
H41	3.77	2	10	19.7	2	1.6	0.7	0.41	11.2	11.9
H42	3.59	2	10	19	1.9	1.6	0.7	0.4	10.8	11.7
H43	3.53	2	10	18.9	1.9	1.6	0.7	0.37	10.2	11.2
H44	3.51	2.1	20	18.1	2.1	1.6	0.7	0.47	10.1	11.1
H45	3.12	2	10	17.8	2.1	1.6	0.7	0.34	8.96	9.8
H46	2.88	1.3	10	16.6	2.1	1.4	0.7	0.35	7.9	8.9
promedio	3.94	1.98	26	19.5	1.84	1.73	0.65	0.34	11.1	13.1
desv std	0.4	0.18	12.4	1.32	0.2	0.17	0.08	0.17	1.29	1.59
min	2.88	1.3	10	16.6	1.1	1.4	0.4	0.2	7.9	8.9
max	4.83	2.3	50	24.3	2.1	2.3	0.8	1.34	13.9	16.3

Elemento	Eu	Bi	Se	Zn	Ga	As	Rb	Y	Sr	Zr
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de detección	0.05	0.02	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	1
H1	0.76	0.16	0.7	103	20.3	8.3	71.2	14.8	321	59
H2	0.83	0.15	0.7	108	21.4	7.8	73.6	16	340	61
H3	0.78	0.14	0.7	102	19.9	6.7	80.1	14.8	321	57
H4	0.85	0.15	0.8	112	21.3	6.5	71.1	15.8	373	59

H5	0.87	0.16	0.9	118	22.4	7.1	86.6	16.7	371	62
H6	0.73	0.13	0.8	107	20.9	7.2	75.5	14.2	316	58
H7	0.71	0.16	0.7	109	21.7	7.4	66.2	13.7	312	61
H8	0.54	0.14	0.7	110	21.7	8.3	49	10.2	284	60
H9	0.36	0.14	0.4	113	22.3	8	22.7	6.6	269	55
H10	0.81	0.17	0.4	118	24	8.3	74.9	15.7	369	68
H11	0.81	0.14	0.7	106	21.3	8.3	94.6	15.4	386	59
H12	0.82	0.25	0.4	107	21.4	8.2	75.7	15.7	402	61
H13	0.89	0.15	0.3	112	21.6	8	66.3	16.2	473	60
H14	0.85	0.14	0.3	110	21.4	8.2	62.6	15.8	449	60
H15	0.85	0.13	0.5	105	21	7.9	79.3	15.8	468	58
H16	0.83	0.15	0.6	102	20.3	7.2	76.1	15.4	469	57
H17	0.81	0.13	0.5	98.3	19.2	9.8	78.4	15.3	473	59
H18	0.84	0.15	0.6	96.4	19.8	9.8	70.6	15.7	467	59
H19	0.85	0.19	0.4	96.6	19.8	8.6	66.2	15.9	479	59
H20	0.62	0.14	0.4	92.5	18.7	10	38.9	11.8	410	60
H21	0.83	0.13	0.2	91.4	19.1	8	75.7	15.6	471	60
H22	0.78	0.13	0.2	86.1	18.1	7.9	78.2	14.9	449	55
H23	0.81	0.15	0.2	90.9	19.2	8.4	99.4	15.9	500	59
H24	0.74	0.14	0.1	131	17.6	7.6	94.6	14.3	480	54
H25	0.82	0.12	0.1	90.1	18.8	9.5	85.7	15.8	548	60
H26	0.83	0.14	0.3	91.3	19	8.6	91.9	16.1	526	61
H27	0.89	0.12	0.5	93	18.9	9.2	73.3	17	514	65
H28	0.9	0.14	0.1	92.9	19.1	8.4	81	17.6	515	70
H29	0.94	0.14	0.1	94.4	19.9	7.8	59.4	18.1	549	70
H30	0.59	0.13	0.4	92.9	18.9	7.3	41.1	11.5	488	64
H31	0.87	0.13	0.3	87	18.4	7.5	66	17.3	527	67
H32	0.87	0.12	0.4	84.9	18.3	7.6	86.1	17.4	541	67
H33	0.89	0.11	0.3	84.8	18.1	7.1	91.5	18	584	69
H34	0.87	0.14	0.1	80.3	18	7.1	91.7	17.4	582	70
H35	0.91	0.12	0.5	90.6	18.2	7.8	109	18.4	573	75
H36	0.88	0.13	0.1	85.5	18.1	7.6	75.6	17.6	563	71
H37	0.88	0.14	0.3	86	18.2	8.5	72.7	17.3	556	70
H38	0.86	0.12	0.5	83.9	17.6	7.8	66.9	17	554	70
H39	0.87	0.12	0.2	87.1	18.8	7.4	70.9	17.6	549	69
H40	0.85	0.12	0.2	90.5	18.4	8.9	86.7	16.8	538	67
H41	0.85	0.13	0.1	89.3	19	7.9	90.8	17.2	517	68
H42	0.84	0.12	0.2	85.5	18.7	7.5	79.6	16.8	552	66
H43	0.83	0.11	0.1	85.8	18.5	7.5	76.8	17.4	602	70
H44	0.91	0.13	0.2	89.9	19.2	8.2	84.5	18.6	594	71
H45	0.88	0.11	0.1	73.2	17.6	9.1	86.6	19.3	666	69

H46	0.88	0.1	0.2	67.7	16.2	9.7	67.9	18.9	689	60
promedio	0.81	0.14	0.38	96.3	19.6	8.08	75.3	15.9	478	63.2
desv std	0.11	0.02	0.23	12.6	1.6	0.83	15.8	2.31	101	5.39
min	0.36	0.1	0.1	67.7	16.2	6.5	22.7	6.6	269	54
max	0.94	0.25	0.9	131	24	10	109	19.3	689	75

Elemento	Nb	Мо	Sn	Sb	Те	Ba	La	Ce	Pr	Nd
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm						
Límite de detección	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1	0.1	0.1	0.1	0.1
H1	5.4	1.4	2	0.8	0.1	303	17.1	34.1	4.1	15
H2	5.1	0.8	2	0.8	0.1	327	18.1	36	4.5	15.9
H3	5	0.6	1	0.7	0.1	308	17.1	34.2	4.1	15
H4	4.7	0.9	1	0.7	0.1	333	18.3	36.4	4.5	16.3
H5	3.9	0.7	1	0.6	0.1	341	19.5	38.9	4.7	17.1
H6	5.2	0.7	1	0.6	0.1	303	15.3	30.6	3.7	13.6
H7	5.6	0.6	2	0.7	0.1	305	14.4	28.9	3.6	13
H8	7.2	0.6	2	0.8	0.1	296	8.2	17.9	2.3	8.8
H9	7.6	0.6	2	0.9	0.1	289	4	9.7	1.3	5.3
H10	7.6	0.6	2	0.9	0.1	342	16.5	33.3	4.1	15.1
H11	4.5	0.6	2	0.8	0.1	317	17.8	35.4	4.3	15.6
H12	5.5	1	2	1	0.1	321	18.1	36.1	4.4	15.9
H13	5.3	1	2	0.8	0.1	333	19.2	38.5	4.6	16.7
H14	5.8	1.6	2	0.8	0.1	328	18.5	36.8	4.5	16.3
H15	5.2	1.3	2	0.8	0.1	327	18.7	36.9	4.5	16.1
H16	5	1.1	2	0.8	0.1	317	18.5	36.6	4.5	15.7
H17	5.9	1.4	2	0.8	0.1	319	18	35.6	4.3	15.6
H18	5.2	1.4	2	0.8	0.1	330	18.9	37.4	4.6	16.5
H19	5.3	1.4	2	0.8	0.1	333	19.8	38.7	4.6	16.6
H20	7.1	2.3	2	0.9	0.1	313	9.6	21.6	2.9	10.9
H21	6.3	1.8	1	0.8	0.1	321	17.9	35.9	4.3	15.8
H22	4.2	1.3	2	0.7	0.1	304	17.5	34.8	4.2	15
H23	4	1.5	2	0.8	0.1	319	18.7	36.6	4.5	16.3
H24	4.6	1.5	2	0.7	0.1	294	16.5	32.8	3.9	14.2
H25	5.8	1.5	1	0.8	0.1	331	18.8	36.9	4.4	16.1
H26	5.5	1.7	2	0.9	0.1	330	18.7	36.9	4.5	16.2
H27	6	2.2	2	0.9	0.1	357	20	39	4.7	17.3
H28	5.7	3.2	2	1	0.1	369	20	39.5	4.9	17.8
H29	5.7	2.6	2	0.9	0.1	384	20.7	40.9	5	18.3

H30	7.3	2.5	2	0.9	0.1	352	9.4	20.3	2.7	10.1
H31	5.7	2.5	2	0.9	0.1	361	20.1	39.1	4.8	17.6
H32	4.7	2.4	2	0.9	0.1	362	20.1	39	4.8	17.6
H33	4.5	2.4	1	0.9	0.1	387	20.3	39.6	4.9	17.8
H34	4.8	2	2	0.9	0.1	361	20	39.1	4.8	17.3
H35	4.8	2.1	2	0.9	0.1	384	20.4	39.8	5	17.8
H36	5.6	2	2	0.9	0.1	362	19.4	37.9	4.7	17
H37	5.7	2	2	0.9	0.1	366	20.4	39.6	4.9	17.6
H38	6.3	2.1	2	0.9	0.1	361	20.1	39	4.8	17.4
H39	5.6	2.1	2	0.9	0.1	367	19.7	38.5	4.8	17.4
H40	4.7	2.9	1	0.8	0.1	351	18.8	37	4.6	16.7
H41	4.6	1.9	2	0.9	0.1	348	19.6	38.4	4.7	17.2
H42	5.6	1.5	2	0.9	0.1	340	19.3	37.6	4.6	16.9
H43	5.8	1.6	1	0.9	0.1	357	19.4	37.5	4.6	16.9
H44	5	1.5	2	0.8	0.1	382	20.3	39.2	5	18
H45	4.5	1.7	1	0.8	0.1	400	21.2	40.2	5.1	18.4
H46	4.8	1.6	1	0.7	0.1	394	20.8	39.2	5	17.9
promedio	5.43	1.58	1.76	0.83	0.1	339.8	17.9	35.4	4.35	15.8
desv std	0.88	0.67	0.43	0.09	0.01	28.69	3.52	6.28	0.74	2.58
min	3.9	0.6	1	0.6	0.1	289	4	9.7	1.3	5.3
max	7.6	3.2	2	1	0.1	400	21.2	40.9	5.1	18.4

Elemento	Sm	Gd	Tb	Dy	Cu	Ge	Tm	Yb	Lu	Та
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de detección	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<u>H1</u>	3	3.2	0.5	2.9	40.2	0.3	0.3	1.4	0.2	0.3
H2	3.2	3.4	0.5	3.2	41	0.3	0.3	1.5	0.2	0.3
H3	3	3.1	0.5	3	38.8	0.3	0.3	1.4	0.2	0.3
H4	3.3	3.4	0.5	3.2	41.3	0.2	0.3	1.6	0.2	0.2
										<
<u>H5</u>	3.3	3.4	0.6	3.3	46.7	0.2	0.3	1.6	0.2	0.1
H6	2.8	2.9	0.5	2.9	42.7	0.2	0.3	1.4	0.2	0.2
H7	2.7	2.9	0.5	2.8	44.1	0.3	0.3	1.4	0.2	0.3
H8	2	2.1	0.4	2.3	44.7	0.3	0.2	1.2	0.2	0.5
H9	1.3	1.4	0.3	1.7	45	0.3	0.2	1	0.2	0.6
H10	3.1	3.2	0.5	3.2	47.7	0.3	0.3	1.6	0.3	0.6
H11	3.1	3.2	0.5	3.1	44.2	0.2	0.3	1.5	0.2	0.2
H12	3.2	3.3	0.5	3.2	44.8	0.2	0.3	1.5	0.2	0.5
H13	3.3	3.5	0.5	3.3	47	0.2	0.3	1.6	0.2	0.3

H14	3.2	3.4	0.5	3.2	45.2	0.2	0.3	1.5	0.2	0.3
H15	3.3	3.4	0.5	3.2	43.4	0.2	0.3	1.5	0.2	0.3
H16	3.2	3.2	0.5	3.2	45.4	0.2	0.3	1.5	0.2	0.3
H17	3.1	3.2	0.5	3.1	44	0.2	0.3	1.4	0.2	0.4
H18	3.3	3.3	0.5	3.3	40.5	0.2	0.3	1.5	0.2	0.3
H19	3.3	3.4	0.5	3.3	42.5	0.2	0.3	1.5	0.2	0.2
H20	2.3	2.6	0.4	2.7	40	0.4	0.2	1.3	0.2	0.6
H21	3.2	3.3	0.5	3.2	41.3	0.2	0.3	1.5	0.2	0.4
H22	3	3.1	0.5	3	36	0.2	0.3	1.4	0.2	0.2
H23	3.3	3.5	0.5	3.2	38.2	0.2	0.3	1.5	0.2	0.2
H24	2.8	2.9	0.5	2.8	36.2	0.2	0.2	1.3	0.2	0.5
H25	3.1	3.3	0.5	3.1	38.6	0.2	0.3	1.5	0.2	0.3
H26	3.2	3.4	0.5	3.2	38.2	0.2	0.3	1.5	0.2	0.4
H27	3.3	3.7	0.6	3.4	38.4	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H28	3.5	3.7	0.6	3.5	68.3	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H29	3.7	3.8	0.6	3.7	37.7	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H30	2.2	2.4	0.4	2.5	36.3	0.6	0.2	1.3	0.2	0.6
H31	3.5	3.6	0.6	3.5	34.8	0.2	0.3	1.6	0.3	0.2
H32	3.5	3.6	0.6	3.5	31.8	0.2	0.3	1.6	0.3	0.2
H33	3.5	3.8	0.6	3.5	31.1	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H34	3.5	3.7	0.6	3.5	29.1	0.2	0.3	1.6	0.3	0.4
H35	3.5	3.7	0.6	3.6	30.8	0.2	0.3	1.7	0.3	0.2
H36	3.4	3.6	0.6	3.4	31.1	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H37	3.5	3.6	0.6	3.5	32.7	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H38	3.4	3.7	0.6	3.4	33	0.1	0.3	1.6	0.2	0.4
H39	3.4	3.6	0.6	3.5	33.7	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H40	3.3	3.5	0.5	3.3	37.7	0.2	0.3	1.6	0.3	0.3
H41	3.4	3.6	0.6	3.4	40.6	0.2	0.3	1.6	0.3	0.2
H42	3.3	3.6	0.5	3.3	34.3	0.2	0.3	1.5	0.2	0.3
H43	3.3	3.6	0.6	3.4	30.6	0.2	0.3	1.6	0.2	0.2
H44	3.5	3.7	0.6	3.6	31.6	0.2	0.3	1.7	0.3	0.3
H45	3.6	3.9	0.6	3.6	25.7	0.2	0.3	1.7	0.3	0.2
H46	3.5	3.8	0.6	3.5	20.4	0.2	0.3	1.7	0.3	0.1
promedio	3.16	3.33	0.53	3.2	38.9	0.226	0.29	1.53	0.24	0.32
desv std	0.45	0.47	0.07	0.37	7.52	0.074	0.03	0.15	0.05	0.13
min	1.3	1.4	0.3	1.7	20.4	0.1	0.2	1	0.2	0.1
max	3.7	3.9	0.6	3.7	68.3	0.6	0.3	1.7	0.3	0.6

Elemento	W	Re	TI	Pb	Sc	Th	U	Ti	Р	S
Unidad reportada	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%
Límite de detección	0.1	0.001	0.05	0.5	1	0.1	0.1	0.0005	0.001	0.01
H1	1	0	0.43	33.2	15	5.8	2	0.32	0.14	0.36
H2	0.9	0	0.47	15.3	16	6.1	2.1	0.33	0.14	0.34
H3	0.8	0	0.44	16.3	15	5.7	2	0.34	0.14	0.32
H4	0.8	0	0.48	17.5	16	6.2	2.3	0.34	0.15	0.3
H5	0.9	0.01	0.5	16.7	16	6.5	2.5	0.34	0.14	0.27
H6	0.8	0	0.46	16.2	15	5.2	2	0.34	0.14	0.27
H7	0.9	0	0.47	20.9	14	5	2.1	0.36	0.13	0.28
H8	0.9	0.01	0.49	17.9	14	2.8	1.6	0.35	0.14	0.29
H9	1	0	0.49	15.6	4	0.9	1.3	0.33	0.13	0.27
H10	1.1	0.01	0.53	19.1	16	5.8	2.5	0.38	0.15	0.32
H11	0.8	0.01	0.5	18.1	16	6	3	0.34	0.13	0.46
H12	1.2	0.01	0.5	19.3	16	6.2	3	0.34	0.14	0.56
H13	0.7	0.01	0.52	16.8	16	6.3	3.1	0.33	0.15	0.56
H14	0.8	0.01	0.52	30.2	16	6.2	3.2	0.36	0.15	0.64
H15	0.7	0.01	0.52	18.5	15	6	3.3	0.33	0.15	0.59
H16	0.7	0.01	0.5	14.1	15	5.8	3.1	0.32	0.14	0.57
H17	0.7	0.01	0.49	13.3	15	5.6	3.1	0.33	0.15	0.63
H18	0.8	0.01	0.5	13.9	15	6	3.1	0.32	0.16	0.65
H19	0.7	0.01	0.5	13.8	15	6.1	3	0.32	0.15	0.6
H20	0.9	0.01	0.47	12.2	7	3.4	2.8	0.31	0.15	0.64
H21	0.7	0.01	0.48	13.1	15	5.7	2.7	0.32	0.15	0.61
H22	0.7	0.01	0.45	15.7	14	5.3	2.6	0.3	0.14	0.57
H23	0.8	0.01	0.47	20.4	14	5.9	2.9	0.32	0.15	0.6
H24	0.7	0	0.43	11.3	13	5	2.5	0.28	0.14	0.56
H25	0.6	0.01	0.47	12.1	14	5.7	2.9	0.31	0.17	0.65
H26	0.8	0.01	0.47	15.5	14	5.9	3.1	0.3	0.15	0.61
H27	0.6	0.01	0.5	12.9	15	6.2	3.8	0.33	0.18	0.71
H28	0.8	0.01	0.5	14.9	14	6.4	4.2	0.33	0.18	0.66
H29	0.8	0	0.49	13.3	14	6.5	4	0.33	0.19	0.63
H30	0.8	0	0.46	13.1	10	2.7	3.2	0.32	0.18	0.58
H31	0.7	0.01	0.47	12.6	14	5.9	3.6	0.31	0.19	0.62
H32	0.6	0.01	0.46	21.5	13	5.9	3.7	0.3	0.19	0.59
H33	0.5	0.01	0.48	12.1	13	5.9	3.7	0.3	0.19	0.54
H34	0.8	0.01	0.47	18.4	13	6.1	3.8	0.3	0.19	0.55

H35	0.7	0	0.5	14.3	13	6.2	4	0.32	0.19	0.59
H36	0.6	0.01	0.5	12.2	13	6	3.8	0.32	0.19	0.6
H37	0.7	0.01	0.52	13.3	13	6.1	3.6	0.32	0.19	0.66
H38	0.6	0.01	0.5	12.4	14	6	3.3	0.33	0.19	0.68
H39	0.6	0	0.51	13	14	6.1	3.2	0.32	0.2	0.66
H40	0.6	0	0.5	14.5	14	5.8	3	0.3	0.17	0.63
H41	0.6	0	0.51	12.3	14	5.8	2.7	0.32	0.18	0.71
H42	0.6	0	0.48	11.7	13	5.8	2.6	0.31	0.18	0.71
H43	0.5	0	0.49	11.6	13	5.6	3	0.31	0.22	0.65
H44	0.6	0	0.54	12.5	13	5.9	3.4	0.3	0.21	0.62
H45	0.4	0	0.55	11.7	11	5.7	3.6	0.27	0.23	0.59
H46	0.5	0	0.56	13.2	11	5.5	3.8	0.25	0.24	0.56
promedio	0.74	0.01	0.49	15.6	13.8	5.591	3	0.32	0.17	0.54
desv std	0.16	0	0.03	4.43	2.27	1.071	0.66	0.02	0.03	0.14
min	0.4	0	0.43	11.3	4	0.9	1.3	0.25	0.13	0.27
max	1.2	0.01	0.56	33.2	16	6.5	4.2	0.38	0.24	0.71