

**UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

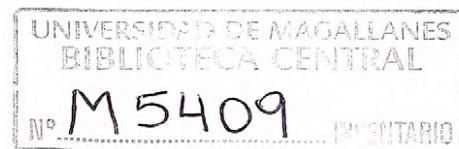


**ESTUDIO DE METALES PESADOS Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co
EN SEDIMENTO MARINO COSTERO, AÑOS 2010-2011, DE BAHÍA
FILDES, ANTÁRTICA CHILENA.**

PABLO ANDRES BETANZO BETANZO

2012

**UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**



**ESTUDIO DE METALES PESADOS Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co
EN SEDIMENTO MARINO COSTERO, AÑOS 2010-2011, DE BAHÍA
FILDES, ANTÁRTICA CHILENA.**

“Trabajo de titulación presentado en conformidad
a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero en Química y Medio Ambiente”
Profesor Guía: Dra. Ma. Soledad Astorga España

PABLO ANDRES BETANZO BETANZO

2011

23. 08. 2012
Donación

RESUMEN

La Antártica, el continente más aislado y prístino, no está exento de los efectos nocivos humanos, (efectos antropogénicos). Estudios científicos reportan muchos efectos producidos por compuestos organoclorados y metales pesados los cuales tienen como vías importantes hacia las regiones polares; las corrientes marinas y las corrientes atmosféricas. El aumento de las actividades humanas en la Antártida después del Año Geofísico Internacional (1957-58) ha causado problemas de contaminación en varios lugares, principalmente cerca de las estaciones científicas las cuales se encargan de estudiar los cambios de este continente mediante trabajo logístico. Estos problemas han conducido a la aplicación de estrictos protocolos de medio ambiente, con el objetivo de prevenir la contaminación del Ecosistema Antártico que es particularmente sensible a modificaciones antropogénicas. La tierra libre de hielo ocupa menos del 2% de todo el continente, pero la mayor parte de las actividades humanas se concentran en estas áreas (Santos I et al, 2005).

Los elementos traza, que incluyen a los metales pesados, llegan a los ecosistemas acuáticos desde fuentes naturales y antrópicas. Los metales pesados se encuentran entre los contaminantes ambientales más importantes debido a su toxicidad, permanencia y tendencia a acumularse en matrices ambientales como sedimentos y organismos acuáticos, por lo que su estudio es necesario por el riesgo ambiental que representan.

Es necesario saber cuál es el estado actual de la concentración de metales pesados en la antártica y por lo tanto el presente estudio tuvo como objetivo principal conocer el estado ambiental del sedimento marino costero de bahía Fildes, Antártica chilena, en relación a la concentración de los siguientes metales pesados Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co, para los años 2010-2011.

La determinación de Fe, Mn, Zn, Co, Ni, Cd, Cu y Cr se realizó utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire acetileno en sedimento superficial procedente de la zona costera de Bahía Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica Chilena, durante la temporada de verano de 2010-2011.

Entre los resultados más relevantes se encuentran que, las concentraciones de metales más altas están representadas por hierro, manganeso y cobre. El año 2010 – 2011 se determinaron concentraciones que siguen el siguiente patrón Fe>Mn>Cu>Zn>Cr>Ni>Co >Cd.

Los rangos de concentraciones para los sedimentos superficiales de la zona para el año 2010 son los siguientes :Fe (58,36 - 39,66 mg g⁻¹), Mn (808,16 - 643,01 µg g⁻¹), Zn (64,52 - 53,27 µg g⁻¹) , Co (12,66 - 5,13 µg g⁻¹) , Ni (56,32 - 13,34 µg g⁻¹), Cd (3,22 - 1,97 µg g⁻¹), Cu (77,61 - 53,98 µg g⁻¹), Cr (81,67 - 8,5 µg g⁻¹).

Para el año 2011 los rangos de concentraciones para los sedimentos superficiales de la zona son los siguientes: Fe (44,69 - 32,18 mg g⁻¹), Mn (777,62 - 608,92 µg g⁻¹), Zn (67,91 - 50,32 µg g⁻¹), Co (5,83 - 1,2 µg g⁻¹), Ni (29,85 - 13,77 µg g⁻¹), Cd (3,31 - 1,97 µg g⁻¹), Cu (91,1 - 52,61 µg g⁻¹), Cr (35,87 - 8,1 µg g⁻¹).

La concentración promedio de materia orgánica para el año 2011 la cual obtuvo un valor 16,6236 mg g⁻¹.

El análisis estadístico, mediante una Correlación de Pearson para los metales determinados y materia orgánica, arrojó correlaciones entre Fe-Mn, Fe-Co, Mn-Cu y Ni-Cr con un valor de $p < 0.05$, mientras que, no se observaron correlaciones para Zn y Cd. Se determinó que la materia orgánica (MO) no tiene correlación con ninguno de los metales determinados para este estudio. El estudio estadístico corrobora la posibilidad de que estos metales hayan sido introducidos al sistema por acción del hombre. Este estudio fue realizado como parte final del

proyecto con código T0908 denominado "Evaluación de los efectos contaminantes relacionados con actividades antropogénicas en bases antárticas chilenas", el cual duro 3 años (2009, 2010 y 2011). El análisis de metales fue realizado en el Laboratorio de Química de Metales, de la facultad de Ciencias, ubicado en el campus Instituto de la Patagonia de la Universidad de Magallanes (UMAG).

CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
I.1 Introducción	1
CAPITULO II.....	4
II. 1. Objetivo general.....	4
II. 2 Objetivos específicos	4
CAPITULO III.....	5
III. 1. Marco teórico	5
III. 2. Metales a estudiar.....	6
III. 2. Generalidades de contaminación en la Antártica.....	10
III. 3. Espectroscopia de Absorción Atómica.....	13
III.3.1. Principios Básicos de espectroscopia.....	13
III.3.2. Espectroscopia de emisión y absorción.....	15
CAPITULO IV.....	18
IV.1 Metodología.....	18
IV.2 Ubicación de la zona de Muestreo	18
IV.3 Descripción de la zona de muestreo	19
IV.4 Recolección de Muestras	20
IV.5 Tratamiento de Muestras.....	23
IV. 6. Tamizado de las muestras.....	23
IV.7. Digestión de las muestras	24
IV. 8. Procedimiento de Medición de Metales por equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer Aanalyst 700 por técnica de llama.....	25
IV.9. Control de Calidad.....	26
IV.10. Determinación de materia orgánica	26
CAPITULO V.....	27
V. 1. Presentación y Discusión de los Resultados.....	27
V. 2. Metales pesados 2010.....	28
V.3. Metales pesados 2011.	41
V.4. Variación de las concentraciones de Metales pesados para el año 2010-2011, para los 13 puntos de muestreo, comparando cada punto correspondiente.	54
V.5. Materia Orgánica 2009-2010-2011.....	66

V.5.1. Muestras año 2009	66
V.5.2. Muestras año 2010	68
V.5.3. Muestras año 2011	69
V.6. ANALISIS ESTADISTICO	70
CAPITULO VI	76
VI.1. Conclusión	76
CAPITULO VII	79
VII.1. Bibliografía	79
ANEXO I	82
I.1. Procedimiento de tamizado	82
I.2. Materiales, Equipos y Reactivos para determinación de metales	82
I.2.1. Materiales	83
I.2.2. Reactivos utilizados	83
I.2.3. Equipos	83
I.3. Determinación de materia orgánica	84
I.3.1. Equipos y materiales especiales	84
I.3.2. Procedimiento	84
I.4. Limite de detección de la técnica	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los metales de acuerdo a su toxicidad y disponibilidad (Calisto N, 2008).....	8
Tabla 2 coordenadas de muestreo en los 13 puntos en Bahía Fildes.	22
Tabla 3 Concentraciones de blancos para curvas de calibración, para la medición de metales.	25
Tabla 4 concentración promedio, la desviación estándar y el rango de concentración de los metales determinados del año 2010.	27
Tabla 5 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Hierro en sedimentos para el año 2010.....	29
Tabla 6 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Manganeso en sedimentos para el año 2010.....	30
Tabla 7 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Zinc en sedimentos para el año 2010.....	32
Tabla 8 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Cobalto en sedimentos para el año 2010.....	33
Tabla 9 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Níquel en sedimentos para el año 2010.....	35
Tabla 10 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Cadmio en sedimentos para el año 2010.....	37
Tabla 11 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobre en sedimentos para el año 2010.....	38
Tabla 12 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cromo en sedimentos para el año 2010.....	40
Tabla 13 concentración promedio, la desviación estándar y el rango de concentración para los metales determinados del año 2011.	41
Tabla 14 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Hierro en sedimentos para el año 2011.....	43
Tabla 15 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Manganeso en sedimentos para el año 2011.....	44
Tabla 16 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Zinc en sedimentos para el año 2011.....	46
Tabla 17 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobalto en sedimentos para el año 2011.....	47
Tabla 18 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Níquel en sedimentos para el año 2011.....	49

Tabla 19 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cadmio en sedimentos para el año 2011.....	50
Tabla 20 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobre en sedimentos para el año 2011.....	52
Tabla 21 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobre en sedimentos para el año 2011.....	53
Tabla 22 concentraciones de materia orgánica por estaciones de muestreo para el año 2009.....	67
Tabla 23 concentraciones de materia orgánica por estaciones de muestreo 201068	
Tabla 24 concentraciones de materia orgánica por estaciones de muestreo 2011.....	69
Tabla 25 Matriz de Correlación de Pearson ($P < 0,05$) entre metales y materia Orgánica en los sedimentos de los años 2009-2010-2011.....	70
Tabla 26 Comparación de metales pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) en sedimentos de Bahía Fildes con sedimentos de otras áreas Antárticas. (Fe en mg g^{-1}).....	75
Tabla 27 Tamizado y Cálculo del tamaño del Grano	82
Tabla 28 Concentraciones de metales pesados todos los metales están en unidades de $\mu\text{g g}^{-1}$ a excepción del Fe mg g^{-1} determinadas para el año 2010....	84
Tabla 29 Concentraciones de metales pesados todos los metales están en unidades de $\mu\text{g g}^{-1}$ a excepción del Fe mg g^{-1} para el año 2011	85
Tabla 30 límites de detección de la metodología empleada para la medición de metales.	86
Tabla 31 Parámetros del espectrofotómetro.....	86

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Esquema de funcionamiento de la de llama Absorción Atómica (CHEMICONTROL, material científico para laboratorio).....	16
Fig. 3 Distribución de estaciones de muestreo para sedimento costero de Bahía Fildes. En color amarillo las estaciones distribuidas a 10, 25 y 50 metros y de color rojo los puntos de descarga líquida en la Bahía (estaciones CAP 0, FACH y R 0) (Ocampo N., 2010).	22
Fig. 4 Concentraciones promedio Fe vs Puntos muéstrales para el año 2010.	29
Fig. 5 Concentraciones promedio Mn vs Puntos muéstrales para el año 2010.	31
Fig. 6 Concentraciones promedio Zn vs Puntos muéstrales para el año 2010.	32
Fig. 7 Concentraciones promedio Co vs Puntos muéstrales para el año 2010.....	34
Fig. 8 Concentraciones promedio Ni vs Puntos muéstrales para el año 2010.....	35
Fig. 9 Concentraciones promedio Cd vs Puntos muéstrales para el año 2010.....	37
Fig. 10 Concentraciones promedio Cu vs Puntos muéstrales para el año 2010....	39
Fig. 11 Concentraciones promedio Cr vs Puntos muéstrales para el año 2010. ...	40
Fig. 12 Concentraciones promedio Fe vs Puntos muéstrales para el año 2011. ...	43
Fig. 13 Concentraciones promedio Mn vs Puntos muéstrales para el año 2011. ...	45
Fig. 14 Concentraciones promedio Zn vs Puntos muéstrales para el año 2011. ...	46
Fig. 15 Concentraciones promedio Co vs Puntos muéstrales para el año 2011....	48
Fig. 16 Concentraciones promedio Co vs Puntos muéstrales para el año 2011....	49
Fig. 17 Concentraciones promedio Cd vs Puntos muéstrales para el año 2011....	51
Fig. 18 Concentraciones promedio Cu vs Puntos muéstrales para el año 2011....	52
Fig. 19 Concentraciones promedio Cr vs Puntos muéstrales para el año 2011. ...	54
Fig. 20 Concentraciones promedio Fe del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	55
Fig. 21 Concentraciones promedio Mn del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	56
Fig. 22 Concentraciones promedio Zn del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	57
Fig. 23 Concentraciones promedio Co del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	58
Fig. 24 Concentraciones promedio Ni del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	59

Fig. 25 Concentraciones promedio Cd del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	60
Fig. 26 Concentraciones promedio Cu del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	61
Fig. 27 Concentraciones promedio Cr del año 2010 y 2011 vs Puntos muéstrales.	62
Fig. 28 Representación del aumento de metales por estación de muestreo del año 2010 al 2011.	63
Fig. 29 Concentraciones MO vs estaciones de muestreo para el año 2009.	67
Fig. 30 Concentraciones MO vs estaciones de muestreo, para el año 2010.	68
Fig. 31 Concentraciones MO vs estaciones de muestreo, para el año 2011.	69
Fig. 32 Mapa geográfico de Bahía Fildes representando las principales estaciones de investigación científica permanente y las estacionales (Ocampo N, 2010)	75

CAPITULO I

I.1 Introducción

La Antártica es considerada uno de los ambientes más limpios y puros en nuestro planeta, esto se debe a las diversas características que presenta este continente; el difícil acceso por lo cual posee poca población de habitantes esto es confirmado por estudios geográficos, logísticos y sobre todo científicos que dan cuenta de lo poco explorable e indemne del continente Antártico. Esta situación, está cambiando con el tiempo.

Estudios de carácter científico son evidentes sobre las diversas causas de contaminación de este ambiente, en los últimos años el aumento de la entrada del hombre a este continente ha generado modificaciones de carácter contaminante por efectos de actividades que se realizan en las bases científicas y militares, y el aumento del turismo. Estas actividades, las cuales pueden causar algún grado de contaminación en el continente antártico, ha motivado la preocupación de muchos gobiernos y científicos. Con motivo de ejercer un control y evitar un deterioro ambiental tanto de la Antártica como de sus alrededores, en el año 1991 se estableció el Protocolo sobre el Tratado Antártico de Protección Ambiental el cual tiene por objetivo establecer principios y programas de conducta para todas las actividades que se lleven a cabo en este continente, declarando a la Antártica como “una reserva natural, dedicada a la paz y a la Ciencia” (Rojas C. 2009).

En la Península Antártica, se encuentra la Isla Rey Jorge, que pertenece al conjunto de Islas de Shetland del Sur localizada en el sector norte de la Península Antártica, la Isla Rey Jorge presenta tres grandes bahías denominadas Bahía Rey Jorge, Bahía Almirantazgo y Bahía Fildes.

La Bahía Fildes se caracteriza por ser una de las zonas más extensas libres de hielo. Esta bahía presenta el mayor cuerpo de agua dulce dentro de la Isla Rey Jorge (con aproximadamente 40 lagos y 20 arroyos), provocando que sea uno de los lugares más inspeccionados científicamente en el Tratado Antártico (Tin & Roura, 2004). En el año 1966, debido a su “excepcional interés ecológico”, Península Fildes fue designada como una zona especialmente protegida (SPA en inglés), permitiendo que científicos de distintas nacionalidades realicen investigación en dicha área a partir de la década de 1970. Actualmente, la península Fildes presenta la mayor concentración de bases de investigación en la Antártica (a excepción de la Isla de Ross y el Larsemann Hills). Dentro de las bases chilenas, la estación Eduardo Frei Montalva presenta la mayor infraestructura en sus instalaciones, encontrándose una comunidad denominada Villa Las Estrellas en donde se puede encontrar una escuela, una iglesia, el hospital, un banco y una pista de aterrizaje de grava denominada Aeródromo Teniente Marsh.

Bahía Fildes debido a su constante desarrollo y su diversidad de actividades humanas, presenta un grado contaminación y daño por efecto antrópico. (Tina Tin & Ricardo Roura, 2004).

La contaminación puede ser detectada mediante el análisis de matrices ambientales tales como; agua, suelo, aire, sedimento, especies, algas, etc. Se pretende determinar niveles de concentración de metales pesados, en la matriz sedimento costero de Bahía Fildes.

Los metales pesados ya sean biológicamente esenciales o no, son potencialmente tóxicos “toxicidad de los metales” para los organismos vivos cuando sobrepasan su concentración natural en el ecosistema, y especialmente cuando los individuos lo han absorbido y acumulado en su interior.

La importancia de estudiar metales pesados se basa en la persistencia que éstos presentan en el ambiente, ya que, a diferencia de los compuestos de origen orgánico, los compuestos de origen inorgánico (metales pesados) no pueden degradarse ni química ni biológicamente cuando se encuentran dispersos en la biosfera (Ocampo N, 2010). La presencia de los metales pesados en la naturaleza atrae la atención de los investigadores, producto de los niveles críticos que han alcanzado, y de los diferentes aspectos perjudiciales que muestran al acumularse y reaccionar en diferentes formas con plantas y animales, exhibiendo a veces, efectos nocivos para los mismos. Además, de la alta movilidad que registran a través de los ciclos biogeoquímicos, transformándose a compuestos más tóxicos y biodisponibles (Carballeira et al, 1997).

Bajo estas consideraciones, en el presente trabajo se pretende determinar las concentraciones de los siguiente metales pesados; Fe, Mn, Zn, Ni Cu, Cr, Cd y Co, realizar una comparación de los contenidos de metales pesados en sedimentos de Bahía Fildes entre los 13 puntos de muestreo del año 2010 y 2011 utilizando la metodología recomendada en el "Antarctic Environmental Monitoring Handbook". Con motivo de establecer el comportamiento de los metales entre estos años y obtener una base de datos para futuros estudios. Al mismo tiempo se determinará el contenido de materia orgánica en las 13 estaciones de muestreo para el año 2010-2011, y la relación que esta pudiese tener con las concentraciones de metales.

CAPITULO II

II. 1. Objetivo general

Este estudio tiene como objetivo general determinar el estado ambiental del sedimento marino costero de bahía Fildes, Antártica chilena, en relación a la concentración de los siguientes metales pesados Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co, para los años 2010-2011.

II. 2 Objetivos específicos

- Determinar y cuantificar la concentración de los siguientes metales pesados Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co en el sedimento marino costero de 13 estaciones de muestreo de bahía Fildes, para los años 2010 y 2011, mediante el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con técnica de llama de aire acetileno.
- Analizar los resultados de concentración de metales pesados Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co de las 13 estaciones de muestreo sedimento marino costero de bahía Fildes, identificando el metal traza y estación con mayor concentración en dichos puntos para los año 2010 y 2011.
- Determinar la variación de concentración de metales en las 13 estaciones de muestreo de sedimentos de bahía Fildes, entre los años 2010 y 2011
- Determinar las concentraciones de materia orgánica en sedimento marino costero de bahía Fildes, en las 13 estaciones de muestreo, para el año 2011.
- Analizar estadísticamente los resultados de la concentración de metales y materia orgánica determinados en los sedimentos marinos costeros de bahía Fildes para los años 2009, 2010 y 2011.

CAPITULO III

III. 1. Marco teórico

Los metales, una vez dispersos en la biosfera, tienen gran persistencia, y resulta difícil recuperarlos o eliminarlos de las matrices ambientales, usando las tecnologías actuales. Razón por la cual los niveles de metales en el ambiente está atrayendo, gran atención, debido a que altas concentraciones pueden ocasionar aspectos perjudiciales en los seres vivos, debido a que son acumulativos, y en la actualidad se han alcanzado niveles críticos de concentración en algunos ecosistemas.

Antes de que el medio ambiente fuese contaminado por actividades humanas, el contenido metálico de los suelos era en su casi totalidad el resultado del desgaste geológico. Esto significa que la concentración total de metales en suelos dependía de la naturaleza de los minerales que constituían las rocas a partir de los cuales se había formado.

Los metales aparecen en el suelo y los sedimentos formando parte de las partículas minerales, producto de la meteorización de la roca madre. Así, estos elementos se presentan en los suelos en mayor o menor concentración, en minerales primarios como inclusiones de sus sulfuros correspondientes y como sustituciones isomórficas de otros metales constituyentes de óxidos, silicatos, carbonatos, etc. Asimismo, pueden aparecer formando parte de minerales secundarios e incorporados a la materia orgánica del suelo.

Aparte del desgaste geológico, las otras fuentes naturales de metales en los suelos son de origen atmosférico. Estas incluyen actividades volcánicas, combustión de turba e incendios forestales.

No existen criterios claros que permitan establecer la contaminación por metales pesados de un sedimento, porque la composición de los sedimentos puede ser

muy variada, dependiendo de la roca madre, de la granulometría, del contenido en materia orgánica, etc.

A menudo resulta difícil determinar si las medidas de concentración de metales en sedimentos representan condiciones de enriquecimiento natural o antropogénico, debido a que el contenido natural de los metales en el sedimento puede variar dependiendo de la mineralogía, contenido de materia orgánica y distribución del tamaño del grano (Aristide Márquez et al 2008).

No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico. El sedimento tiene una significación relevante en las investigaciones geoquímicas, ya que su caracterización puede ayudar a comprender ciertas condiciones de gran importancia, como son la concentración de contaminantes y su relación con las características generales y típicas de cada zona, principalmente en las áreas marino costeras, debido a que ellas tienen una interacción más dinámica con todos los procesos físicos, químicos y biológicos, que se desarrollan en el medio ambiente marino. La diagénesis y acumulación de los metales en los sedimentos son factores que dependen grandemente de la condición redox del fondo y de la actividad microbiana, las cuales determinan las formas de asociación de los metales con la matriz de sedimento.

III. 2. Metales a estudiar

Diversos estudios de carácter científico medio ambientales han demostrado que los metales pesados constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y a sus repercusiones fisiológicas tanto en los seres humanos como en animales en el medio ambiente. Los metales en el medioambiente marino pueden resultar tóxicos aun cuando están presentes en concentraciones muy bajas (Ahumada, 1998).

En los ecosistemas marino costeros, la matriz medioambiental sedimento tiene una significancia relevante en las investigaciones geoquímicas, ya que su caracterización puede ayudar a comprender ciertas condiciones de gran importancia, como son la concentración de contaminantes y su relación con las características generales y típicas de cada zona, principalmente en las áreas marino costeras, debido a que ellas tienen una interacción más dinámica con todos los procesos físicos, químicos y biológicos, que se desarrollan en el medio ambiente marino.

Diversos trabajos de metales se han llevado a cabo en base de establecer la presencia de los metales pesados en distintas matrices medioambientales que se encuentran en bahías, ríos, lagunas, etc. Un ejemplo es el estudio de metales en sedimento que aconteció en Río Haina, Republica Dominicana realizado por José B. Contreras Pérez y colaboradores (2004). El cual fue realizado a causa de las altas concentraciones de metales pesados como Cd y Pb en el Río Haina, el cual afecta principalmente a las poblaciones de moradores aledañas, provocando problemas de salud específicamente afectando al sistema nervioso central, lo cual se traduce en retraso mental entre otros. Los autores también señalan que el conocimiento de los niveles de contaminación por metales pesados permitiría la toma de decisiones adecuadas en el campo de la salud, el medio ambiente y en general en el plano social repercutiendo positivamente en la realidad nacional dominicana.

El trabajo anterior concluyo con el reporte de altas concentraciones de Cr y Cu, el en Río, debido a lo cual los autores diagnostican contaminación por estos metales. Otro punto relevante de esta investigación es la toxicidad de los Metales como Cd y Pb, que es infalible medir cuando se realizan estudios de sedimento que buscan averiguar el nivel de contaminación de un ecosistema.

Los elementos trazas pueden ser divididos en tres grupos, los conocidos como metales no críticos, los tóxicos pero insolubles muy raros y los muy tóxicos y relativamente accesibles (Contreras J, et al, 2004).

Tabla 1 Clasificación de los metales de acuerdo a su toxicidad y disponibilidad (Calisto N, 2008)

Metales No Críticos	Metales Tóxicos Pero Poco Solubles o Muy Raros	Metales Muy Tóxicos y Relativamente Accesibles
Na - Ca - K - Li - Mg- Fe Rb - Ca - Sr - Al - Si	Ti - Ga - Hf - La -Zr - Os W - Rh - Nb - Ir - Ta - Ru Re - Ba	Be - As - Au - Co - Se - Hg - Ni - Te - Tl - Cu - Pb - Zn - Ag - Sb - Sn - Cd - Pt

Algunos metales como Fe, Mg, Zn, Co y Cu, son micronutrientes esenciales, el Fe, forma parte de la hemoglobina, el Zn se encuentra presente en numerosas enzimas, el Co forma parte de la vitamina B₁₂, otros metales participan en procesos enzimáticos como es el caso de Mg, Mn, Mo, Cr, V, Se y Ni, mientras que a metales como Cd, Hg, Pb y Ag, no se les ha encontrado función biológica en el organismo humano y son reconocidos por su toxicidad (Calisto N, 2008).

En el estudio de Ramón Ahumada B. titulado Patrones de Distribución Espacial de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb, en Sedimentos Superficiales de Bahía San Vicente, (1992). Se señala que los metales pesados se podrían separar de acuerdo a su distribución en dos tipos.

- i) cationes que poseen afinidad con la materia orgánica y que presentan una distribución acorde con el contenido de materia orgánica de los sedimentos. Esto se afirmó de acuerdo a una matriz de regresión en que

los metales obtuvieron correlaciones con la materia orgánica y estableció la siguiente secuencia $Pb > Zn > Cd > Cu$.

- ii) Metales que presentan un patrón de distribución que se caracteriza porque las menores concentraciones se presentan en las áreas de mayor contenido de materia orgánica. Corresponden al Cr y Ni y su comportamiento estaría determinado por características químicas derivadas de su estado de oxidación. Los fondos donde dominan las arenas medias y gruesas poseen una mayor concentración de Cr y Ni.

El estudio que acabamos de mencionar nos muestra la dinámica de los metales frente a parámetros como la materia orgánica. También señala que la mayor parte de los metales en los efluentes llegan al mar como cationes. La capacidad para formar complejos estables con la materia orgánica es de importancia para reaccionar con el material orgánico particulado disuelto, formando núcleos de concentración de metales. De tal forma que el material orgánico particulado sería la primera matriz que produce un secuestro de los metales disueltos (adsorción y complejos órgano-metálicos). El material particulado es llevado a la zona mayor sedimentación y depositado en el fondo. La acumulación y el enriquecimiento son desde este punto de vista manejados por variables semejantes: advección – dispersión – sedimentación. A su vez, la reducción bacteriana de los sulfatos, generada por el exceso de materia orgánica, produce iones sulfuros los que reaccionan con los metales produciendo compuestos de baja solubilidad, que precipitan en los sedimentos. Estos mecanismo, mas la formación de algunos complejos inorgánicos (compuestos de coordinación) serían los responsables de los factores de enriquecimiento de metales traza en este estudio (Ahumada R, 1992).

También es interesante mencionar el estudio de Concentraciones de Metales en Sedimentos y Tejidos Musculares de algunos peces de la Laguna Castellero, Venezuela (2008). Realizado por los autores Aristide Márquez y colaboradores. En el cual se realiza un estudio con el propósito de detectar alteraciones en el productivo ecosistema de la Laguna de Castellero (Caicara del Orinoco, municipio Cedeño del estado Bolívar, Venezuela), en este estudio se determinaron concentraciones de metales pesados tales como Fe, Mn, Zn, Pb y Co, y además se realizaron mediciones granulométricas.

El análisis de granulometría reflejó una notable asociación entre altos valores concentraciones de metales y el tipo de sedimento, con un gradiente creciente hacia el sedimento tipo lodo donde se encontraron valores elevados en la concentración de Pb y Zn, hecho atribuido al estrés que ejercen las actividades antropogénicas circundantes sobre la Laguna de Castellero (Aristide Márquez, et al, 2008)

El trabajo anterior señala que una parte importante en el análisis de sedimentos indica cómo influyen las fracciones del sedimento en las concentraciones de metales pesados.

III. 2. Generalidades de contaminación en la Antártica

El Protocolo del Tratado Antártico sobre la Protección Medio Ambiental reconoce la importancia del conocimiento científico, en el seguimiento y la evaluación continua de los impactos de las actividades antropogénicas, en curso en la Antártica, Pero, la comprensión de la contaminación local por procesos relativos a los metales pesados tanto en suelos y sedimentos es particularmente escasa.

Las características de una zona, son muy influyentes en lo que respecta a las concentraciones de metales pesados. La Antártica, es un caso bien particular ya que las concentraciones de metales pesados son inferiores con respecto a los estudios mencionados, en el apartado anterior, existen problemas de carácter natural en estos ambientes, la biota marina por ejemplo, presenta baja capacidad de dispersión en sus larvas, la temporada reproductiva estrecha, baja fecundidad, y las bajas tasas de crecimiento durante el desarrollo etapas cruciales, convierten a estos ambientes en altamente susceptibles al impacto humano y sensible a la contaminación ambiental.

A pesar de ser el continente más aislado, la Antártida no está exenta de los efectos nocivos antropogénicos. La contaminación de los compuestos organoclorados y metales tales como plomo y mercurio, puede llegar a este continente a través de la circulación de la atmósfera en las regiones polares y las corrientes marinas. Las fuentes antropogénicas de metales principalmente provienen del trabajo de las bases científicas establecidas y sus actividades, las cuales, afectan de cierta manera a los sedimentos, como son la contaminación de petróleo, eliminación de aguas residuales y las pinturas.

Las pinturas son consideradas como una posible fuente de metales, tales como Pb y Cu. También las estructuras de la zona de aterrizaje de helicópteros, contribuye al aumento de estos elementos en las bases sedimentos.

Las aguas residuales también han sido consideradas como una importante fuente de los metales, por ejemplo, mayores concentraciones de metales se observaron en los sedimentos alrededor de los emisarios de aguas residuales, (Santos I et al 2005).

En la Antártica, la zona de la Caleta Potter presenta niveles de Cobre que son significativamente más altos que los reportados en otros estudios en sectores

cercanos. Esto se podría explicar por la naturaleza de los sedimentos de estos lugares, los cuales fueron producidos por la erosión glacial de rocas volcánicas (principalmente basáltica y andesíticas), (Andrade S et al, 1999) han informado que durante la diferenciación magmática, el cobre es incorporado en olivino, piroxena y plagioclasa, con concentraciones medias de 115 ppm, 120 ppm y 62 ppm, respectivamente.

Se sabe que los sedimentos proporcionan una información temporalmente integradora de la condición medio acuático y actúan como principal reservorio de metales. Además, los sedimentos tienen una alta estabilidad físico-química y sus características por lo general representan el promedio condición del sistema.

La distribución espacial de los metales pesados y parámetros que expliquen su distribución y las influencias entre ellos, se puede estudiar por medio de la matriz de correlación de Pearson, que se utiliza generalmente como herramienta estadístico, en estudios de metales en sedimentos, para verificar la afinidad entre metales, la materia orgánica, y los sedimentos de ciertas fracciones. Las fracciones de sedimento (<0,0063mm) demuestran que, las concentraciones de elementos traza generalmente aumentan a medida que disminuye el tamaño de grano, debido a la mayor capacidad de las partículas finas para adsorber los metales de transición y los metales pesados. Sedimentos de grano fino tienen una mayor área de superficie y proporcionan un entorno más eficiente para la adsorción de los metales (Santos. I et al, 2005).

Los contaminantes derivados del petróleo son probablemente las fuentes de enriquecimiento de metales traza en los sedimentos, la entrada antropogénica de la materia orgánica a los sedimentos favorece la formación de sulfuro y la reducción de la biodisponibilidad de metal, en consecuencia disminución de los efectos adversos sobre la biota local. La relativamente baja disponibilidad de

metales en los sedimentos, parece contrarrestar el enriquecimiento local de la mayoría de los metales. La pequeña área de los sedimentos contaminados y de baja biodisponibilidad de metales pesados sugieren que este haría no afecten negativamente a los organismos bentónicos antárticos (Santos. I et al, 2005).

III. 3. Espectroscopia de Absorción Atómica

La espectroscopia de Absorción Atómica es una técnica de análisis instrumental, capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos comprendidos en el sistema periódico.

III.3.1. Principios Básicos de espectroscopia

Como ejemplo para entender los principios de espectroscopia señalaremos que, cuando se suministra una determinada cantidad de energía a un átomo cualquiera, que se encuentre en su estado fundamental en un estado energético, que llamaremos E_0 , esta energía es absorbida por el átomo, de tal forma que se incrementará el radio de giro de sus electrones de la capa externa llevando el átomo a un nuevo estado energético E_1 al que llamaremos estado excitado. La cantidad de energía necesaria para llevar un átomo de su estado fundamental al excitado la llamamos energía de excitación E , que será:

$$E = E_1 - E_0$$

Esta energía de excitación podemos suministrársela al átomo en estado fundamental de muy diferentes maneras, por ejemplo:

Térmicamente, eléctricamente, mediante un rayo laser, por inducción electromagnética, con radiaciones de muy diversa naturaleza.

Cuando un átomo en estado excitado vuelve nuevamente a su estado fundamental, este cede una determinada cantidad de energía cuantitativamente idéntica a su energía de excitación, pero siempre de una misma forma, emitiendo radiaciones a longitudes de onda determinadas.

Todo este fenómeno lo represento perfectamente Planck en una ecuación que dice: "Un átomo en estado excitado se encuentra en equilibrio con átomos en estado fundamental emitiendo una serie de radiaciones, a diferentes longitudes de onda, características para cada uno de los diferentes elementos".

La representación grafica de la intensidad de emisión de esas radiaciones, en función de la longitud de onda, se llama espectro de emisión.

Si estudiamos los espectros de emisión de los elementos del sistema periódico, observaremos fácilmente que todos ellos representan unos máximos de energía, pero siempre a diferentes longitudes de onda y con distinta intensidad.

Precisamente el hecho de que cada elemento presente sus máximos de energía a muy diferentes longitudes de onda, así como también con muy distintas intensidades, nos permitirá, simplemente estudiando la localización de los máximos de energía en un espectro, identificar y diferenciar unos elementos de otros. En otras palabras realizar su análisis cualitativo.

Experimentalmente se demuestra que la intensidad de emisión de cada elemento, a su longitud de onda característica, es mayor cuanto mayor sea su concentración. Este fenómeno nos va a permitir comparar intensidades de emisión, a una longitud de onda determinada, de elementos de concentración conocida con otros de

concentración totalmente desconocida y, estudiando la relación entre ambas, poder realizar también su análisis cuantitativo.

III.3.2. Espectroscopia de emisión y absorción

Como se ha visto anteriormente, la ecuación de Planck es un equilibrio reversible, que se desplaza en un sentido o en otro, fundamentalmente en función de la temperatura o de la cantidad y forma de energía que se suministra a los átomos.

Si el aporte de energía es grande, la mayoría de los átomos se encontraran en estado excitado, lo cual permitirá, con la instrumentación adecuada, medir la energía emitida, precisamente por los átomos excitados, a sus longitudes de onda características y, consecuentemente, poder realizar el análisis cuantitativo y cualitativo por espectroscopia de emisión.

Si, por el contrario, la energía que se suministra a los átomos es inferior al caso anterior, un considerable número de ellos se quedarán en el estado fundamental.

Una vez más, según la ecuación de Planck, si los átomos en estado fundamental se encuentran con radiaciones, precisamente de su misma naturaleza, la citada ecuación se desplazara de derecha a izquierda, produciéndose una absorción de esas radiaciones por los átomos en estado fundamental.

Cuando los átomos en estado fundamental se encuentran con las mismas radiaciones que ellos mismos son capaces de emitir, se producirá una absorción de las radiaciones por los átomos en estado fundamental, desplazándose el equilibrio hacia la izquierda y pasando los átomos del estado fundamental al excitado. El fenómeno anteriormente indicado, consistente en la absorción de radiaciones a determinadas longitudes de onda por cualquier medio absorbente,

se llama espectroscopia de absorción. En el caso particular en que el medio absorbente, son átomos en estado fundamental, se llama absorción atómica. Quizá entenderemos mejor el mecanismo de funcionamiento de la Absorción Atómica observando el esquema que refleja el funcionamiento de esta técnica analítica Figura N° 1, La fuente de radiaciones de característica del elemento que deseamos analizar, se obtiene para cada elemento mediante una lámpara que contiene un cátodo exactamente de la misma naturaleza que el elemento que queremos analizar. Por ejemplo si queremos analizar una lámpara de Cobre, su cátodo será de Cobre.

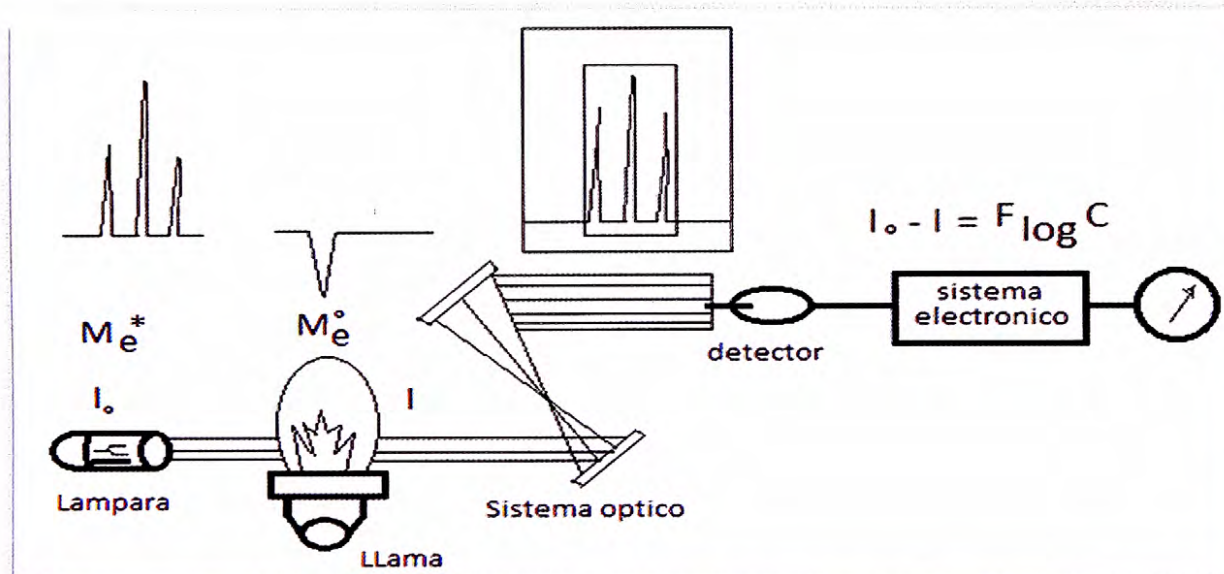


Fig. 1 Esquema de funcionamiento de la de llama Absorción Atómica (CHEMICONTRON, material científico para laboratorio).

A la lámpara anteriormente indicada se le suministra una fuerte cantidad de energía, mediante una corriente eléctrica, a una diferencia de potencial e intensidad determinados. La fuerte cantidad de energía de esta forma suministrada en capas de excitar al cátodo, para llevar sus átomos al estado excitado, emitiendo las radiaciones típicas del Metal o del elemento del cual se

encuentre fabricado el cátodo. Con un dispositivo completamente diferente e independiente del sistema de obtención de radiaciones características se obtienen los átomos en estado fundamental.

El sistema de obtención de átomos en estado fundamental consiste básicamente en un nebulizador capaz de aportar la muestra a un sistema energético, donde se suministra a las moléculas las dosis de energía rigurosamente necesaria para romper los enlaces moleculares y llevar los átomos al estado fundamental. El sistema energético al que nos referimos suele ser generalmente una llama obtenida por la combustión del Acetileno y el Aire. Para aquellos elementos refractarios que requieren un mayor aporte energético tales como Aluminio, Silicio, Titanio, Vanadio, se suele utilizar la llama originada por el Oxido Nitroso y el Acetileno. Cuando se focalizan las radiaciones características emitidas por la lámpara, de un elemento cualquiera, sobre átomos en estado fundamental de la misma naturaleza del cátodo de que estaba construida la lámpara, según la ecuación de Planck se producirá una absorción exactamente a las longitudes de onda emitidas por la lámpara y no a otras.

Generalmente la longitud de onda, es conducida hasta un monocromador con el poder de resolución suficiente como para poder aislar completamente la longitud de onda de interés. Al conjunto formado por monocromador, lentes, espejos y el detector, se llama sistema óptico. Las señales a la salida del detector son procesadas por un complejo sistema electrónico capaz de medir cuantitativamente este fenómeno de absorción y permitir realizar el análisis.

Si la ecuación de Planck transcurre de izquierda a derecha obtendremos la espectroscopia de Emisión, y si es de derecha a izquierda tendremos la espectroscopia de Absorción (CHEMICONTROL, material científico para laboratorio).

CAPITULO IV

IV.1 Metodología

En este apartado se describe la zona de muestreo, la metodología de recolección de muestras y su preservación, y el tratamiento de muestra mediante digestión ácida para el análisis instrumental por espectrofotometría de Absorción Atómica.

IV.2 Ubicación de la zona de Muestreo

El muestreo del presente estudio se realizó en la Bahía Fildes ($62^{\circ}23' S$ $58^{\circ}67' W$), Figura N° 2, que junto a la Bahía Rey Jorge y la Bahía Almirantazgo representa las tres grandes bahías de la Isla Rey Jorge. La isla Rey Jorge pertenece al conjunto de las Islas de Shetland del Sur localizada en el sector norte de la Península Antártica.

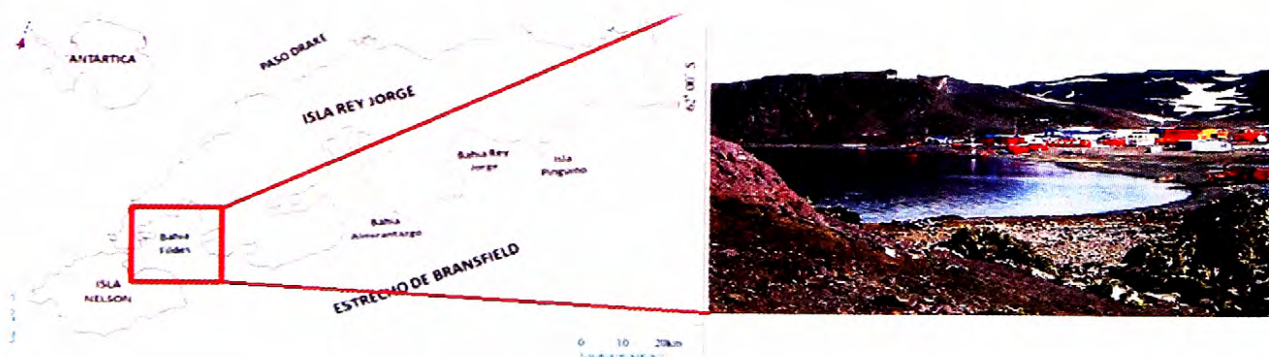


Fig. 2 Bahía Fildes, Antártica chilena (Ocampo N., 2010).

IV.3 Descripción de la zona de muestreo

La Península Fildes, ubicada en el extremo occidental de la isla Rey Jorge en las Islas Shetland del Sur, es una de las áreas libres de hielo más desarrolladas en la Antártica. Esta Bahía geográficamente presenta un conjunto de pequeñas colinas y pequeñas mesetas que van aumentando su elevación hasta alcanzar los 100 metros de altura. Además, esta bahía presenta el mayor cuerpo de agua dulce dentro de la Isla Rey Jorge (con aproximadamente 40 lagos y 20 arroyos).

En esta bahía funcionan permanentemente las siguientes bases científicas: Base Eduardo Frei Moltalva (establecida en 1969 y operada por la Fuerza Aérea de Chile), Capitanía de Puerto Bahía Fildes, Base Profesor Julio Escudero (establecida en 1994 con fines científicos y operada por Instituto Antártico Chileno), la Base Rusa Bellingshausen (establecida en 1968 y utilizada para investigación); la Base Teniente Marsh (construida en 1980 y extendida longitudinalmente en 1300 metros en 1984). Dentro de las bases chilenas, la estación Eduardo Frei Montalva presenta la mayor infraestructura en sus instalaciones, encontrándose una comunidad denominada Villa Las Estrellas en donde se puede encontrar una escuela, una iglesia, el hospital, un banco y una pista de aterrizaje de grava denominada Aeródromo Teniente Marsh, además, la Bahía cuenta de un complejo de tanques de combustible utilizado para el servicio de la flota pesquera rusa y una red de caminos construidos entre las bases. El desarrollo de las bases dentro de la península Fildes en la Antártica ha provocado que sea uno de los lugares más inspeccionados científicamente en el Tratado Antártico (Tin & Roura, 2004), por los cambios relevantes en sus características de esta zona. En 1966 el área fue designada como Zona Especialmente Protegida

(ZEP) debido a su "excepcional interés ecológico". Consecuentemente y, debido a su patrón de desarrollo y diversidad de concentración de actividades humanas, Península Fildes se considera como un complejo de las actividades humanas presentes en la Antártica en donde el grado de contaminación y daño por efecto antrópico es elevado (ASOC, 2007; Tin & Roura, 2004).

Durante la temporada de verano entra en funcionamiento la Base Científica Profesor Julio Escudero del Instituto Antártico Chileno y aumenta el tráfico en el aeropuerto que sirve como entrada al continente Antártico de gran cantidad de científicos, turistas y logísticos de todas las nacionalidades.

La Bahía cuenta con tres descargas diferentes de residuos líquidos:

- La primera descarga perteneciente a un río colindante a la base Rusa Bellingshausen, se desconoce el grado de tratamiento previo de los mismos.
- El segundo emisario se ubica en la bases Presidente Eduardo Frei, es en este lugar en donde se recibe un mayor volumen de desechos.
- Por último encontramos las descargas de Capitanía de Puerto.

IV.4 Recolección de Muestras

La recolección de muestras se realizó en el periodo comprendido en enero y febrero de 2010 y 2011, en el área costera de Bahía Fildes y siguiendo la metodología descrita en el "Manual de Monitoreo Ambiental Antártico" (COMNAP & SCAR, 2000).

Todos los puntos de muestreo se encuentran sometidos al flujo y reflujo de las mareas. Las propiedades físicas y dinámicas de los cuerpos de agua en

general tienden a contribuir con una distribución homogénea de contaminantes y, en base a que en general esta investigación comprende el estudio de concentraciones de elementos metálicos en sedimento marino costero y determinación de la cantidad de materia orgánica, en relación a las descargas líquidas que ingresan a Bahía Fildes y la posible contaminación en la costa, degradación de antiguos vertederos y fenómenos como la oxidación – reducción de chatarras, se asigna como criterio de muestreo tres estaciones en donde existe un efluente de descarga líquida que ingresa a la bahía:

1) estación central CAP 0 (estación que hasta el momento del muestreo recibía las descargas líquidas sin tratamiento desde las instalaciones de Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero),

2) estación Fach 0 (estación que al momento del muestreo consta con sistema de tratamiento de tipo biológico para las aguas residuales provenientes desde la Base Teniente Marsh y Villas las Estrellas).

3) estación R 0 (estación de muestreo donde ingresan las aguas del río formado por el deshielo de glaciares y Base Rusa con su estación Bellingshausen). A partir de cada punto elegido, se realiza un muestreo a 10, 25 y 50 metros de distancia equidistantes en dirección suroeste-noroeste.

En resumen, las muestras de sedimento fueron recolectadas de capas superficiales desde 13 estaciones distribuidas a lo largo de la Bahía Fildes, Figura N° 3, (CAP+50, CAP+25, CAP+10, CAP 0, CAP-10 FACH 0, R+50, R+25, R+10, R 0, R-10, R-25 y R-25). El muestreo fue realizado manualmente con la ayuda de una pala. Las muestras se guardaron en bolsas de plástico con cierre hermético para su preservación por congelación a -18° C y posterior traslado y análisis en laboratorio.

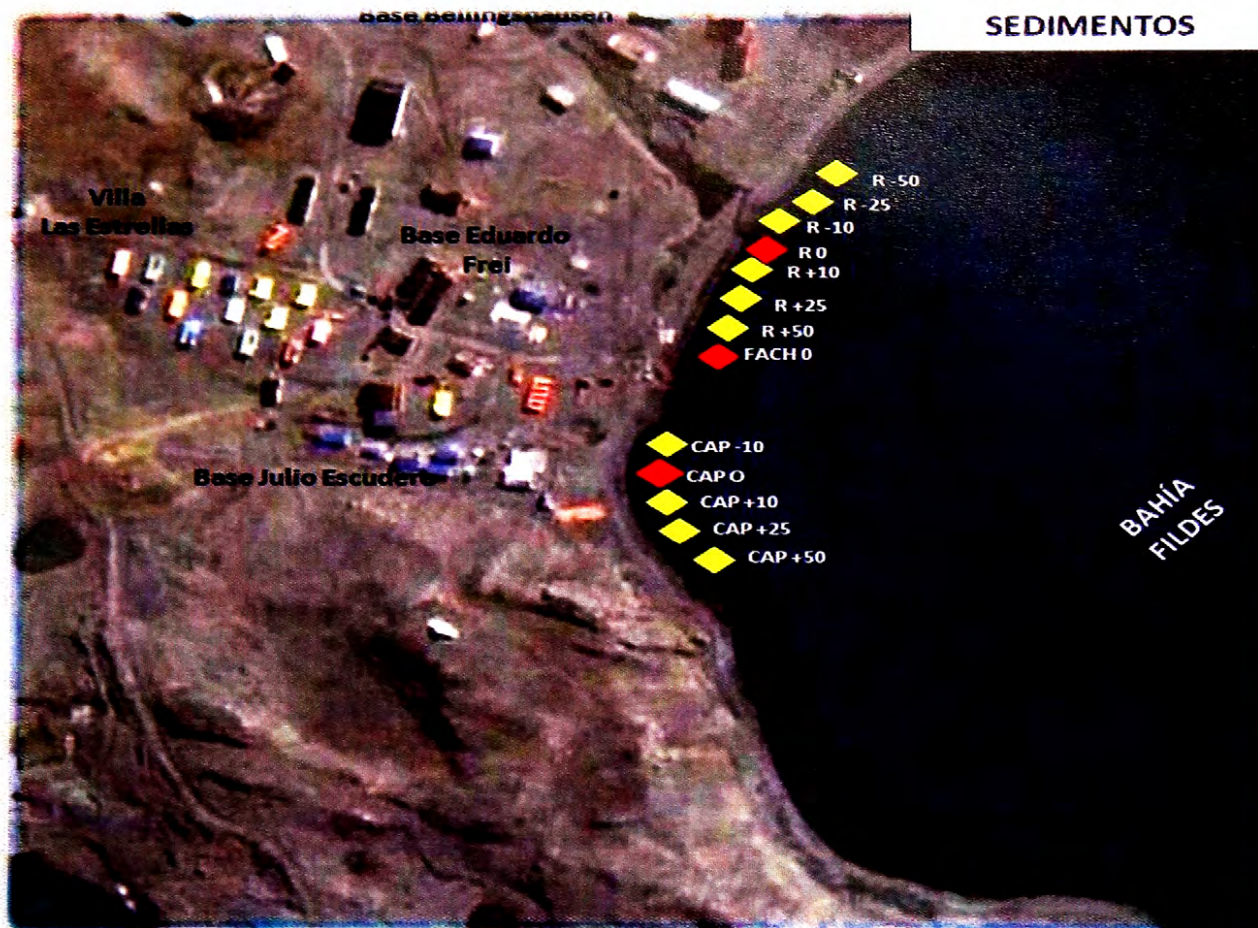


Fig. 3 Distribución de estaciones de muestreo para sedimento costero de Bahía Fildes. En color amarillo las estaciones distribuidas a 10, 25 y 50 metros y de color rojo los puntos de descarga líquida en la Bahía (estaciones CAP 0, FACH y R 0) (Ocampo N., 2010).

Tabla 2 coordenadas de muestreo en los 13 puntos en Bahía Fildes.

Puntos	E	N
FACH	398053	3101948
C-10	398028	3101846
CAP 0	398029	3101837
C+10	398031	3101824
C+25	398040	3101814
C+50	398060	3101792
R-50	398107	3102064
R-25	398101	3102043
R-10	398097	3102028
R 0	398100	3102011
R+10	398092	3102001
R+25	398076	3101997
R+50	398062	3101975

IV.5 Tratamiento de Muestras

El material de vidrio y plástico utilizado en este estudio (tanto en la toma de muestras como en el trabajo de laboratorio) fue previamente descontaminado a través de un proceso que consistió en lavar el material de vidrio (matraces, tubos para muestras, embudos, pipetas, tubos de digestión, etc.) en una solución de agua con detergente para luego darle un enjuague con agua corriente y, una vez eliminado todo el detergente, el material fue lavado con agua destilada. Finalmente, el material fue dejado en remojo en una solución de HNO₃ al 10% durante 24 horas. Una vez transcurrido este periodo el material fue enjuagado con agua destilada para finalizar con abundante agua pura MilliQ (18 Ω) y finalmente fue secado en estufa a 30-35° C por aprox. 2 hrs.

IV. 6. Tamizado de las muestras

Se realizó un tamizado de 20 minutos aproximadamente para cada muestra sedimentaria con la finalidad de determinar la granulometría. Una vez obtenida las fracciones se procedió a calcular el porcentaje de contribución de cada fracción en el sedimento. En este estudio de determinación de metales pesados y materia orgánica en el sedimento marino costero, se trabajo con la fracción entre 2 y 0,0063 mm, puesto que estudios han demostrado que esta fracción se encuentra compuesta de fragmentos provenientes de un surtido de rocas y minerales (Giordano et al, 1999). Así mismo, las partículas que se encuentran suspendidas proceden a interactuar químicamente con los elementos disueltos en el agua para posteriormente sedimentar y disponerse secuencialmente sobre el fondo, pudiéndose de ésta manera, conocer la composición química de los sedimentos, los cambios de concentración por estrato que han ocurrido en el tiempo y las fluctuaciones de concentración de metales ocurrida en estos ambientes

IV.7. Digestión de las muestras

Para poder analizar las muestras por Espectrometría de Absorción atómica, se debe digerir toda la materia orgánica y partículas adheridas al sedimento, con el fin de liberar los metales en solución y conocer el grado de concentración de estos.

Pesar 1,0 a 1,5 gramos aproximadamente de cada Muestra de sedimento, colocar la masa pesada en un tubo digestor.

Agregar 5 mL HNO_3 dejar reaccionar sin calor por 24 hrs (con la finalidad de evitar posibles reacciones de carácter violento al calentar a alta temperatura). Digerir, esta etapa fue realizada en un digestor “Velp Scientifica DK 20 Heating digestor”, con capacidad de 20 muestras a diferentes tiempos y temperaturas. Cuando el volumen disminuya a 2 ml aproximadamente, dejar enfriar por un momento y agregar 2 mL de H_2O_2 con el fin de oxidar la materia orgánica que quedo y liberar los metales de la muestra.

Calentar nuevamente hasta que el volumen disminuya hasta 2ml aproximadamente

Posteriormente agregar 5 mL de HCl concentrado, para así completar la digestión, se digiere hasta reducir el volumen de la solución a 2 mL aproximadamente, y después dejar enfriar.

Finalmente, filtrar cada muestra, en papel de filtro N° 42 o similar y aforar cada muestra a 50 ml con agua des ionizada.

Todos los reactivos utilizados en este estudio fueron “Suprapur TM”. Los extractos ácidos fueron analizados mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica

Perkin Elmer Analyst 700 en el Departamento de Química Ambiental de la Universidad de Magallanes. El instrumento fue calibrado con soluciones diluidas individuales estándar para cada elemento (Merck Centripur).

IV. 8. Procedimiento de Medición de Metales por equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer Analyst 700 por técnica de llama

Para la determinación de la concentración de los elementos pesados Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co en las muestras ya digeridas, filtradas, aforadas a 50 ml y rotuladas, se necesita estándares para cada uno de los elementos:

Tabla 3 Concentraciones de blancos para curvas de calibración, para la medición de metales.

C. estándar mg/L	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	Cr	Cd	Co
1	5	10	1	0,5	0,1	0,1	0,1	1
2	10	15	3	1	0,5	0,5	0,5	3
3	15	20	5	3	1	1	1	5
4	20				2			
5	50				5			

Todos los estándares de estos elementos se prepararon a partir de estándares certificados, cuya concentración es de 1000 mg/L.

El equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica entrega la concentración sin corregir de la muestra por lo cual es necesario posteriormente realizar el cálculo de concentración incluyendo el peso y el volumen de cada una de las muestras. Para determinar la concentración de cada una de las muestras analizadas se procede a la utilización de la siguiente ecuación:

$$C_m = \frac{(\text{concentración} \cdot \text{Absorbancia}) \cdot \text{Volumen} \cdot \text{Aforo}}{\text{Masa Digerida}}$$

IV.9. Control de Calidad

Las mayores dificultades que se presentan al trabajar con metales trazas en matrices ambientales, son de carácter analítico: Contaminación de la muestra durante la fase de recolección, problemas de pérdidas o contaminación durante la manipulación de la muestra, tratamiento adecuado de la muestra y contaminación en el laboratorio y tener la certeza que la lectura del equipo corresponden al metal que se desea analizar, para ello es imprescindible trabajar con estándares certificados.

Para validar la metodología se, trabajo bajo estándares de calidad tales como:

- Material de referencia certificado para sedimentos marino MESS-3 de la “National Research Council, Canada” en duplicado
- Duplicado a cada muestra a analizar.
- blanco reactivo en duplicado.
- blanco fortificado en duplicado.
- muestra fortificada en duplicado.

El porcentaje de recuperación que se obtuvo al aplicar la metodología utilizada en el tratamiento de las muestras de este estudio en los blancos fortificados fue de un 78,38 %.

IV.10. Determinación de materia orgánica

Para determinar la materia orgánica se utilizo método gravimétrico. El procedimiento para obtener materia orgánica fue de acuerdo al Método 7 descrito en el Comisión de Normalización y Acreditación Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, CNA, año 2004. La muestra de sedimento se calcina a 400°C y se determina la pérdida de masa.

CAPITULO V

V. 1. Presentación y Discusión de los Resultados

En la siguiente sección se presentan los resultados correspondientes a la determinación de Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co en sedimentos superficiales de 13 estaciones de muestreo distribuidas en el borde costero de la Bahía Fildes para el año 2010, 2011 y la variación entre ellos. Después se dará a conocer los resultados concierne a la materia orgánica para los años 2009-2010-2011.

Las concentraciones para los metales en sedimento son expresadas en las siguientes unidades: Fe en mg g^{-1} y Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Cd y Co en $\mu\text{g g}^{-1}$ y la materia orgánica en mg g^{-1} .

Para fines de análisis tomaremos cada uno de los metales por separado, y estudiaremos el comportamiento de los niveles de concentración según punto muestral.

Tabla 4 concentración promedio, la desviación estándar y el rango de concentración de los metales determinados del año 2010.

2010	Fe mg/g	Mn $\mu\text{g/g}$	Zn $\mu\text{g/g}$	Co $\mu\text{g/g}$	Ni $\mu\text{g/g}$	Cd $\mu\text{g/g}$	Cu $\mu\text{g/g}$	Cr $\mu\text{g/g}$
Promedio	45,48	744,26	58,19	8,19	27,26	2,69	66,27	28,93
D. estándar	4,75	55,42	3,53	2,47	13,06	0,38	6,89	24,20
Máximo	58,36	808,16	64,52	12,66	56,32	3,22	77,61	81,67
Mínimo	39,66	643,01	53,27	5,13	13,34	1,97	53,98	8,5

V. 2. Metales pesados 2010

Hierro

Este metal es de todos los investigados el que mayores niveles de concentración presentó en todas las estaciones de muestreo, Sin embargo es importante destacar que es el menos tóxico de todos.

En este estudio los valores oscilaron entre 39,66 - 58,36 mg g⁻¹ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de 45,48 ± 4,75 mg g⁻¹, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-25, CAP-10 y CAP+50, estas 4 bases que sobrepasan el promedio equivalen a 31%, del total de las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor 40 mg g⁻¹ correspondiente a la descarga río donde descarga sus efluentes la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de hierro de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, así también para la estación de muestreo FACH de un valor 39,66 mg g⁻¹, siendo este valor de concentración promedio el más bajo de este metal. Para la estación de muestreo CAP0 de un valor de 43,66 mg g⁻¹, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una distribución de hierro de forma muy parecida a las 2 anteriores, un aumento a medida que se aleja del punto de descarga.

Para el año 2010 no se aprecia ninguna tendencia definida en los niveles de concentración de este metal con respecto a los puntos muéstrales, se aprecia más bien un comportamiento en oscilaciones.

Tabla 5 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Hierro en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio (mg/g)
R-50	58,36
R-25	48,39
R-10	44,84
R	40,00
R+10	45,29
R+25	44,88
R+50	43,63
FACH	39,66
CAP-10	46,60
CAP	43,66
CAP+10	46,00
CAP+25	41,58
CAP+50	48,30

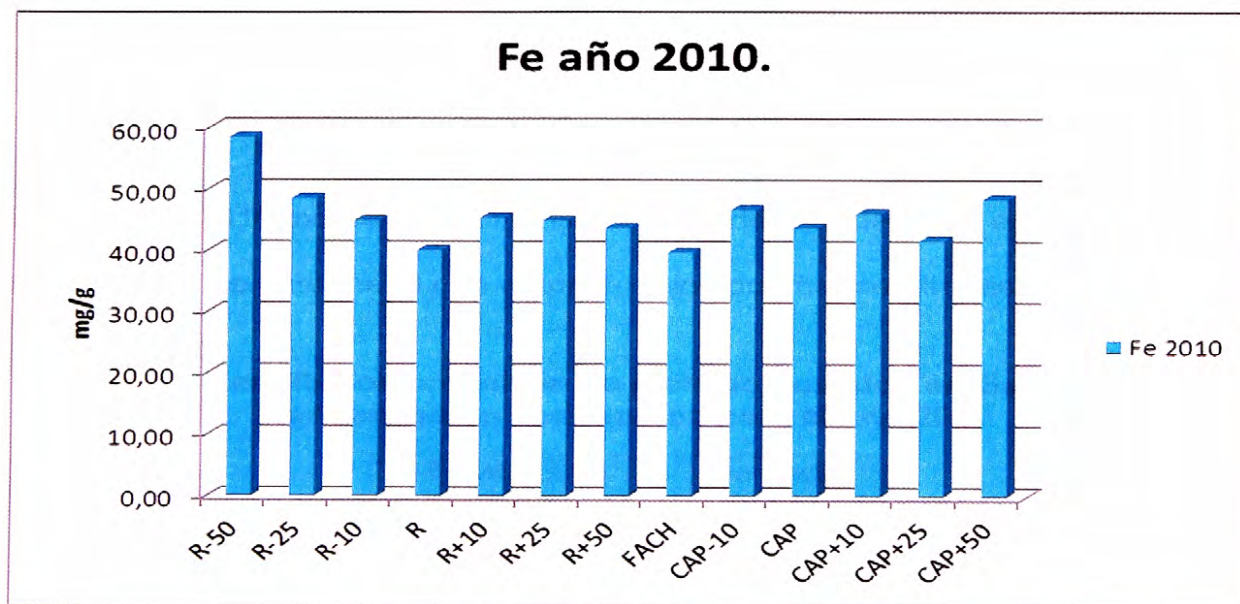


Fig. 4 Concentraciones promedio Fe vs Puntos muestrales para el 2010.

Manganeso

Este metal es de todos los investigados el segundo con mayores niveles de concentración presentó en todas las estaciones de muestreo. En este estudio los valores de Mn oscilaron entre 808,16 - 643,01 $\mu\text{g g}^{-1}$, para un valor promedio de

las estaciones de muestreo de $744,26 \pm 55,42 \text{ mg g}^{-1}$, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-25, R-10, R+50, CAP-10, las cuales equivalen a un 38,46% del total de las estaciones de muestreo

La estación de muestreo R0 de un valor de $680,76 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río donde descarga sus efluentes la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de Manganeso de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, así también para la estación de muestreo FACH de un valor de $643,01 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio más bajo para este metal, para la estación de muestreo CAP0 de un valor de $741,76 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una distribución de Manganeso de forma muy parecida a las anteriores, un aumento a medida que se aleja del punto de descarga.

Para el año 2010 no se aprecia ninguna tendencia definida en los niveles de concentración de este metal con respecto a los puntos muéstrales.

Tabla 6 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Manganeso en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	795,96
R-25	802,53
R-10	797,61
R	680,76
R+10	733,97
R+25	750,09
R+50	808,16
FACH	643,01
CAP-10	806,68
CAP	741,76
CAP+10	694,51
CAP+25	690,93
CAP+50	729,43



Fig. 5 Concentraciones promedio Mn vs Puntos muestrales para el año 2010.

Zinc

En este estudio los valores de Zn oscilaron entre 64,52 - 53,27 $\mu\text{g g}^{-1}$, para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $58,19 \pm 3,53 \mu\text{g g}^{-1}$, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-10, R+10, R+25 y CAP+10, equivalentes a un 38,46%, del total de las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de $55,83 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río y donde descarga sus efluentes la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de Zinc de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, así también para la estación de muestreo FACH de un valor de $53,27 \mu\text{g g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio más bajo para este metal, para la estación de muestreo CAP0 de un valor de $55,16 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero,

muestra una distribución de Zinc de forma muy parecida a las 2 anteriores, un aumento a medida que se aleja del punto de descarga.

Para el año 2010 no se aprecia ninguna tendencia definida en los niveles de concentración con respecto a los puntos muestrales.

Tabla 7 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Zinc en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio (µg/g)
R-50	63,07
R-25	55,45
R-10	64,52
R	55,83
R+10	61,66
R+25	60,96
R+50	58,57
FACH	53,27
CAP-10	59,19
CAP	55,16
CAP+10	57,22
CAP+25	54,10
CAP+50	57,50

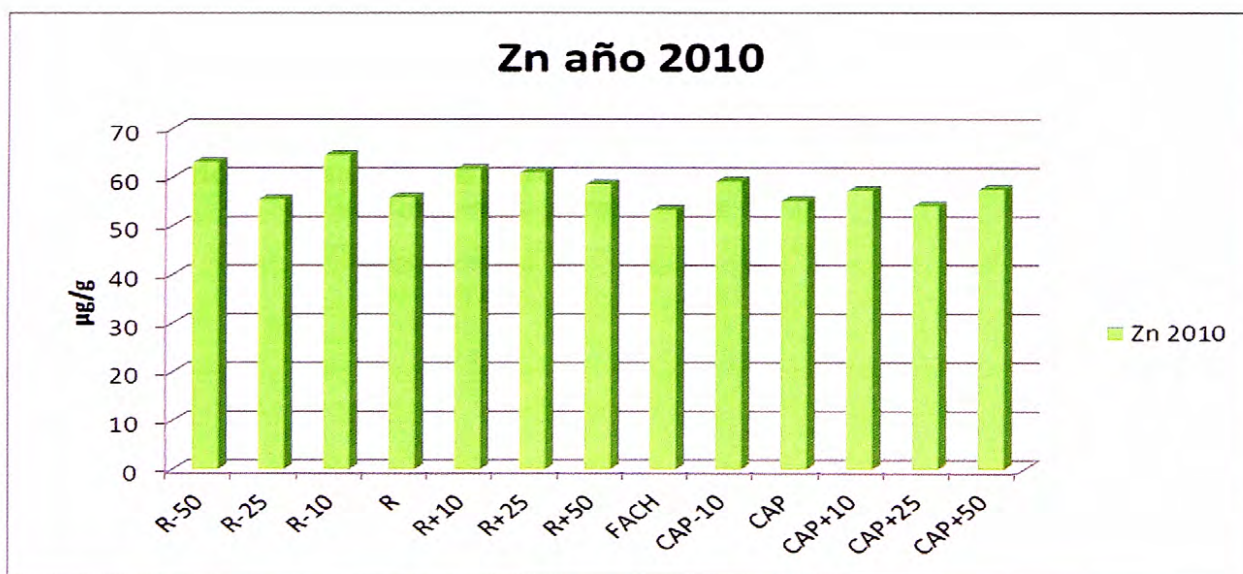


Fig. 6 Concentraciones promedio Zn vs Puntos muestrales para el año 2010.

Cobalto

En este estudio los valores de Co oscilaron entre 12,66 - 5,13 $\mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $8,19 \pm 2,47 \mu\text{g g}^{-1}$ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-25, R-10, R0, R+10, R+25 y R+50, equivalentes a un 53,84%, del total de las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de $9,38 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río donde descarga sus efluentes la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de cobalto de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, así también para la estación de muestreo FACH de un valor de $5,13 \mu\text{g g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio más bajo para este metal, para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $5,63 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una distribución de cobalto de forma muy parecida a las 2 anteriores, un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, pero una predominancia de los sectores R.

Tabla 8 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Cobalto en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	12,66
R-25	10,70
R-10	10,42
R	9,38
R+10	10,14
R+25	9,05
R+50	9,08
FACH	5,13
CAP-10	6,64
CAP	5,63
CAP+10	5,79
CAP+25	5,18
CAP+50	6,67

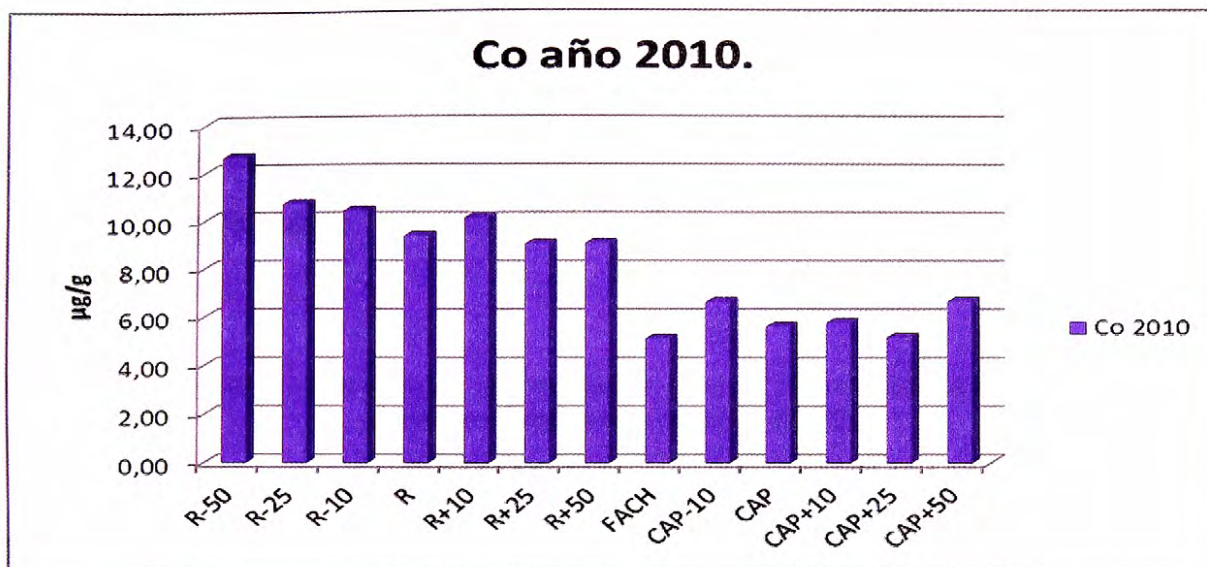


Fig. 7 Concentraciones promedio Co vs Puntos muestrales para el año 2010.

Níquel

En este estudio los valores de Ni oscilaron entre $56,32 - 13,34 \mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $27,26 \pm 13,06 \mu\text{g g}^{-1}$ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-10, FACH, CAP-10 y CAP+10, equivalentes a un 30,77%, del total de estaciones de muestreo. La estación de muestreo R0 de un valor de $25,95 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de rio donde descarga sus efluentes la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de níquel de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, no así para la estación de muestreo FACH de un valor de $56,32 \mu\text{g g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio uno de los más altos para este metal, para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $20,06 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio escudero. El Ni muestra un comportamiento muy contrario respecto a los otros metales anteriores (Fe, Mn, Zn y Co), porque la tendencia de los anteriores metales

muestran un aumento de concentraciones hacia los puntos R-50, R-25, R-10, R0, R+10, R+25 y R+50, en este metal notamos un aumento colosal respecto al promedio 27,26 $\mu\text{g g}^{-1}$ reflejado en las estaciones de muestreo FACH 56,32 $\mu\text{g g}^{-1}$ y CAP-10 52,14 $\mu\text{g g}^{-1}$, pertenecientes a Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero.

Tabla 9 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Níquel en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	25,98
R-25	16,34
R-10	29,49
R	25,95
R+10	25,09
R+25	16,24
R+50	18,18
FACH	56,32
CAP-10	52,14
CAP	20,06
CAP+10	28,21
CAP+25	13,34
CAP+50	27,1

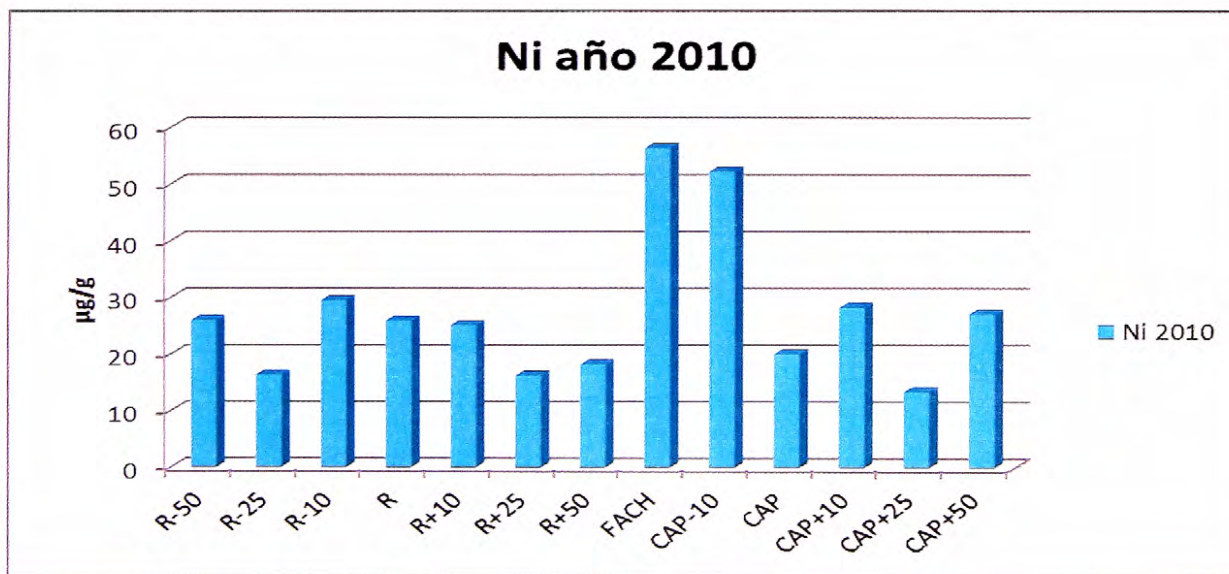


Fig. 8 Concentraciones promedio Ni vs Puntos muestrales para el año 2010.

Cadmio

Este metal es de todos los investigados el que menores niveles de concentración presentó en todas las estaciones de muestreo. En este estudio los valores oscilaron entre 3,22 - 1,97 $\mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $2,69 \pm 0,38 \mu\text{g g}^{-1}$, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-25, R-10, R+10, CAP+25 y CAP+50, equivalentes a un 46,15%, del total de todas la estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor 2,58 $\mu\text{g g}^{-1}$ correspondiente a la descarga de río y donde además descarga sus efluentes la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de cadmio de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga. Para la estación de muestreo FACH de un valor 2,28 $\mu\text{g g}^{-1}$, para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de 1,97 $\mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, siendo este valor de concentración promedio el más bajo de este metal.

Para el año 2010 se aprecia valores más altos en los puntos extremos que en los del medio. Este metal es considerado uno de los más tóxicos entre los metales estudiados.

Tabla 10 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes Cadmio en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio (µg/g)
R-50	3,13
R-25	3,02
R-10	2,86
R	2,58
R+10	2,8
R+25	2,71
R+50	2,47
FACH	2,28
CAP-10	2,16
CAP	1,97
CAP+10	2,67
CAP+25	3,05
CAP+50	3,22

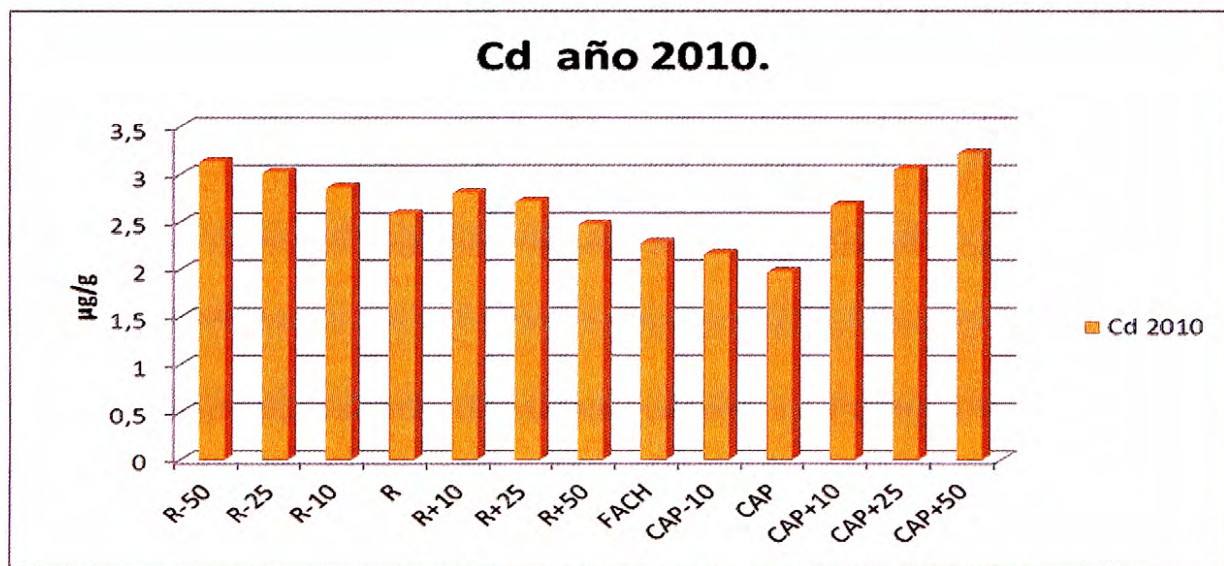


Fig. 9 Concentraciones promedio Cd vs Puntos muestrales para el 2010.

Cobre

En este estudio los valores de Cu oscilaron entre 77,61 - 53,98 µg g⁻¹, para un valor promedio de las estaciones de muestreo de 66,27 ± 6,89 µg g⁻¹, los

valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R+50, CAP-10, CAP+10 y CAP+50, equivalentes a un 38,46%, del total de estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de $53,98 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río donde además descarga sus efluentes la Base (Bellingshausen), muestra una distribución de Cobre de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, así también para la estación de muestreo FACH de un valor de $61,02 \mu\text{g g}^{-1}$. Para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $65,73 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una distribución de cobre de forma muy parecida a las 2 anteriores, un aumento a medida que se aleja del punto de descarga.

Para el año 2010 no se aprecia ninguna tendencia definida en los niveles de concentración con respecto a los puntos muestrales se observan oscilaciones en los puntos muestrales.

Tabla 11 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobre en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	73.81
R-25	58.37
R-10	62.99
R	53.98
R+10	65.21
R+25	64.29
R+50	69.32
FACH	61.02
CAP-10	76.27
CAP	65.73
CAP+10	69.49
CAP+25	63.48
CAP+50	77.61

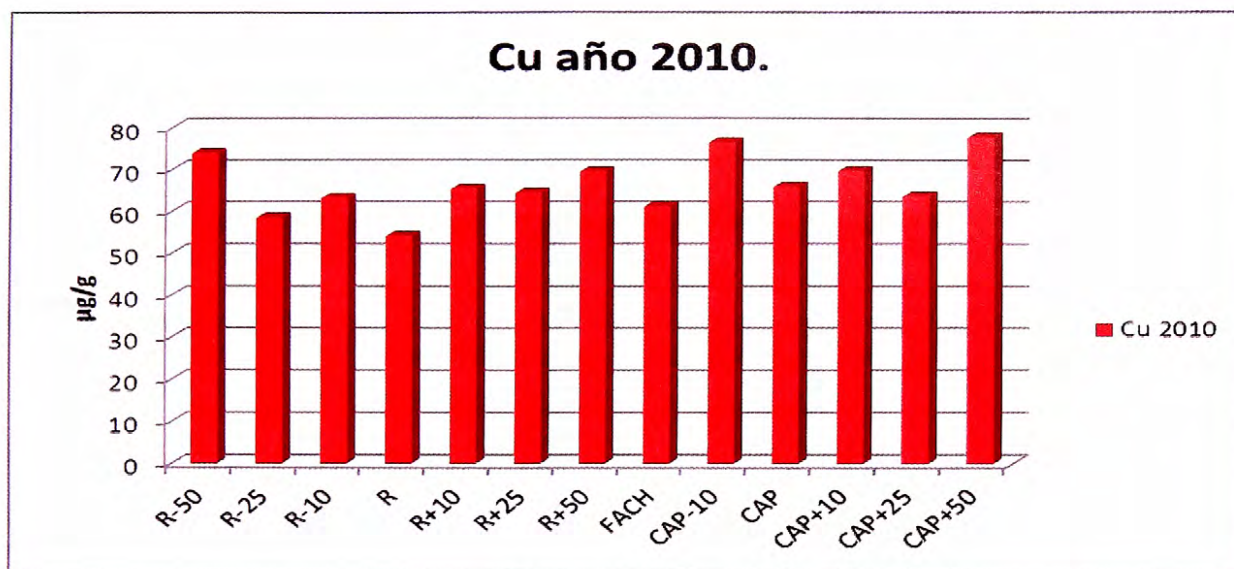


Fig. 10 Concentraciones promedio Cu vs Puntos muestrales para el año 2010.

Cromo

En este estudio los valores de Cr oscilaron entre 81,67 - 8,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $28,93 \pm 24,20 \mu\text{g g}^{-1}$ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo FACH, CAP-10, CAP 0 y CAP+10, que equivalen a un 31%, del total de las estaciones de muestreo. La estación de muestreo R0 de un valor de $21,10 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río y además la descarga de efluentes de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de cromo de forma de oscilaciones, no así para la estación de muestreo FACH de un valor de $81,67 \mu\text{g g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio el más alto para este metal. Para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $33,93 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio escudero muestra una distribución de cromo de forma muy parecida a las anteriores, un aumento a medida que se aleja del punto

de descarga y con oscilaciones. El Cr muestra un comportamiento muy parecido al Ni, en este metal notamos un aumento colosal respecto a su promedio $28,93 \mu\text{g g}^{-1}$ reflejado en las estaciones de muestreo FACH $81,67 \mu\text{g g}^{-1}$ y CAP-10 $77,18 \mu\text{g g}^{-1}$, pertenecientes a Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero.

Tabla 12 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cromo en sedimentos para el año 2010.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	15,6
R-25	14,11
R-10	14,21
R	21,1
R+10	20,1
R+25	11,19
R+50	15,9
FACH	81,67
CAP-10	77,18
CAP	33,93
CAP+10	41,89
CAP+25	20,74
CAP+50	8,5

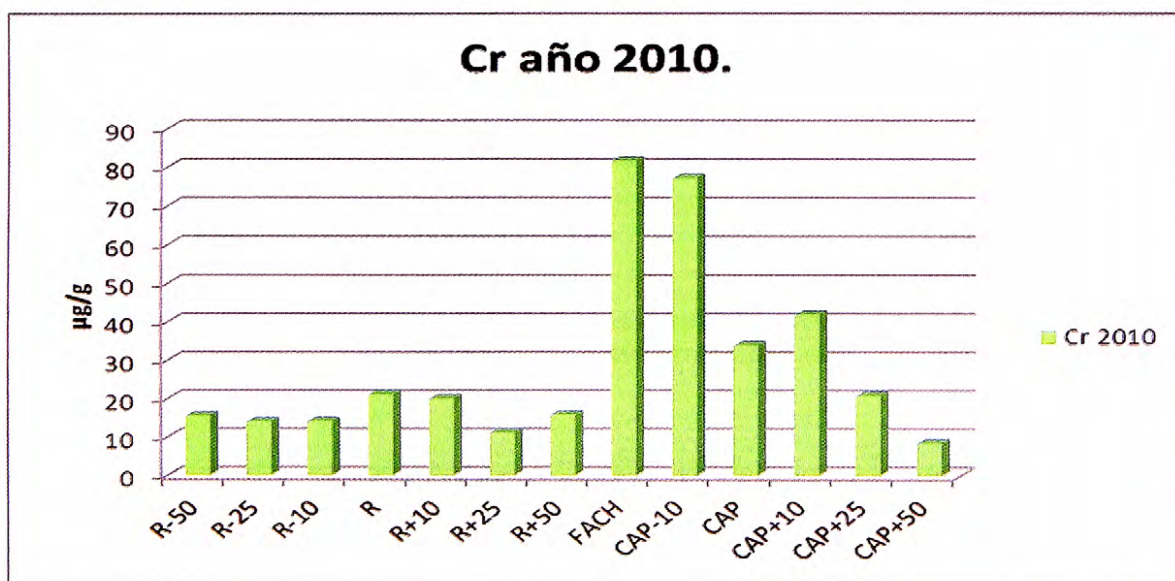


Fig. 11 Concentraciones promedio Cr vs Puntos muéstrales para el año 2010.

En general se destaca que existe una predominancia de metales Fe, Mn, Co y Zn, en la zona de descarga de río y también de descarga de la base rusa de los sectores de muestreo R-50, R-25, R-10, R0, R+10, R+25 y R+50, como también existe una predominancia de metales Ni, Cr, Cu, hacia los sectores de FACH, CAP-10, CAP0, CAP+10, CAP+25 y CAP+50. El cadmio se encuentra en los sectores de R como en CAP.

V.3. Metales pesados 2011.

En la siguiente sección se presentan los resultados correspondientes a la determinación de Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd y Co en sedimentos superficiales de 11 estaciones de muestreo distribuidas en el borde costero de la Bahía Fildes para el año 2011. Las concentraciones para sedimento son expresados en las siguientes unidades: Fe en mg g^{-1} y Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Cd, y Cr en $\mu\text{g g}^{-1}$.

Cabe señalar que para el año 2011, no se cuentan con las muestras de CAP+25 y CAP+50.

Con motivo de analizar los datos con mayor detalle se tomará a continuación cada uno de los metales por separado, y se estudiará el comportamiento de los niveles de concentración según el punto muestral.

Tabla 13 concentración promedio, la desviación estándar y el rango de concentración para los metales determinados del año 2011.

2011	Fe mg/g	Mn $\mu\text{g/g}$	Zn $\mu\text{g/g}$	Co $\mu\text{g/g}$	Ni $\mu\text{g/g}$	Cd $\mu\text{g/g}$	Cu $\mu\text{g/g}$	Cr $\mu\text{g/g}$
Promedio	40,79	693,70	58,62	3,48	19,33	2,65	66,64	21,06
D. estándar	4,34	56,91	5,77	1,28	4,56	0,42	11,22	7,21
Máximo	44,69	777,62	67,91	5,83	29,85	3,31	91,1	35,87
Mínimo	32,18	608,92	50,32	1,2	13,77	1,97	52,61	8,1

Hierro

Este metal es de todos los investigados el que mayores niveles de concentración presentó en todas las estaciones de muestreo, al igual que el año 2010, Sin embargo es importante destacar que es el menos tóxico de todos.

En este estudio los valores oscilaron entre 44,69 - 32,18 mg/g para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $40,79 \pm 4,34$ mg/g, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-25, R-10, R0, R+25, CAP-10, CAP0 y CAP+10, equivalentes a un 63,63%, del total de estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor $42,11 \text{ mg g}^{-1}$ correspondiente a la descarga río de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de hierro de forma de oscilaciones. Para la estación de muestreo FACH de un valor $32,18 \text{ mg g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio el más bajo de este metal. Para la estación de muestreo CAP0 de un valor de $44,69 \text{ mg g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, siendo este valor el más alto para este metal.

Para el año 2011 no se aprecia ninguna tendencia definida en los niveles de concentración de este metal con respecto a los puntos muestrales.

Tabla 14 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Hierro en sedimentos para el año 2011.

Estación de muestreo	promedio (mg/g)
R-50	41,24
R-25	42,95
R-10	42,59
R	42,11
R+10	33,55
R+25	43,2
R+50	37,91
FACH	32,18
CAP-10	43,82
CAP	44,69
CAP+10	44,47
CAP+25	0
CAP+50	0

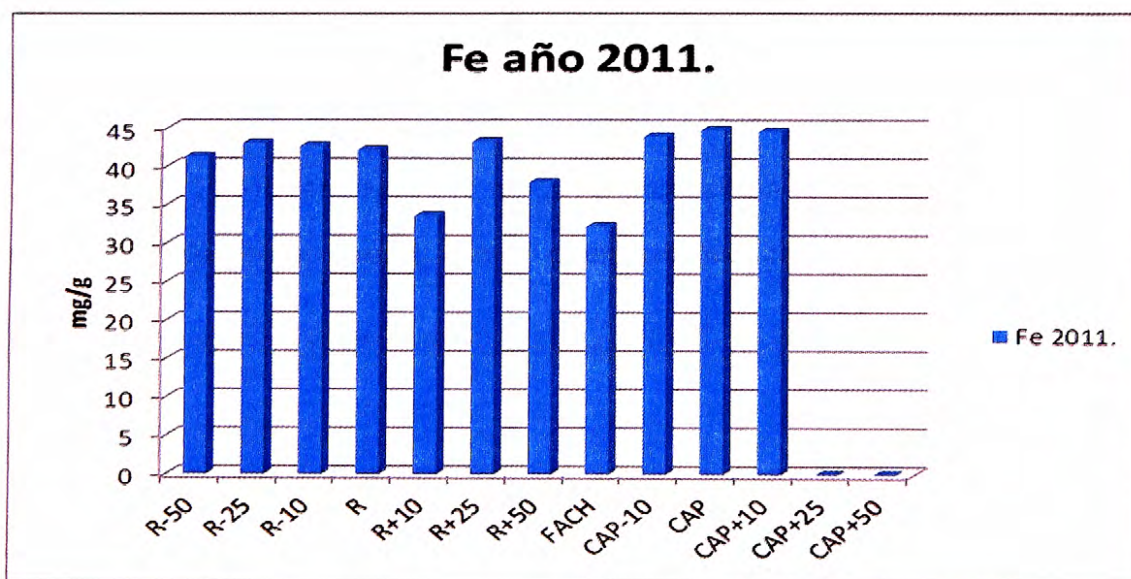


Fig. 12 Concentraciones promedio Fe vs Puntos muestrales para el 2011.

Manganeso

Este metal es de todos los investigados el segundo con mayores niveles de concentración presentó en todas las estaciones de muestreo. En este estudio los

valores de Mn oscilaron entre 777,62 - 608,92 $\mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $693,7 \pm 56,91 \mu\text{g g}^{-1}$, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-25, R0, CAP-10 y CAP+10, equivalentes a un 45,45%, del total de las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de $725,22 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río y además descarga de efluentes de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de Manganeso de forma de oscilaciones. Para la estación de muestreo FACH de un valor de $640,13 \mu\text{g g}^{-1}$. Para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $681,76 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una distribución de Manganeso de forma de aumento a medida que se aleja del punto de descarga.

Para el año 2011 no se aprecia ninguna tendencia definida en los niveles de concentración de este metal, solo oscilaciones con respecto a los puntos muestrales.

Tabla 15 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Manganeso en sedimentos para el año 2011.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	700,84
R-25	777,62
R-10	692,26
R	725,22
R+10	608,92
R+25	694,61
R+50	609,84
FACH	640,13
CAP-10	769,62
CAP	681,76
CAP+10	729,82
CAP+25	0
CAP+50	0

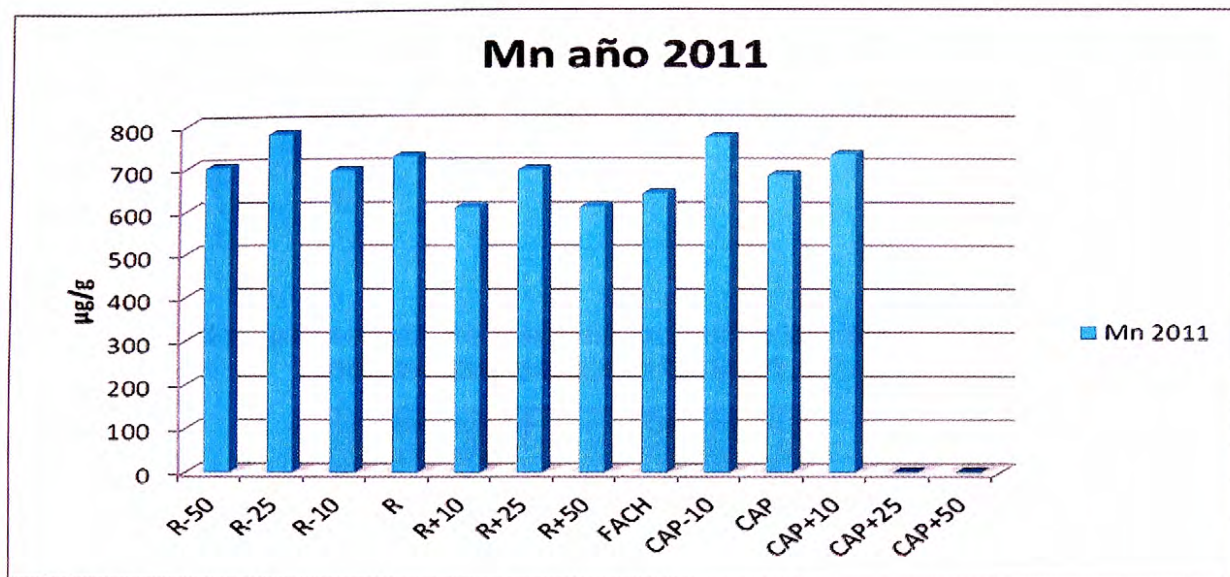


Fig. 13 Concentraciones promedio Mn vs Puntos muestrales para el 2011.

Zinc

En este estudio los valores de Zn oscilaron entre 67,91 - 50,32 $\mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $58,62 \pm 5,77 \mu\text{g g}^{-1}$, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-25, R0, CAP-10, CAP 0 y CAP+10, equivalentes a un 45,45%, del total de estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de $60,76 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de rio y además la descarga de efluentes de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de Zinc de forma de oscilaciones. Para la estación de muestreo FACH de un valor de $53,98 \mu\text{g g}^{-1}$. Para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $61,67 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una distribución de Zinc de forma de aumento a medida que se aleja del punto de descarga.

Para el año 2011 no se aprecia ninguna tendencia definida en los niveles de concentración de este metal, solo oscilaciones con respecto a los puntos muestrales.

Tabla 16 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Zinc en sedimentos para el año 2011.

Estación de muestreo	promedio (µg/g)
R-50	52
R-25	63,3
R-10	55,98
R	60,76
R+10	50,32
R+25	56,41
R+50	56,2
FACH	53,98
CAP-10	66,3
CAP	61,67
CAP+10	67,91
CAP+25	0
CAP+50	0

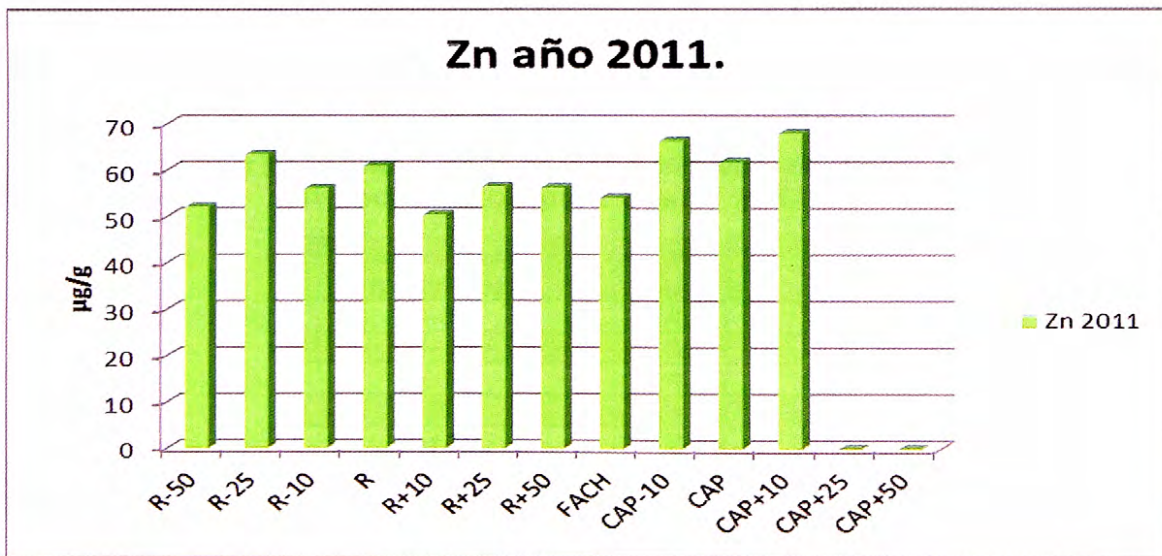


Fig. 14 Concentraciones promedio Zn vs Puntos muestrales para el año 2011.

Cobalto

En este estudio los valores de Co oscilaron entre 5,83 - 1,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $3,48 \pm 1,28 \mu\text{g g}^{-1}$ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-25, R-10, R0 y CAP-10, equivalentes a un 45,45%, del total de las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de 4,69 $\mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga río y además la descarga de efluentes de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de cobalto de forma de oscilaciones. Para la estación de muestreo FACH de un valor de 2,89 $\mu\text{g g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio uno de los más bajos para este metal. Para la estación de muestreo CAP0 de un valor de 2,89 $\mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una distribución de cobalto de forma muy parecida a la distribución de R, pero con concentraciones mucho más bajas.

Tabla 17 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobalto en sedimentos para el año 2011.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	4,36
R-25	5,83
R-10	4,19
R	4,69
R+10	2,49
R+25	2,84
R+50	1,2
FACH	2,89
CAP-10	4,1
CAP	2,89
CAP+10	2,81
CAP+25	0
CAP+50	0

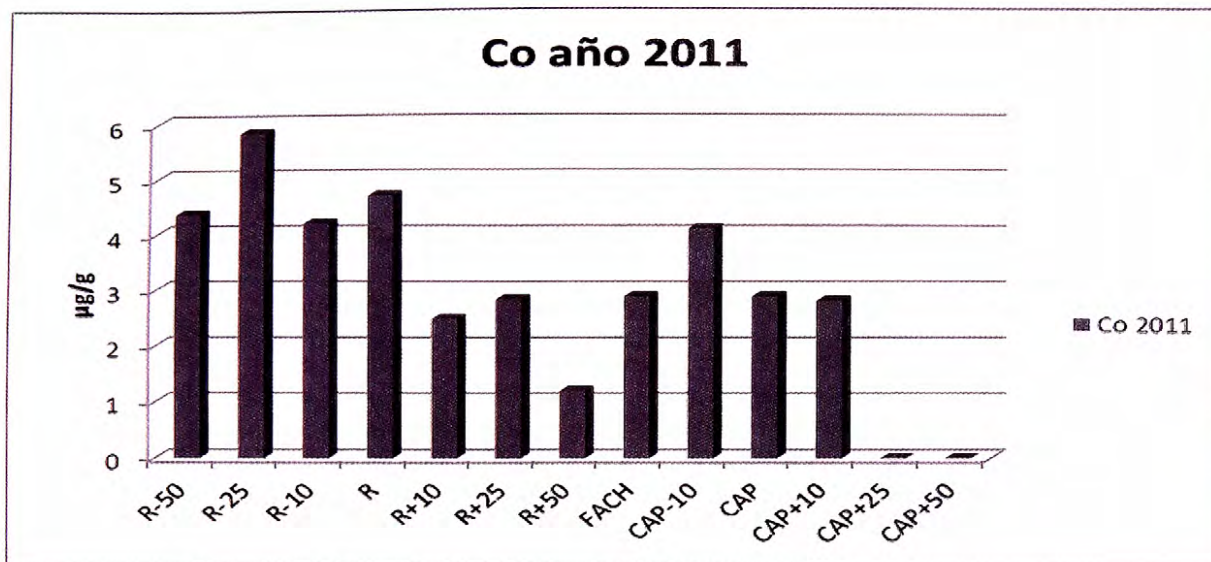


Fig. 15 Concentraciones promedio Co vs Puntos muestrales para el año 2011.

Níquel

En este estudio los valores de Ni oscilaron entre $29,85 - 13,77 \mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $19,33 \pm 4,56 \mu\text{g g}^{-1}$ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-10, CAP-10 y CAP+10, equivalentes a un 27,27%, del total de estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de $18,69 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río y además la descarga de efluente de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de níquel de forma de un aumento en R-10 y disminución alrededor de esta. Para la estación de muestreo FACH de un valor de $18,5 \mu\text{g g}^{-1}$. Para la estación de muestreo CAP0 de un valor de $17,66 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio escudero.

Tabla 18 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Níquel en sedimentos para el año 2011

Estación de muestreo	promedio (µg/g)
R-50	13,77
R-25	17,58
R-10	20,98
R	18,69
R+10	18,65
R+25	15,29
R+50	16,6
FACH	18,5
CAP-10	29,85
CAP	17,66
CAP+10	25,03
CAP+25	0
CAP+50	0

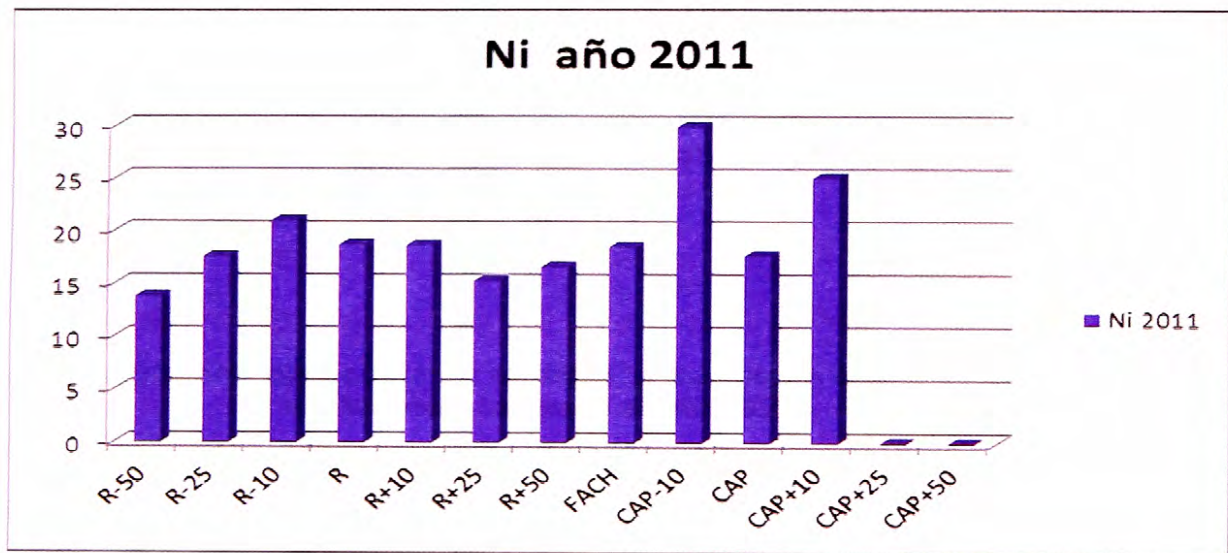


Fig. 16 Concentraciones promedio Co vs Puntos muestrales para el año 2011.

Cadmio

Este metal es de todos los investigados el que menores niveles de concentración presentó en todas las estaciones de muestreo, comportamiento igual al del año 2010. En este estudio los valores oscilaron entre 3,31- 1,97 µg g⁻¹

para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $2,65 \pm 0,42 \mu\text{g g}^{-1}$, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-25, R-10, R+10, R+25 y CAP+10, equivalentes a un 54,54%, del total de todas las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor $2,58 \mu\text{g g}^{-1}$ correspondiente a la descarga de río y además la descarga de efluentes de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de cadmio de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga. Para la estación de muestreo FACH de un valor $2,28 \mu\text{g g}^{-1}$. Para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $1,97 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, siendo este valor de concentración promedio el más bajo de este metal.

Para el año 2011 se aprecia valores más altos en los puntos R, que en los demás puntos FACH y CAP.

Tabla 19 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cadmio en sedimentos para el año 2011.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	3,18
R-25	3,31
R-10	3,03
R	2,58
R+10	2,8
R+25	2,71
R+50	2,47
FACH	2,28
CAP-10	2,16
CAP	1,97
CAP+10	2,67
CAP+25	0
CAP+50	0

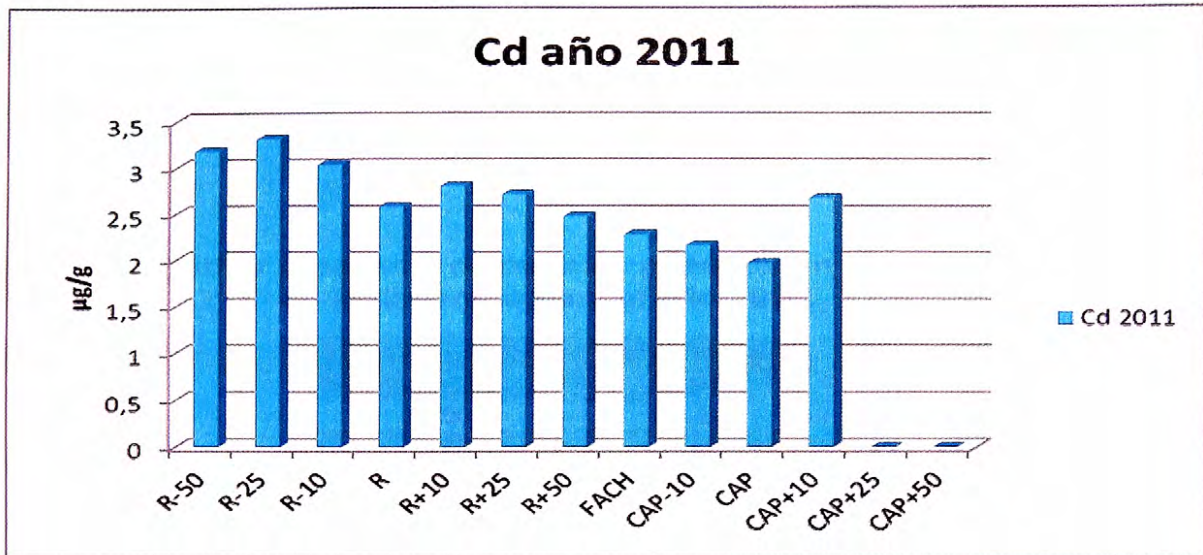


Fig. 17 Concentraciones promedio Cd vs Puntos muestrales para el año 2011.

Cobre

En este estudio los valores de Cu oscilaron entre $91,1 - 52,61 \mu\text{g g}^{-1}$, para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $66,64 \pm 11,22 \mu\text{g g}^{-1}$, los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-25, CAP-10, CAP0 y CAP+10, equivalentes a un 36,36%, del total de las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de $61,12 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río y además de la descarga de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de Cobre de forma de un aumento a medida que se aleja del punto de descarga, así también para la estación de muestreo FACH de un valor de $67,43 \mu\text{g g}^{-1}$. Para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de $77,09 \mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio Escudero, muestra una concentración mayor que en los puntos R y FACH.

Para el año 2011 se aprecia una tendencia alta definida en los niveles de concentración en los puntos CAP con respecto a los puntos R y FACH.

Tabla 20 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobre en sedimentos para el año 2011.

Estación de muestreo	promedio (µg/g)
R-50	59,62
R-25	72,3
R-10	60,67
R	61,12
R+10	57,16
R+25	59,29
R+50	52,61
FACH	67,43
CAP-10	91,1
CAP	77,09
CAP+10	74,59
CAP+25	0
CAP+50	0

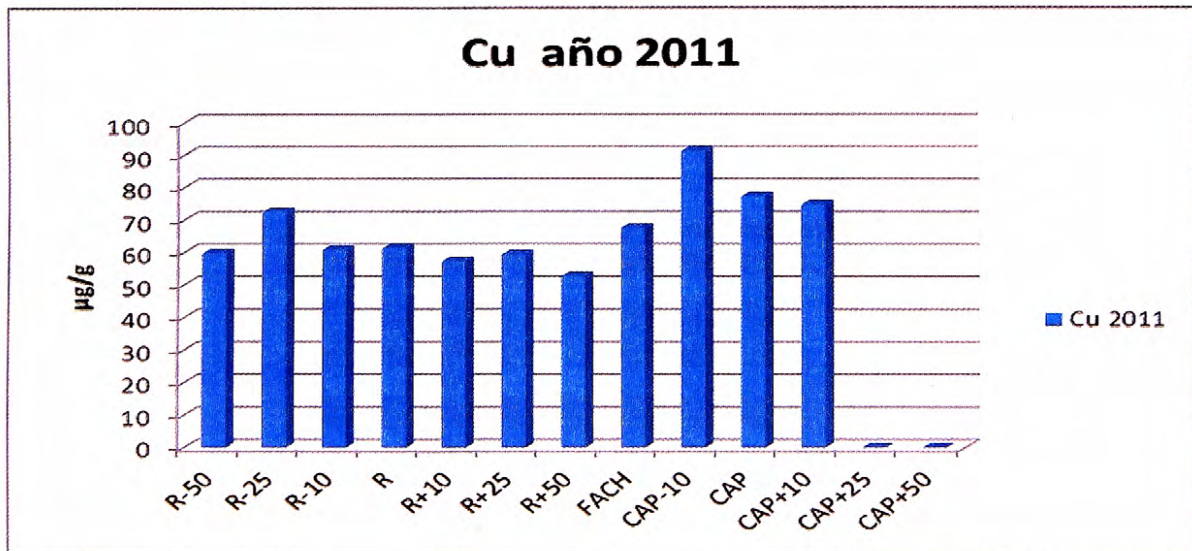


Fig. 18 Concentraciones promedio Cu vs Puntos muestrales para el año 2011.

Cromo

En este estudio los valores de Cr oscilaron entre 35,87 - 8,1 $\mu\text{g g}^{-1}$ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de $21,06 \pm 7,21 \mu\text{g g}^{-1}$ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-50, R-10, R0 y R+50, equivalentes a un 36,36%, de todas las estaciones de muestreo.

La estación de muestreo R0 de un valor de 22,06 $\mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de río y además la descarga de la Base Rusa (Bellingshausen), muestra una distribución de cromo de forma de oscilaciones, no así para la estación de muestreo FACH de un valor de 19,16 $\mu\text{g g}^{-1}$, siendo este valor de concentración promedio el más alto para este metal. Para la estación de muestreo CAP 0 de un valor de 19,72 $\mu\text{g g}^{-1}$, correspondiente a la descarga de la Capitanía de Puerto y Base Julio escudero muestra una distribución de cromo de forma muy parecida a las anteriores, un aumento a medida que se aleja del punto de descarga y con oscilaciones.

Tabla 21 Resultados presencia de metales pesados en Bahía Fildes. Cobre en sedimentos para el año 2011.

Estación de muestreo	promedio ($\mu\text{g/g}$)
R-50	23,21
R-25	16,12
R-10	29,76
R	22,61
R+10	20,3
R+25	16,78
R+50	35,87
FACH	19,16
CAP-10	20
CAP	19,72
CAP+10	8,1
CAP+25	0
CAP+50	0



Fig. 19 Concentraciones promedio Cr vs Puntos muestrales para el año 2011.

En general se destaca que existe una predominancia de metales Fe, Co, Cd y Cr, en la zona de descarga de río y también de descarga de la base rusa de los sectores de muestreo R-50, R-25, R-10, R0, R+10, R+25 y R+50, como también existe una predominancia de metales Fe, Zn, Cu, hacia los sectores de CAP-10, CAP0, CAP+10, CAP+25 y CAP+50.

V.4. Variación de las concentraciones de Metales pesados para el año 2010-2011, para los 13 puntos de muestreo, comparando cada punto correspondiente.

A continuación se da a conocer el análisis de la variación de las concentraciones de metales pesados para el año 2010-2011. Esta se realizara mediante la presentación de un grafico comparativo y se analizaran los cambios de un año a otro para cada estación de muestreo.

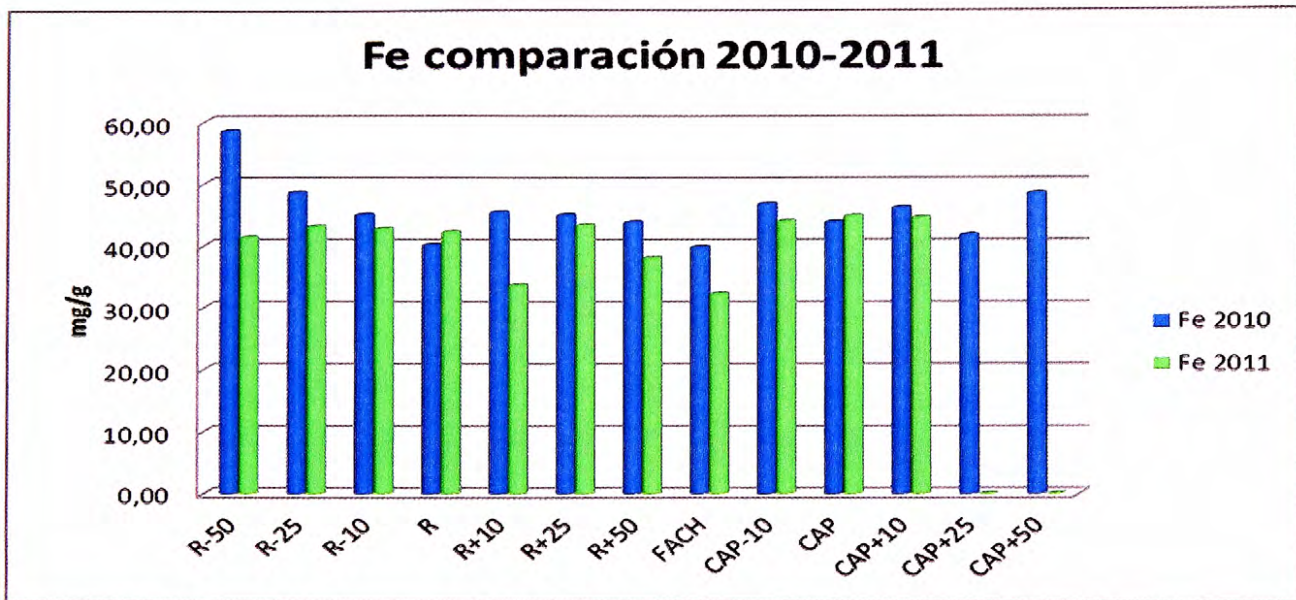


Fig. 20 Concentraciones promedio Fe del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Para el Fe en general se observa una disminución en las concentraciones de las estaciones de muestreo del año 2010 al 2011. De un total de 11 estaciones de muestreo comparadas, hay una disminución en un 81,82%, equivalente a 9 estaciones de muestreo, las estaciones de muestreo que disminuyeron son R-50 en 29,34%, R-25 en 11,24%, R-10 en 5,02%, R+10 en 25,92%, R+25 en 3,74%, R+50 en 13,11%, FACH en 18,86%, CAP-10 en 5,97% y CAP+10 en 3,33%. Por otra parte se observó un aumento en 2 estaciones de muestreo, R0 en un 5,28 % y CAP0 en un 2,36%.

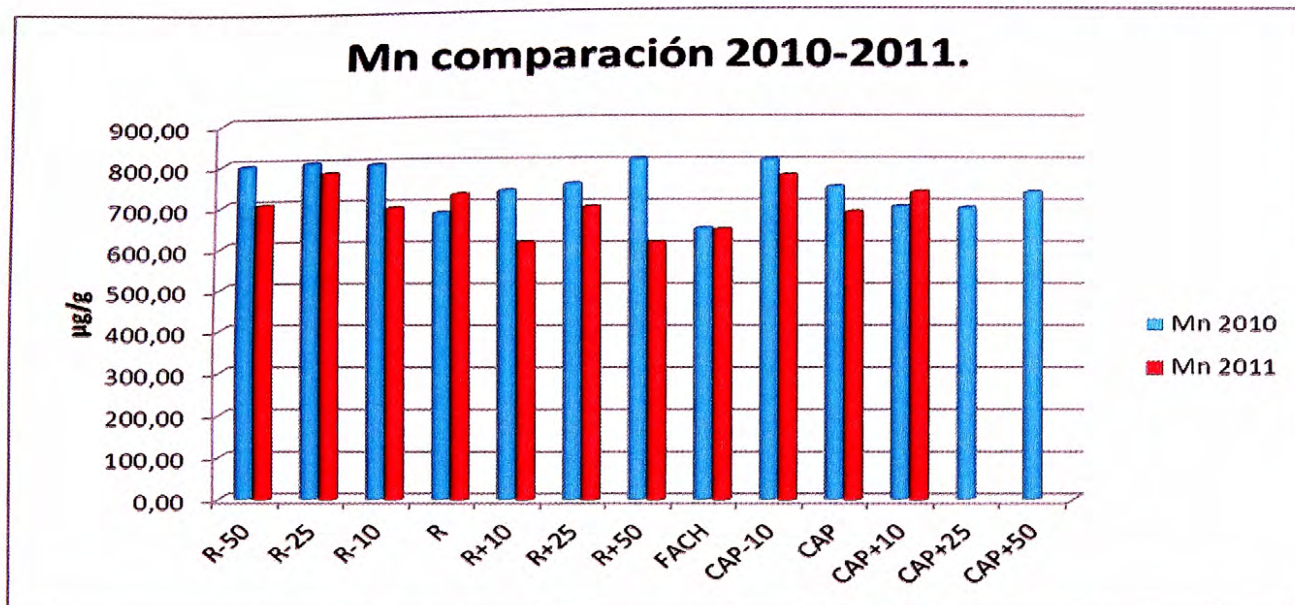


Fig. 21 Concentraciones promedio Mn del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Con respecto al Mn en general se observa una disminución en las concentraciones de las estaciones de muestreo del año 2010 al 2011. De un total de 11 estaciones de muestreo comparadas, hay una disminución en un 81,82%, equivalente a 9 estaciones de muestreo, las estaciones de muestreo que disminuyeron son R-50 en 11,95%, R-25 en 3,25 %, R-10 en 13,21%, R+10 en 17,04%, R+25 en 7,4%, R+50 en 24,54%, FACH en 0,45%, CAP-10 en 4,59% y CAP0 en 8,09%. Por otra parte se observó un aumento en 2 estaciones de muestreo, R0 en un 6,53 % y CAP+10 en un 5,08%.

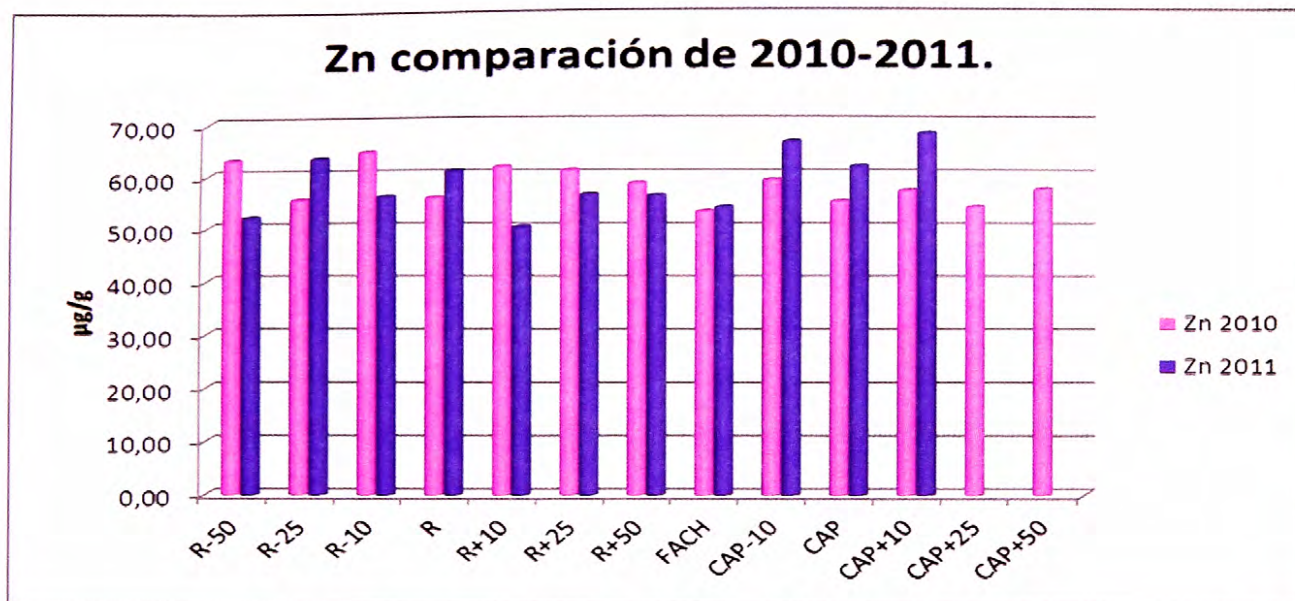


Fig. 22 Concentraciones promedio Zn del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Para el Zn en general se observa una disminución en la mitad de las concentraciones de las estaciones de muestreo del año 2010 al 2011. De un total de 11 estaciones de muestreo comparadas, hay una disminución en un 45,45%, equivalente a 5 estaciones de muestreo, las estaciones de muestreo que disminuyeron son R-50 en 17,55%, R-10 en 13,24%, R+10 en 18,36%, R+25 en 7,46% y R+50 en 4,05%. Por otra parte se observó un aumento en 6 estaciones de muestreo, R+25 en un 14,16 %, R0 en un 8,83%, FACH en un 1,33%, CAP-10 en un 12,01%, CAP0 en un 11,8% y CAP+10 en un 18,68%.

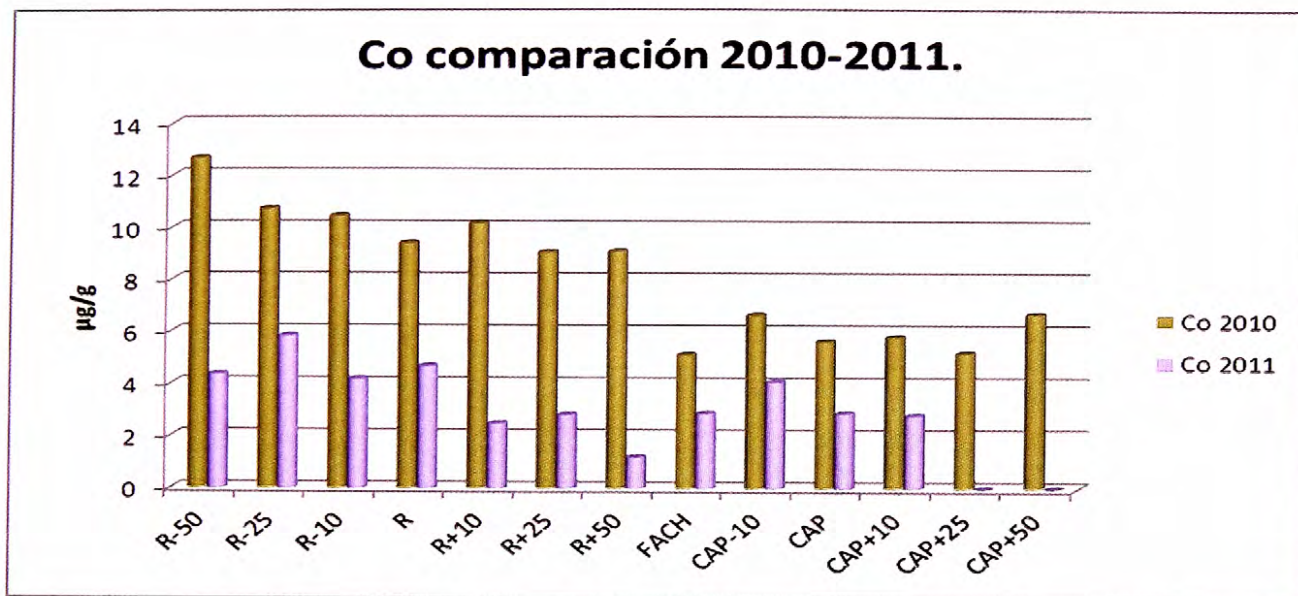


Fig. 23 Concentraciones promedio Co del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Para el Co se observa una disminución en las concentraciones de todas las estaciones de muestreo del año 2010 al 2011. De un total de 11 estaciones de muestreo comparadas, hay una disminución en un 100%, equivalente a las 11 estaciones de muestreo, las disminuciones son R-50 en 65,56%, R-25 en 45,51%, R-10 en 59,79%, R0 en 50%, R+10 en 75,44%, R+25 en 68,72%, R+50 en 86,78%, FACH en 43,66%, CAP-10 en 38,25% y CAP0 en 48,67% y CAP+10 en 51,47%.

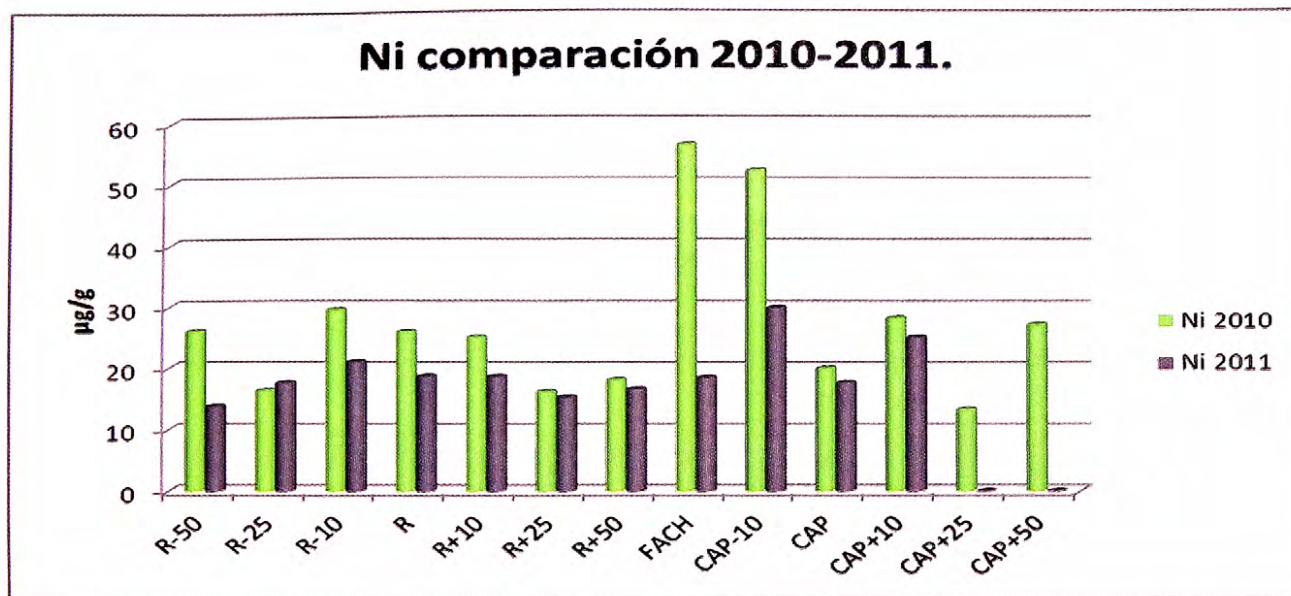


Fig. 24 Concentraciones promedio Ni del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Para Ni en general se observa una disminución en las concentraciones de las estaciones de muestreo del año 2010 al 2011. De un total de 11 estaciones de muestreo comparadas, hay una disminución en un 91%, equivalente a 10 estaciones de muestreo, las estaciones de muestreo que disminuyeron son R-50 en 47%, R-10 en 28,86%, R0 en 27,98%, R+10 en 25,67%, R+25 en 5,85%, R+50 en 8,69%, FACH en 67,15%, CAP-10 en 42,75%, CAP0 en 11,96% y CAP+10 en 11,27%. Por otra parte se observó un aumento en la estación de muestreo, R-25 en un 7,59 %.

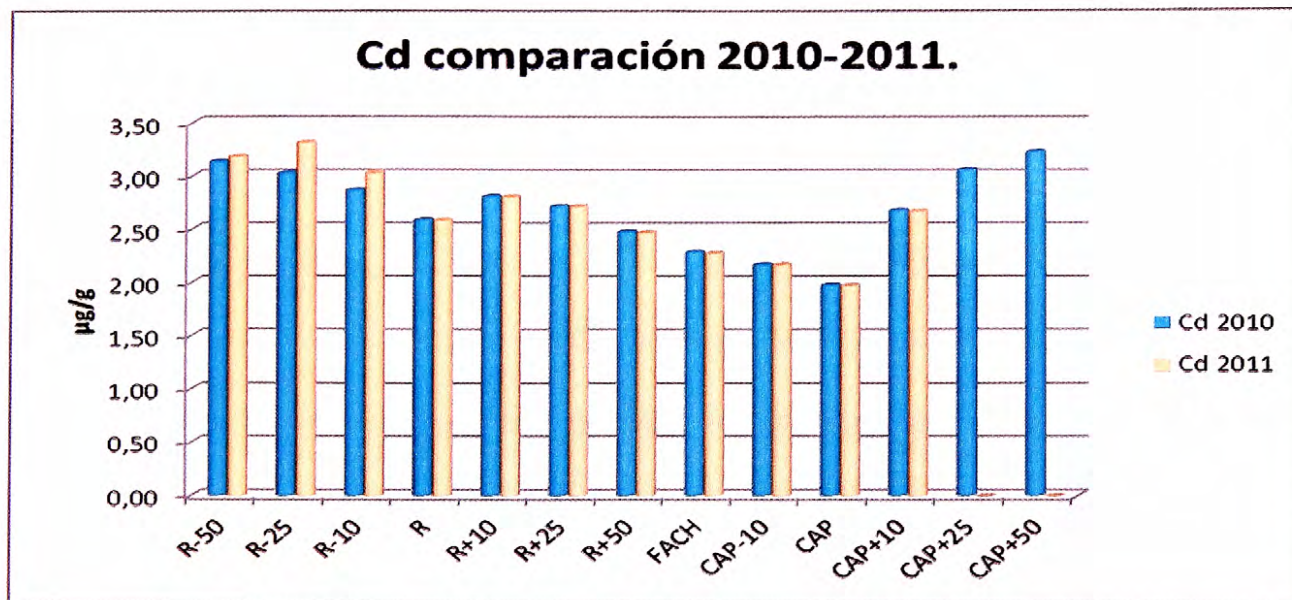


Fig. 25 Concentraciones promedio Cd del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Para el Cd se observa un aumento en las concentraciones de las primeras estaciones de muestreo R-50 en un 1,73%, R-25 en un 9,73% y R-10 en un 5,82%, del año 2010 al 2011. Para las otras estaciones de muestreo se observa la misma concentración en cada punto de muestreo para el año 2010-2011. Esto es debido a que el límite de detección del Cd determinado en este estudio, nos señala que lo mínimo que puede medir el equipo es 0,0098041mg/l, es decir para concentraciones menores o cercanos al límite de detección el equipo medirá valores mayores o iguales a 0,0098041mg/l aproximadamente, lo cual no es la realidad esto indica que la metodología no es recomendable para medir este tipo de metal.

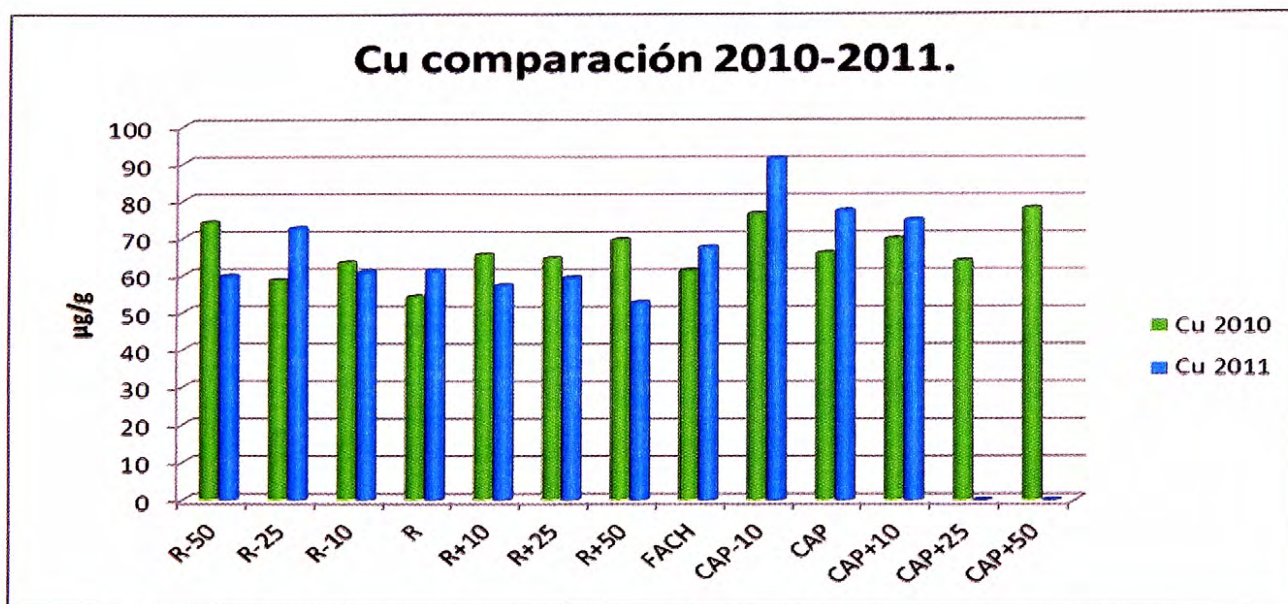


Fig. 26 Concentraciones promedio Cu del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Para el Cu en general se observa una disminución en la mitad de las concentraciones de las estaciones de muestreo del año 2010 al 2011. De un total de 11 estaciones de muestreo comparadas, hay una disminución en un 45,45%, equivalente a 5 estaciones de muestreo, las estaciones de muestreo que disminuyeron son R-50 en 19,23%, R-10 en 3,68%, R+10 en 12,34%, R+25 en 7,78% y R+50 en 24,11%. Por otra parte se observó un aumento en 6 estaciones de muestreo, R+25 en un 23,86 %, R0 en un 13,23%, FACH en un 10,50%, CAP-10 en un 19,44%, CAP0 en un 17,28% y CAP+10 en un 7,34%.

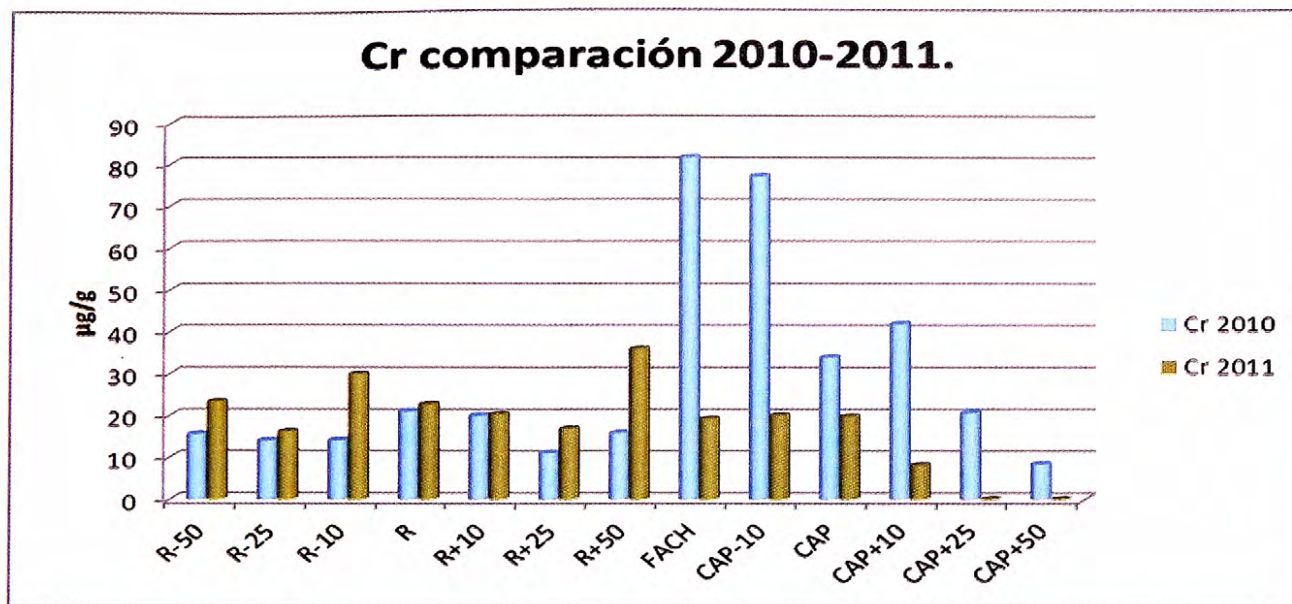


Fig. 27 Concentraciones promedio Cr del año 2010 y 2011 vs Puntos muestrales.

Para el Cr en general se observa un aumento en las concentraciones de las estaciones de muestreo del año 2010 al 2011. De un total de 11 estaciones de muestreo comparadas, hay una disminución en un 36,4%, equivalente a 4 estaciones de muestreo, las estaciones de muestreo que disminuyeron son R-50 en 47%, R-10 en 28,86%, R0 en 27,98%, R+10 en 25,67%, R+25 en 5,85%, R+50 en 8,69%, FACH en 76,54%, CAP-10 en 74,09%, CAP0 en 41,88% y CAP+10 en 80,66%. Por otra parte se observó un aumento en las estaciones de muestreo, R-50 en un 48,78 %, R-25 en 14,21%, R-10 en 109,43 (más que el doble de su promedio) R0 en 7,16%, R+10 en 1 %, R+25 en 49,96 y R+50 en 125,6% (más que el doble de su promedio).

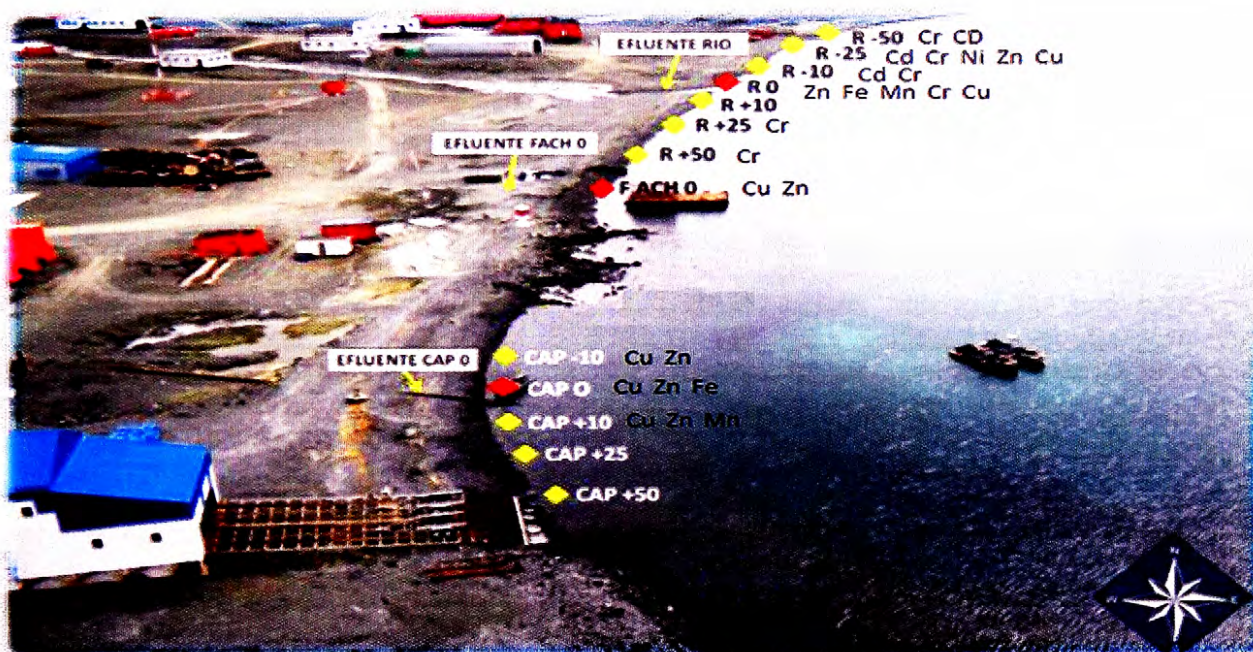


Fig. 28 Representación del aumento de metales por estación de muestreo del año 2010 al 2011.

Después de observar las variaciones en los gráficos anteriores se destaca que para los dos años (2010-2011) existe un mismo patrón secuencial de las concentraciones de metales pesados $Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Co > Cd$, pero una distribución de metales diferente para cada año.

El año 2010 presenta una distribución de metales Fe, Mn, Co y Zn en mayor proporción (respecto a su promedio) hacia la zona noreste en las áreas cercanas de la descarga de R0, así como también tenemos una distribución de metales Ni, Cr y Cu en mayor proporción (respecto a su promedio) hacia la zona sureste en las áreas cercanas las descargas descarga FACH y CAP0.

El año 2011 tenemos una distribución de metales Fe, Co, Cd y Cr en mayor proporción (respecto a su promedio) hacia la zona noreste en las áreas cercanas de la descarga de R0, así como también tenemos una distribución de metales Fe,

Zn y Cu en mayor proporción (respecto a su promedio) hacia la zona sureste en las áreas cercanas a las descargas FACH y CAP0.

Esto podría indicar causas naturales o antropogénicas, es importante mencionar que la distribución de los metales en los sedimentos es manejado por procesos dinámicos, tales como corrientes dominantes, tiempo de residencia de las aguas en la bahía, procesos de sedimentación recientes y cambios en las condiciones fisicoquímicas del área.

Por ejemplo en el año 2011 tenemos un aumento de Cu, en las descargas de FACH y CAP 0. Las altas concentraciones de cobre podría explicarse teniendo en cuenta la naturaleza de los sedimentos estudiados los cuales fueron producidos por la erosión glaciaria de rocas volcánicas (principalmente basáltica y andesíticas) (Cheng Zhu et al. 1996).

Por ejemplo, el hierro es un macro elemento y no es casualidad que se encuentre en grandes proporciones, (Viarengo, A. 1985) señala, que por encontrarse en grandes proporciones en la corteza terrestre, las concentraciones de hierro suelen incrementarse en los ambientes acuáticos durante los períodos de lluvia debido a la influencia de los ríos, los cuales constituyen una de las vías de transporte, además el hierro es distribuido por todo el mundo siendo el metal más abundante, pero también considerado menos tóxico entre los metales estudiados, lo antes mencionado señala las posibles causas naturales.

Las causas de la distribución de los metales de bahía Fildes puede estar relacionada con el tipo de actividad (causas antropogénicas) que se registra en las áreas cercanas a las estaciones de muestreo. En el área comprendida entre las estaciones CAP+50 y CAP-10 (localizadas al suroeste de la Bahía) se destacan

las actividades realizadas por Capitanía de Puerto de Bahía Fildes tales como carga y descarga de suministros para la base, movimientos de zodiacs, carga y descarga de pasajeros por el turismo. En la costa en área cercanas a FACH-0 y R+25, cercano al borde costero, se encuentran variadas estructuras metálicas abandonadas, las cuales permanecen en ese lugar con la finalidad de ser retiradas por los remolcadores chilenos que trasladan desechos hacia el continente. Estos son indicios de la poca conciencia que hubo en este ecosistema cuando los países competían en la carrera científica antes de la entrada en marcha del protocolo de Madrid (Ocampo N., 2010).

En el año 2010 hubo un accidente, específicamente un derrame de combustible en el sector de la base rusa, lo cual podría explicar de alguna forma los valores tan altos de ciertos metales, pero hay que considerar que en el año 2011 hay una notable disminución de concentraciones de metales pesados en la mayoría de las estaciones de muestreo. Esto se podría explicar, porque el agua constantemente se está renovando y mezclándose produciéndose una dilución continua de los contaminantes en los sedimentos, también el mismo movimiento natural de sedimentos, las plantas de tratamiento mejoradas de efluentes, ya que existen procesos dinámicos y químicos del área que podrían explicar esta notable disminución.

Para el año 2010 y 2011, en las bases chilenas se implemento un nuevo sistema de tratamiento que incluye desinfección con ultravioleta e infiltración en la costa.

V.5. Materia Orgánica 2009-2010-2011

En la siguiente sección se presentan los resultados correspondientes a la determinación de materia orgánica en sedimentos superficiales de 13 estaciones de muestreo distribuidas en el borde costero de la Bahía Fildes para los años 2009-2010-2011. Se destaca que los resultados de los años 2009 y 2010 fueron obtenidos por estudios anteriores. Los resultados para sedimento son expresados en concentración de materia orgánica (mg/g). Para fines de análisis tomaremos cada año y estudiaremos el comportamiento de los niveles de cantidad de materia orgánica según punto muestral.

V.5.1.Muestras año 2009

En este estudio los valores de MO oscilaron entre 26,0126 – 10,0538 mg g⁻¹ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de 15,4785 mg g⁻¹ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R+25, R+50, CAP+25 y CAP+50.

Tabla 22 concentraciones de materia orgánica por estaciones de muestreo para el año 2009.

AÑO 2009 Estación Muestreo	Materia Orgánica mg/g
R-50	15,53497085
R-25	12,08999408
R-10	10,05388313
R	11,03292173
R+10	15,39562537
R+25	26,01265079
R+50	25,60126633
FACH	13,41550585
CAP-10	11,92338691
CAP	14,24076587
CAP+10	13,46799199
CAP+25	16,24545196
CAP+50	16,20660273

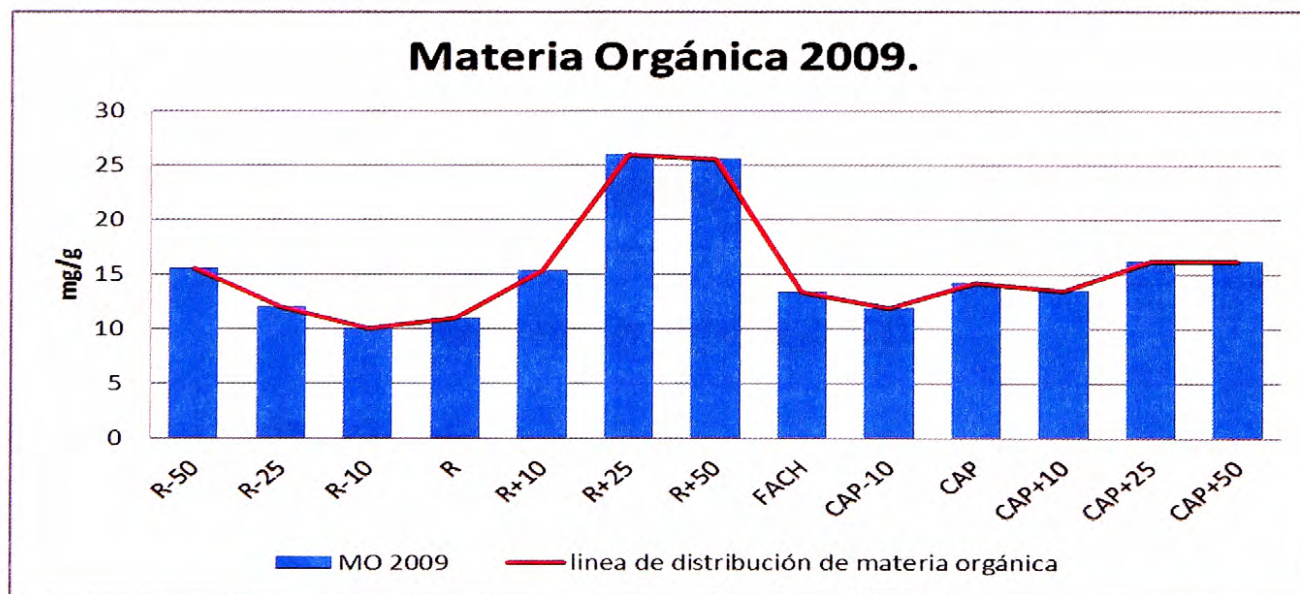


Fig. 29 Concentraciones MO vs estaciones de muestreo para el año 2009.

V.5.2. Muestras año 2010

En este estudio los valores de MO oscilaron entre 29,5434 – 15,4617 mg g⁻¹ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de 23,0833 mg g⁻¹ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R-25, R-10, R0, R+10, R+50 y CAP+10.

Tabla 23 concentraciones de materia orgánica por estaciones de muestreo 2010

AÑO 2010 Estación Muestreo	Materia Orgánica mg/g
R-50	23,69580154
R-25	29,54343466
R-10	27,67782641
R	27,99588967
R+10	24,39424297
R+25	19,83118905
R+50	27,24769457
FACH	19,69285226
CAP-10	20,077021
CAP	18,57068576
CAP+10	27,25422012
CAP+25	15,46179242
CAP+50	18,64064934

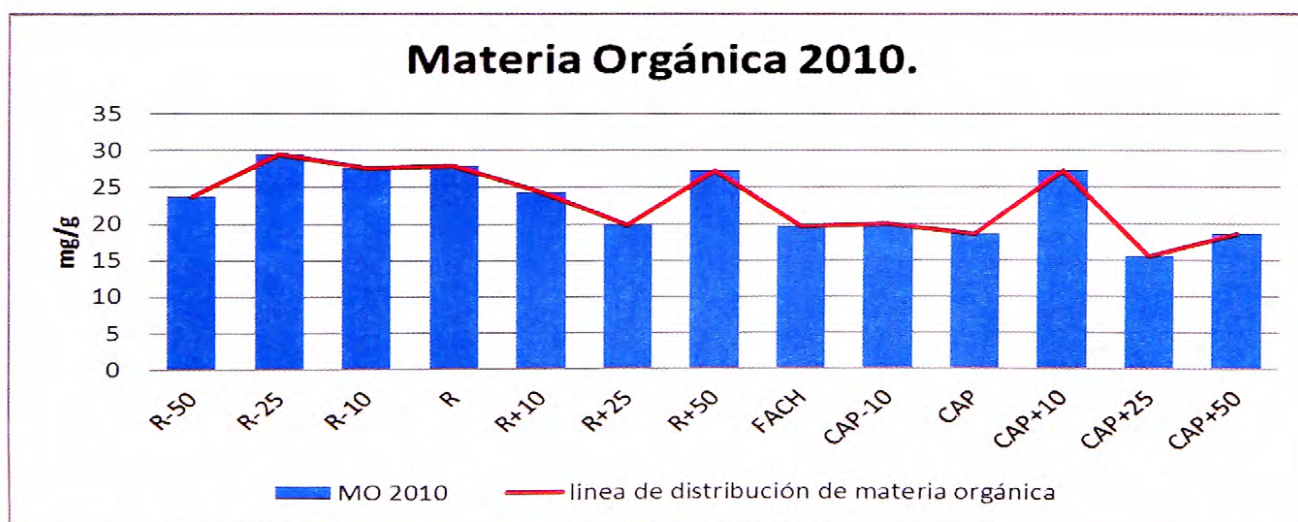


Fig. 30 Concentraciones MO vs estaciones de muestreo, para el año 2010.

V.5.3. Muestras año 2011

En este estudio los valores de MO oscilaron entre 23,6234 – 11,2719 mg g⁻¹ para un valor promedio de las estaciones de muestreo de 16,6236 mg g⁻¹ los valores más altos corresponden a las estaciones de muestreo R0, R+10, R+25 y R+50.

Tabla 24 concentraciones de materia orgánica por estaciones de muestreo 2011.

AÑO 2011 Estación Muestreo	Materia Orgánica mg/g
R-50	12,00435795
R-25	11,27199688
R-10	13,94953785
R	21,30914763
R+10	22,54872564
R+25	23,62346358
R+50	19,92740944
FACH	16,71197825
CAP-10	12,28152575
CAP	14,15363087
CAP+10	15,07758759
CAP+25	-----
CAP+50	-----

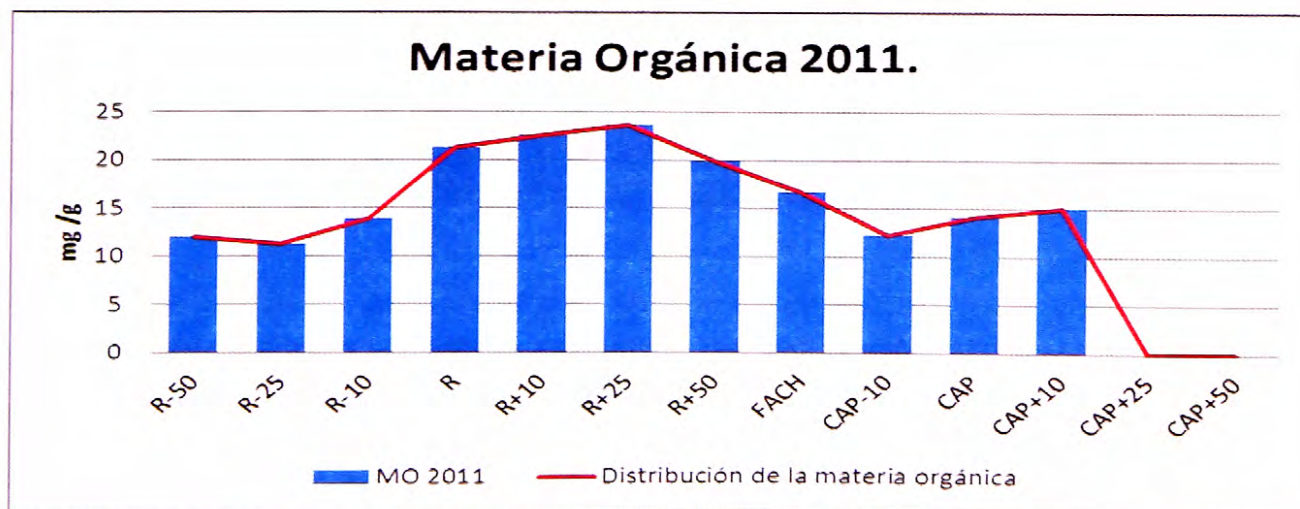


Fig. 31 Concentraciones MO vs estaciones de muestreo, para el año 2011.

V.6. ANALISIS ESTADISTICO

A continuación se resume el análisis estadístico realizado a los resultados de metales Fe, Mn, Zn, Co, Ni, Cd, Cu, Cr y materia orgánica de los sedimentos de bahía Fildes, para los años 2009-2010-2011.

Primero, para validar los datos y determinar diferencias en las concentraciones de metales en las diferentes estaciones, se aplicó análisis de correlación de Pearson, con un nivel de significancia $P < 0,05$. El análisis estadístico de correlaciones binarias y rango de confiabilidad, permite establecer la afinidad existente entre los elementos encontrados Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd, Co y materia orgánica MO, presentes en los sedimentos de Bahía Fildes

Tabla 25 Matriz de Correlación de Pearson ($P < 0,05$) entre metales y materia Orgánica en los sedimentos de los años 2009-2010-2011.

	M.org	Fe	Mn	Zn	Co	Ni	Cd	Cu	Cr
M.org	1								
Fe	0.028971	1							
Mn	0.086122	0.631684	1						
Zn	0.000212	0.360987	0.313509	1					
Co	0.047145	0.562514	0.217584	0.090671	1				
Ni	0.115772	0.037619	0.115772	0.008186	0.002976	1			
Cd	0.000620	0.076148	0.026349	0.001668	0.099737	0.112395	1		
Cu	0.010474	0.467430	0.704116	0.263189	0.058310	0.183542	0.047144	1	
Cr	0.050713	0.002620	0.004522	0.006415	0.056784	0.537525	0.196020	0.021727	1

El hierro posee un patrón específico de distribución espacial, considerando que su concentración fue mayor (en un orden de magnitud) que los otros metales a lo largo de toda la zona estudiada, este hecho se relaciona con hierro condición de "elemento abundante" (Aristide Márquez et al., 2008), y proporciona un buen

punto de inicio para interpretar el contexto natural de los metales en los sedimentos superficiales. La afinidad existente entre Fe-Mn-Co implica que estos metales están controlados por procesos similares y provendrían de una fuente más bien natural (fenómenos de erosión) como señala (Santos, I., et al 2000), así como también la afinidad de Mn-Cu.

Para Zinc y Cadmio no se encontró ninguna correlación con los metales determinados en este estudio, en la correlación de Cr-Ni se observa que tienen un patrón en común, es probable que las características de estos ambientes y las características propias de estos metales podrían ser las variables que expliquen en parte estos patrones. Ramón Ahumada (1992), señala que el Cr y Ni y su comportamiento estaría determinado por características químicas derivadas de su estado de oxidación, además en las arenas gruesas y medias poseen una mayor concentración de Cr y Ni.

Respecto a la relación del hierro con cualquier otro metal formará una tendencia lineal, lo contrario podría ser significativo de una contaminación de tipo antrópico, como es el caso del Zinc y cromo. Para cadmio las mediciones estuvieron por debajo o muy cercana del límite de detección, lo cual no fue posible medir con certeza su concentración en la matriz sedimento con la metodología aplicada.

Para la materia orgánica no arrojo ninguna correlación con ninguno de los metales estudiados. Es relevante mencionar que la materia orgánica es un parámetro importante, ya que la mayor parte de los metales en los efluentes llegan al mar como cationes con una alta capacidad para formar complejos estables con la materia orgánica es de importancia para reaccionar con el material orgánico

particulado disuelto, formando núcleos de concentración de metales, por ejemplo Ahumada R. *et al.* (1992), han informado que el cobre tiene una alta capacidad de formar complejos con la materia orgánica disuelta. Su capacidad es de dos a tres veces la del Ni; de hecho ha demostrado que las formas predominantes del cobre en agua de mar es bajo la forma de complejos orgánicos.

Se debe considerar que los índices determinados de materia orgánica son de concentraciones no muy abundante, lo cual podría explicar la poca correlación con ciertos metales.

Respecto si existe contaminación de metales pesados en bahía Fildes, tenemos los valores más altos de metales para Fe y Mn, pero no son considerados buenos indicadores de contaminación (Márquez A, *et al* 2008) Todo lo contrario para el Cu, Cr y Ni, metales considerados buenos indicadores de actividades antropogénicas. Dada esta aseveración nos encontramos frente a un aumento de Zinc de un 54,55% para el año 2011 y un aumento de Cromo de un 63,3% para el mismo año, en el total de las estaciones de muestreo (11 estaciones), entonces si hay o no hay contaminación en bahía Fildes depende de ciertos criterios como por ejemplo: lo ideal es contar con un valor "background", el cual se obtiene en un área cercana sin presencia antropogénica, es decir de características normales, para así compararlo con los resultados obtenidos y dimensionar el aumento de las concentraciones de metales pesados, otro criterio es verificar los valores obtenidos con valores de zonas cercanas o de características similares a este sitio.

Una comparación se realizó con el objetivo de establecer una referencia de los niveles encontrados en el presente estudio, en la tabla N° 26 se presentan resultados de las concentraciones registradas por diversos autores y las obtenidas

en este estudio. Al analizar la tabla N° 26, se destaca que las concentraciones promedio obtenidas en este estudio tanto para el año 2010 y 2011, de Fe, Mn, Zn, Ni, Cu y Cr, siguen el mismo patrón de similitud (Fe>Mn>Cu>Zn>Cr) con los valores en el estudio de Santos et al. (2005), de Bahía Almirantazgo (AB, KGI), pero en general para esta comparación indica una disminución en las concentración de metales con porcentajes que van de Fe (30%), Zn (35%), Cu (28%) y Cr (7%), y un aumento en los metales en porcentajes de Mn (16%) y Ni (63%), para el año 2010. Para el 2011 esta comparación indica una disminución en las concentraciones de metales con porcentajes que van de Fe (37,4%), Zn (35%), Cu (28%) y Cr (32%), y un aumento en los metales en porcentajes de Mn (10%) y Ni (48%).

En el caso de Potter Cove, Andrade (2001), sigue este patrón de niveles de concentración Fe>Mn>Cu>Zn>Cr un tanto parecida a la de este estudio, comparándolas con 2010 arroja que este estudio obtuvo un aumento en Fe (70%), Zn (10%), y Cr (78,3), y una disminución en Mn (22,4%) y Cu (43,2%), caso similar para el 2011 con un aumento en Fe (68%), Zn (10,4%), y Cr (74%), y una disminución en Mn (28%) y Cu (43%).

En el caso de Jubany Station Alam & Sadiq (1993), sigue este patrón de niveles de concentración Fe>Mn>Zn>Cu>Cd>Cr, muy diferente al patrón de este estudio, comparándolas con 2010 arroja que este estudio obtuvo un aumento en Fe (24,2%), Mn (21%), Cu (27%), Cr (96,2%), y una disminución en Zn (24%) y Cd (86%), caso similar para 2011 con un aumento en Fe (68%), Mn (15%), Cu (27%), Cr (95%), y una disminución en Zn (24%) y Cd (86%).

En el área entre marea (KGI) Lenihan et al (1990), sigue un patrón de concentración de metales de esta manera Fe>Mn>Cu>Zn>Ni>Cd>Cr, diferente a

este estudio, comparándolas con el año 2010, se aprecia un aumento para Fe (48%), Mn (62,3%), Zn (19,2), Ni (58%), Cu (22%) y Cr (91%), y una disminución de Cd (73,4%), caso similar para 2011 con un aumento en Fe (42%), Mn (60%), Zn (19%), Ni (40,5%), Cu (22%) y Cr (88%), y una disminución de Cd (73%).

Para el área de Puerto Collins (CH, KGI) Ahn et al. (1996), sigue un patrón de concentración de metales de esta manera Fe>Mn>Cu>Zn>Ni>Cr, diferente a este estudio, comparándolas con el año 2010, se aprecia un aumento para Fe (47%), Mn (14,01%), Ni (44%) y Cr (74%), y una disminución Zn (16%) y Cu (14%), caso similar para 2011 con un aumento en Fe (41%), Mn (8%), Ni (20,3) y Cr (64%), y una disminución Zn (15%) y Cu (13,4%).

Para finalizar, Bahía Fildes tiene valores cercanos de concentración de metales que Bahía Almirantazgo, poseen un similar patrón de concentración de metales (Fe>Mn>Cu>Zn>Cr), esto se asume por los resultados obtenidos y comparados en este estudio, lo cual nos señala que el sedimento de ambas bahías tienen cierta relación de ciertos factores ya sea natural o antropogénico o su composición (Rocas volcánicas), y también el hecho que sea un área descubierta favorece que ejerzan con mayor intensidad factores climáticos (lluvias), lo cual podrían ocasionar erosión lo cual explicaría los altos valores de Fe en comparación con los otros estudios citados en la tabla N° 26,.

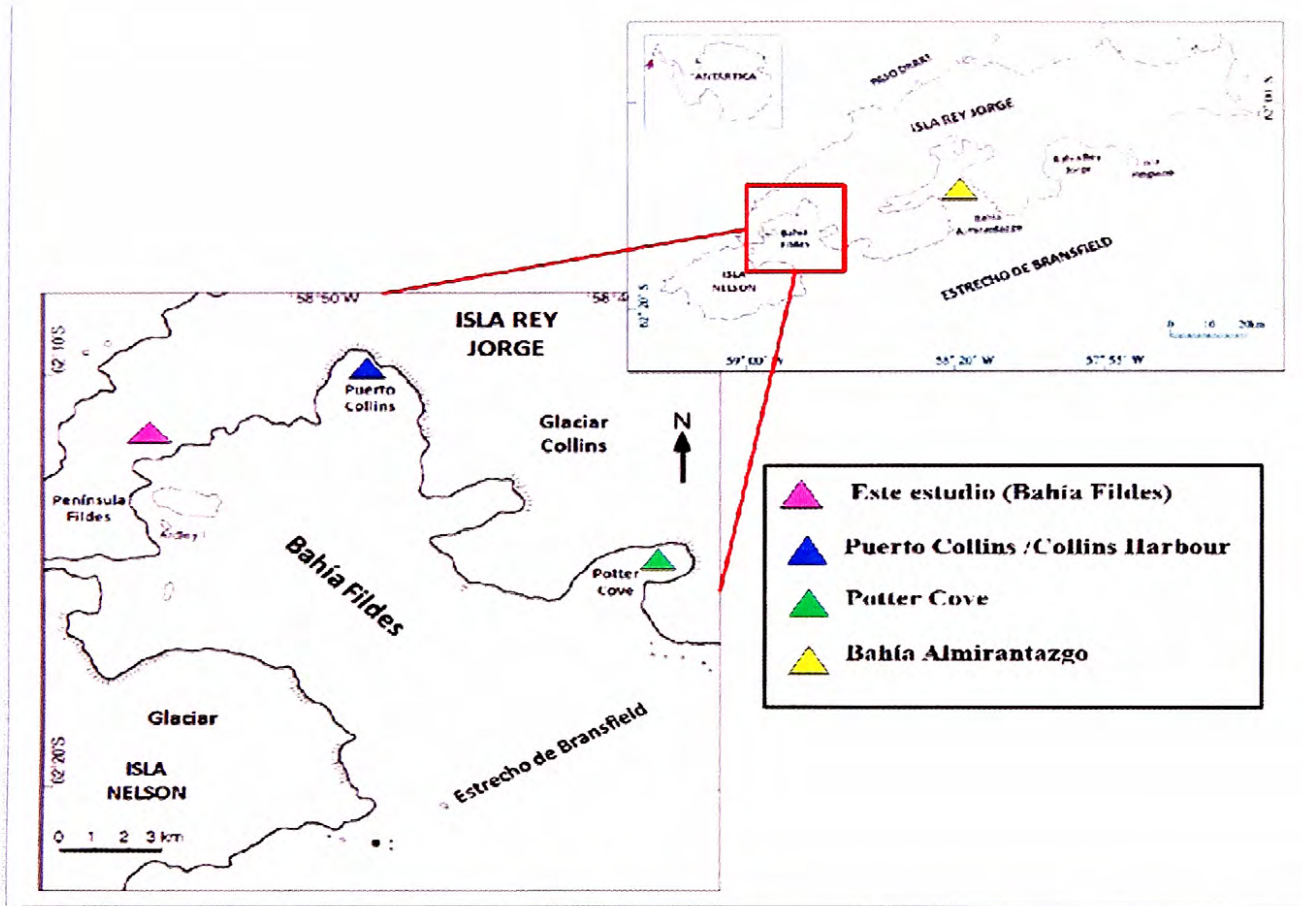


Fig. 32 Mapa geográfico de Bahía Fildes representando las principales estaciones de investigación científica permanente y las estacionales (Ocampo N, 2010)

Tabla 26 Comparación de metales pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) en sedimentos de Bahía Fildes con sedimentos de otras áreas Antárticas. (Fe en mg g^{-1}).

Autor	Matriz lugar	Fe	Mn	Zn	Co	Ni	Cd	Cu	Cr
Andrade (2001)	Potter Cove	13,2	960	52,47			ND	116,79	6,27
Alam & Sadiq (1993)	Jubany Station	34,47	590	76,7			19,2	48,6	1,1
Lenihan et al (1990)	Área entre marea (KGI)	23,7	280	47		11,5	10,1	52	2,6
Santos et al. (2005)	Bahía Almirantazgo (AB, KGI)	64,7	624	89		10,1		92	31
Ahn et al. (1996)	Puerto Collins (CH, KGI)	24,2	640	69		15,4		77	7,6
Ocampo (1999)	Bahía Fildes	47,04	648	60,73	9,96	16,62	ND	56,82	27,68
Este estudio (2010)	Bahía Fildes	45,48	744,3	58,19	8,19	27,26	2,69	66,27	28,93
Este estudio (2011)	Bahía Fildes	40,79	693,7	58,62	3,48	19,33	2,65	66,64	21,06

CAPITULO VI

VI.1. Conclusión

- Se cumplió el objetivo de determinar niveles de concentración de metales pesados Fe, Mn, Zn, Co, Ni, Cd, Cu y Cr utilizando la metodología de espectrofotometría de Absorción Atómica de llama de aire acetileno en sedimento marino costero de Bahía Fildes, para los años 2010-2011.
- Las concentraciones de la mayoría de los metales pesados de Bahía Fildes en las 11 estaciones de muestreo disminuyeron del año 2010 al 2011.
- Si bien los datos obtenidos para las distintas bases presentan variaciones en los resultados arrojados por las concentraciones de metales, en las campañas de muestreo del año 2010 al 2011, es difícil hablar de contaminación ya que no se contó con un valor "background" (blanco). Por lo tanto se recomienda el uso de un "background" para tener la certeza de la presencia de contaminación para futuros estudios.
- Al no contar con sedimento sin la presencia antropogénica, las conclusiones respecto a la contaminación requieren de estudios referenciales, que permitan comparar y afirmar si existe en la bahía Fildes enriquecimiento de Fe y Mn. Sin embargo, Fe y Mn no son considerados buenos indicadores de contaminación, por el contrario Cu, Ni y Cr si lo son. Al respecto, como

muestra valores elevados y cobre valores bajos en comparación de otros sitios antárticos

- Según el análisis estadístico de este trabajo el parámetro de materia orgánica no tiene correlación con ninguno de los metales de este estudio, es decir, no se puede relacionar la presencia de los metales en bahía Fildes con la materia orgánica. Otros autores señalan la afinidad de la materia orgánica con ciertos metales, lo cual se atribuye principalmente a la cantidad de materia orgánica y a la granulometría del sedimento que tiene la fracción. La cantidad de materia orgánica determinada en este trabajo fue poca si se compara con otros trabajos, respecto a la fracción recomendada para la determinación de la afinidad de la materia orgánica se utiliza generalmente fracciones <0,0063mm, lo cual para este trabajo se utilizó la fracción [0,0063-2mm], para análisis futuros se recomienda un estudio de granulometría con fracciones <0,0063mm del sedimento, para tener certeza de la afinidad de la materia orgánica con los sedimentos para esta Bahía.

- El estudio estadístico arrojó la correlación del Fe-Mn, Fe-Co y Cr-Ni, lo cual señala la afinidad entre estos metales y sus factores que expliquen su presencia, para los años 2009, 2010 y 2011.

- Las estaciones de muestreo de acuerdo a las descargas de efluentes en los años 2010 al 2011, señalan que las descargas de río R0 donde también descarga sus efluentes la base rusa, contiene presencia de Cr en las áreas

cercanas a este emisario. Las descargas FACH y CAP0 de base Frei y Capitanía de puerto base Julio Escudero, contiene presencia de Cu y Zn en las áreas cercanas a estos emisarios mayoritariamente.

- Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan una visión general de la concentración de metales pesados en los sedimentos superficiales de Bahía Fildes, Isla Rey Jorge, en la Antártida. Estos son de gran importancia teniendo en cuenta la escasez de datos sobre las concentraciones de metales dentro de esta área.

- No se logro determinar con claridad, niveles de concentración de Cd, utilizando la metodología de espectrofotometría de Absorción Atómica de llama de aire acetileno en sedimento marino costero de Bahía Fildes, ya que los resultados arrojados estuvieron muy cercanos o por debajo al límite de detección (0,0098041mg/l), por lo cual no son confiables para este estudio. Se recomienda utilizar la metodología de la técnica de horno de grafito.

CAPITULO VII

VII.1. Bibliografía

- Chuecas, L. (1989). Contaminación por metales pesados en el litoral de la región del Bío-Bío, Concepción, Chile: el caso del mercurio y el cadmio *Amb. y Des., Vol. V - N° 1: 137-145 Abril 1989.*
- Tin, T., & Roura, R. (2004). Environmental Reports of Fildes Peninsula: 1988-1997. ASOC.
- By Jie Chen & Hans-Peter (1995) Blume-Impact of Human Activities on the Terrestrial Ecosystem of Antarctica: Review (1995).
- Loring, D. (1991) Normalization of heavy metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES. J. Mar. Sci.* 48: 101-116. 1991
- Contreras, J., Mendoza, C. & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina, Republica Dominicana realizado por (2004). *pp 38-71.*
- Márquez A & Senior W & Martínez G & Castañeda J et al (2008), concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la laguna de Castillero, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XVIII, N° 2, 121 – 133.*
- Ahumada R (1992) patrones de distribución espacial de cr, ni, cu, zn, cd y pb, en sedimentos superficiales de bahía San Vicente, Chile. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso 27 (2): 265-282, noviembre de 1992.*
- Pineda V & Contardo X (2002). caracterización textural, mineralógica y geoquímica de los sedimentos del canal Beagle y bahía Nassau, XII región de Magallanes, Chile *crucero cimar-fiordo 3. Cienc. Tecnol. Mar, 25 (1): 5-21,*
- Santos I & Schaefer C, Manoel R. Albuquerque-Filho ^b, Lu´cia S. Campos ^c (2005) Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island, *Marine Pollution Bulletin 50 (2005) 185–194*
- Andrade S & Poblet A & Scagliola M & Vodopivec C & Curtosi A & Pucci A & Marcovecchio J. Distribution of heavy metals in surface sediments from an Antarctic marine ecosystem (*Received 16 June 1998; accepted 28 October 1999.*)

- Santos I & Déborah I.T & Fávaro C & Schaefer C, Emmanoel V & Silva-Filho (2007). Sediment geochemistry in coastal maritime Antarctica (Admiralty Bay, King George Island): Evidence from rare earths and other elements, *Marine Chemistry* 107 (2007) 464–474
- King George Island and SCAR Science, *Final Draft Rev. 1 11/25/08*
- Ocampo N (2010). Estudio de metales pesados (Fe, Mn, Zn, Pb, Ni y Cu) en sedimentos marinos costeros, algas intermareales y organismos de *Nacella concinna* en Bahía Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica Chilena.
- COMNAP, & SCAR. (2000). (Council of Managers of National Antarctic Programs & Scientific Committee on Antarctic). Antarctic Environmental Monitoring Handbook: "Standard Techniques for monitoring in Antarctica". 218.
- Rivera M (2010). Determinación de la influencia antropogénica en la calidad del agua de mar en las proximidades de bases Antárticas Chilenas
- Calisto N (2008), Estudio de Minerales y Elementos Traza en Macroalgas del Estrecho de Magallanes
- CHEMICONTROL, material científico para laboratorio. Madrid., pag, 11-16.
- Carballeira, A., Carral, E., Puente, X., & Villares, R. (1997). Estado de la Conservación de la costa de Galicia " Nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos intermareales". *Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico*.
- Ahumada, R. (1998). Metales Traza en los sedimentos: Una herramienta de Gestión Ambiental para la zona Costera. *Minería del Cobre, Ecología y Ambiente Costero* , 297-315.
- ASOC, (. a. (2007). A case study of Fildes Peninsula, King George Island. *XXX Antarctic Treaty Consultative Meeting: Implementing the Madrid Protocol*.
- Giordano, R & Lombardi, G & Ciaralli, L & Beccaloni, E & Sepe, A & Ciprotti, M., & otros. (1999). Major and trace elements in sediments from Terra Nova Bay, Antarctica. *The Science of the Total Environment* , 227, 29-40.
- J.C. Miller & J.N. Miller (1992). Estadística para química analítica, *addison-wesley iberoamericaca, segunda edición, pag 92-103*.
- Cheng Zhu, Zhijiu Cui, Jianxin Zhang. (1996). Relationship between the Distribution of Periglacial Landforms and Glaciation History, Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica. *Permafrost and Periglacial Processes, Vol7: 95-100 (1996)*.

- Viarengo A (1985). Biochemical effects of trace metals . *Mar. Poll. Bull.* 16 (4): 153-158. 1985.
- Rojas C (2009). Determinación e identificación de hidrocarburos en suelo de la base O'higgins.

ANEXO I

I.1. Procedimiento de tamizado

Los sedimentos fueron secados en estufa a 60°C hasta obtener peso constante y posteriormente se procedió a pesar aproximadamente 1 gramo de sedimento tamizado por muestra, registrando sus pesos.

Tabla 27 Tamizado y Cálculo del tamaño del Grano

Puntos	Inicial	> 2 mm	2 y 0,063 mm	< 0,063	% Grava	% Arena	% Fino
FACH	936,11	505,37	428,2	2,54	53,99	45,74	0,27
CAP-10	721,58	362,17	349,08	10,33	50,19	48,38	1,43
CAP0	543,64	231,2	294,34	18,1	42,53	54,14	3,33
CAP+10	853,75	413,15	399,59	41,01	48,39	46,8	4,8
CAP+25	784,23	294,38	431,55	58,3	37,54	55,03	7,43
CAP+50	476,66	153,48	228,43	94,75	32,2	47,92	19,88
R-50	669,01	234,4	427,08	7,53	35,04	63,84	1,13
R-25	610,54	78,64	520,33	11,57	12,88	85,22	1,9
R-10	855,81	245	597,11	13,54	28,63	69,77	1,58
R	914,85	490,85	423,05	0,95	53,65	46,24	0,1
R+10	758,98	376,76	381,64	0,58	49,64	50,28	0,08
R+25	825,62	375,5	448,26	1,86	45,48	54,29	0,23
R+50	831,88	420,04	410,56	1,28	50,49	49,35	0,15

I.2. Materiales, Equipos y Reactivos para determinación de metales

Los materiales y equipos utilizados durante este estudio para analizar las muestras de sedimento de Bahía Fildes son las siguientes:

I.2.1. Materiales

- Micropipeta 10-100µl
- Micropipeta 100-1000 µl
- Balanza analítica
- Estufa
- Pipeta total 2, 3, 5 ml
- Papel filtro N°42
- Matraces aforado de 100, 50 ml
- Desecador
- Tubos de digestión

I.2.2. Reactivos utilizados

- HNO₃
- H₂O₂ (30%)
- HCL
- Agua destilada

I.2.3. Equipos

- Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica Perkin Elmer Analyst 700. técnica de llama para mezcla de gas combustible (Acetileno-Aire)
- Bloque Digestor “Velp Scientifica DK 20 Heating Digestor”.
- Sistema de purificador de Agua Tipo I “Easy Pure”.
- Equipo de neutralización de gases scrubber.

I.3. Determinación de materia orgánica

I.3.1. Equipos y materiales especiales

- Mufla
- Crisoles o cápsulas de porcelana.
- Gradillas de acero inoxidable para los crisoles o cápsulas (no indispensables)

I.3.2. Procedimiento

- Colocar entre 5 y 10 g (exactitud 0,01 g) de sedimento seco al aire en un crisol o cápsula pre-pesado.
- Colocar en la mufla y calentar hasta 400°C. Una vez alcanzada la temperatura, mantenerla por 4 horas.
- Dejar enfriar en la mufla durante medio día, luego colocar en el desecador y pesar (exactitud 0,01 g)

Tabla 28 Concentraciones de metales pesados todos los metales están en unidades de $\mu\text{g g}^{-1}$ a excepción del Fe mg g^{-1} determinadas para el año 2010.

2010 Sector	Estación	Fe	Mn	Zn	Co	Ni	Cd	Cu	Cr
Noroeste de la Bahía	R-50	58,36	795,96	63,07	12,66	25,98	3,13	73,81	15,60
	R-25	48,39	802,53	55,45	10,70	16,34	3,02	58,37	14,11
	R-10	44,84	797,61	64,52	10,42	29,49	2,86	62,99	14,21
	R	40,00	680,76	55,83	9,38	25,95	2,58	53,98	21,10
	R+10	45,29	733,97	61,66	10,14	25,09	2,80	65,21	20,10
	R+25	44,88	750,09	60,96	9,05	16,24	2,71	64,29	11,19
	R+50	43,63	808,16	58,57	9,08	18,18	2,47	69,32	15,90
	FACH	39,66	643,01	53,27	5,13	56,32	2,28	61,02	81,67
	CAP-10	46,60	806,68	59,19	6,64	52,14	2,16	76,27	77,18
Estación central	CAP	43,66	741,76	55,16	5,63	20,06	1,97	65,73	33,93
Suroeste de la Bahía	CAP+10	46,00	694,51	57,22	5,79	28,21	2,67	69,49	41,89
	CAP+25	41,58	690,93	54,10	5,18	13,34	3,05	63,48	20,74
	CAP+50	48,30	729,43	57,50	6,67	27,10	3,22	77,61	8,50

Tabla 29 Concentraciones de metales pesados todos los metales están en unidades de $\mu\text{g g}^{-1}$ a excepción del Fe mg g^{-1} para el año 2011

2011 Sector	Estación	Fe	Mn	Zn	Co	Ni	Cd	Cu	Cr
Noroeste de la Bahía	R-50	41,24	700,84	52	4,36	13,77	3,18	59,62	23,21
	R-25	42,95	777,62	63,3	5,83	17,58	3,31	72,3	16,12
	R-10	42,59	692,26	55,98	4,19	20,98	3,03	60,67	29,76
	R	42,11	725,22	60,76	4,69	18,69	2,58	61,12	22,61
	R+10	33,55	608,92	50,32	2,49	18,65	2,8	57,16	20,3
	R+25	43,2	694,61	56,41	2,84	15,29	2,71	59,29	16,78
	R+50	37,91	609,84	56,2	1,2	16,6	2,47	52,61	35,87
	FACH	32,18	640,13	53,98	2,89	18,5	2,28	67,43	19,16
Estación central	CAP-10	43,82	769,62	66,3	4,1	29,85	2,16	91,1	20
	CAP	44,69	681,76	61,67	2,89	17,66	1,97	77,09	19,72
Suroeste de la Bahía	CAP+10	44,47	729,82	67,91	2,81	25,03	2,67	74,59	8,1
	CAP+25	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAP+50	0	0	0	0	0	0	0	0

I.4. Limite de detección de la técnica

La ACS (Subcommittee on Environmental Analytical Chemistry) clarifica el concepto establecido por la IUPAC del límite de (LDD) y lo define como el nivel de concentración más bajo de un analito que un proceso analítico nos permite detectar verazmente (LONG et al., 1983). Lo expresa de la siguiente manera, en unidades de concentración:

$$\text{LDD} = 3\sigma_b/m$$

Siendo σ_b la desviación estándar para la medida de diez blancos y m la pendiente de la recta de calibrado. Se utiliza como factor 3 para establecer un nivel de riesgo mínimo (nivel de confianza del 95%).

Este límite indica la menor concentración a la cual se puede realizar una detección cualitativa (distinguible del blanco), pero una determinación cuantitativa no es posible. Es importante destacar que esta expresión del límite de detección implica que la pendiente de la recta debe estar bien definida y que el valor de la ordenada en el origen es esencialmente cero.

Se debe evitar la confusión entre límite de detección de una técnica con su sensibilidad, la cual se define correctamente como la pendiente de una recta de calibración.

Dentro de un procedimiento analítico se distinguen dos límites de detección: el límite de detección instrumental o de la determinación, y el límite de detección del proceso global o del método.

Para realizar el estudio de ambos límites se prepara, para el primer caso, blancos reactivos (5% HNO₃), y para el segundo, blancos de muestra, es decir, sometidos a todo el proceso analítico.

Tabla 30 límites de detección de la metodología empleada para la medición de metales.

LDD	mg/l
Fe	11,3220238
Mn	1,1195668
Zn	0,37820515
Co	0,21126607
Ni	0,11173707
Cd	0,00980415
Cu	0,13959059
Cr	0,01879173

Tabla 31 Parámetros del espectrofotómetro

Metal	Longitud de onda (nm)	Flujo Aire (L/min)	Flujo Acetileno (L/min)
Fe	249	80	20
Mn	279,5	80	20
Zn	213,9	80	20
Co	240,7	80	20
Ni	232	80	20
Cd	228,8	80	20
Cu	324,8	80	20
Cr	231,2	80	20

