

ANEXO H

INFORME COMPLEMENTARIO ANALISIS DE CONCENTRACIONES METALES PESADOS EN MUESTRAS DE SUELO EN LOTES N° 64 Y N° 65

JUNIO 2018

RESUMEN

El presente informe analiza las concentraciones de metales pesados presentes post labores de limpieza realizadas en las Lotes N°64 y N°65, que fueron contactadas con aguas lluvias en contactadas con relave en el año 2015. Los sectores afectados corresponden al sector bajo cercano a la Quebrada Talhuén (lote N°64) y el segundo al cauce y sectores aledaños de la citada Quebrada (lote N°65), Comuna de Ovalle.

El análisis se realizada utilizando los resultados de la campaña de muestreo de suelos del 21.06.2018 y posterior análisis de laboratorio realizados por Algoritmos SpA, entidad ETFa que cuenta con las respectivas Certificaciones para estos fines. El muestreo de suelo se realizó en el área afectada determinada por ENAMI y limpiada con camión Super Sucker en el año 2016. Se tomaron 15 muestras seleccionadas al azar y una muestra “blanco” (testigo) para luego ser analizadas en laboratorio certificado.

Una vez recibido los informes de ensayos realizado a las 16 muestras de suelos tomadas y analizadas, el presente informe realiza comparación respecto a las muestra blanco como Tabla Kelley.

Los parámetros analizados corresponden a Humedad Porcentaje (%) Base Seca de cada punto de muestreo y puntos de blancos y las concentraciones en [mg/Kg] de los siguientes metales pesados: Arsénico; Bario; Cadmio; Cinc; Cobre; Cromo; Hierro; Magnesio; Manganeso; Mercurio; Molibdeno; Níquel; Plata; Plomo; Potasio; Selenio y Vanadio, todos componentes naturales de suelos de la zona. La metodología de muestreo y análisis de laboratorio utilizados por Entidad ETFa autorizada se ajustan a los estándares requeridos por SMA (Basado en Metodologías de análisis recomendados para los suelos de Chile. Rev. 2006 y análisis - Método de Análisis - ILAB-28 Rev. Basado en EPA 3050-B 1996, SM 2012, 3114-B).

INTRODUCCION

El presente informe complementa los resultados del servicio de “Descripción de los efectos negativos producidos por la infracción” del hecho N° 2, como parte del Programa de Cumplimiento (PdC) presentado por Empresa Nacional de Minería, frente a la formulación de cargos de la Superintendencia de Medio Ambiente para el Proyecto Delta, Región de Coquimbo (Res. Ex. N° 1/Rol D-092-2017), que preparado por la empresa SIDEZA SpA.

El presente estudio complementario se hace cargo de analizar los resultados de muestras de suelo y ensayos practicados al área señalada en el informe entregado en Anexo C de Programa de Cumplimiento Refundido entregado a la SMA con fecha 23.05.2018, como parte del sector N°2, correspondiente al tramo N°3, correspondiente a una superficie de 1,34 hectáreas, identificados como lotes N°64 y 65 los cuales no fueron considerados inicialmente en el sistema de muestras, ya que dicho terreno fue limpiado por camión Super Sucker en el año 2016. De igual manera el Programa de Cumplimiento consideró una segunda limpieza del lugar (acción N°11), una vez ejecutadas las etapas de limpieza de los sectores ubicados aguas arriba.

METODOLOGIA

Respecto de la metodología de análisis de la información levantada sobre metales pesados contenidos en las muestras de suelo analizadas y dado que no existen Normas Chilenas para establecer niveles de contaminación con metales pesados en suelos agrícolas o suelos en general, se realizó un análisis comparativo entre resultados de muestras en los lotes N° 64 y N° 65 donde escurrió aguas lluvias contactadas con relaves de Planta Delta y limpiadas posteriormente con camión Super Sucker, comparándolo con información utilizada en varios estudios y pautas para evaluación o determinación de suelos contaminados con metales pesados (SAG, 2011 y otros).

En dicho documento del Servicio Agrícola y Ganadero, que es un Servicio Público encargado de velar por la protección de los recursos naturales renovables (suelo), realiza un análisis de antecedentes técnicos y regulaciones internacionales relativas a criterios de protección de calidad de suelo, se citan diferentes normas internacionales asociadas a la protección de suelos, y se promueve la Tabla Kelley para clasificación de suelos contaminados, señalando rangos de concentración máxima de metales pesados y nivel de contaminación del suelo asociado, la cual se adjunta a continuación:

Cuadro 1. Directivas de Kelley para la clasificación de suelos contaminados					
Parámetro	suelos no contaminados	Contaminación (mg kg ⁻¹ suelo seco)			
		Ligera	Media	Alta	Muy alta
pH ácido	6 - 7	5 - 6	4 - 5	2 - 4	< 2
pH alcalino	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 12	> 12
Arsénico	0 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 500	> 500
Cadmio	0 - 1	1 - 3	3 - 10	10 - 50	> 50
Cromo	0 - 100	100 - 200	200 - 500	500 - 25000	> 2500
Cobre (disponible)	0 - 100	100 - 200	200 - 500	500 - 25000	> 2500
Plomo	0 - 500	500 - 1000	1000 - 2000	2000 - 1,0%	> 1%
Plomo disponible	0 - 200	200 - 500	500 - 1000	1000 - 5000	> 5000
Manganeso	0 - 500	500 - 1000	1000 - 2000	2000 - 1,0%	> 1,0%
Níquel (disponible)	0 - 20	20 - 50	50 - 200	200 - 1000	> 1000
Cinc (disponible)	0 - 250	250 - 500	500 - 1000	1000 - 5000	> 5000

Figura N° 1: Tabla directiva de Kelley para la clasificación de suelos contaminados. Citado por SAG, 2011.



Adicionalmente se realiza comparación de resultados entre muestras tomadas en los Lotes N° 64 y N° 65 y la muestra Blanco, en sector no afectado por aguas lluvias contactadas con relave.

DESARROLLO

1. Determinación del Área Muestreada

El área muestreada en campaña del 21.06.2018 corresponde al tramo N° 3 Del Sector N° 2 descrito en informe del Anexo C, con un total de 1,34 [ha] de Lotes N° 64 y N° 65, la cual fue limpiada por camión Supersuker entre el 6 de abril de 2016 y el día 5 junio de 2016.



Figura N° 2: *Tramos del Sector N° 2 afectado por aguas lluvias contactadas con relave (elaboración propia)*

2. Metodología de muestreo

Según Protocolos vigentes y aprobados por SMA (Procedimiento Técnico para Muestreo de Suelo P-1002) Algoritmos Spa definió el número y la ubicación de las muestras de suelo en el sector señalado como Tramo N° 3.

En la Tabla N° 1 se presentan las coordenadas de los puntos en estudio:

Puntos	Coordenadas Este	Coordenadas Sur
Punto 1	284864	6622322
Punto 2.	284810	6622295
Punto 3	284733	6622258
Punto 4	284641	6622253
Punto 5	284552	6622255
Punto 6	284523	6622123
Punto 7	284523	6622123
Punto 8	284451	6622088
Punto 9	284413	6622042
Punto 10	284526	6622057
Punto 11	284568	6621986
Punto 12	284548	6621939
Punto 13	284535	6621906
Punto 14	284507	6621859
Punto 15	284471	6621832
Punto 16 (blanco)	284568	6621800

Tabla N° 1: *Coordenadas de los puntos muestreados en Tramo N° 3 Sector N° 2 afectado por aguas lluvias contactadas con relave (elaboración propia)*

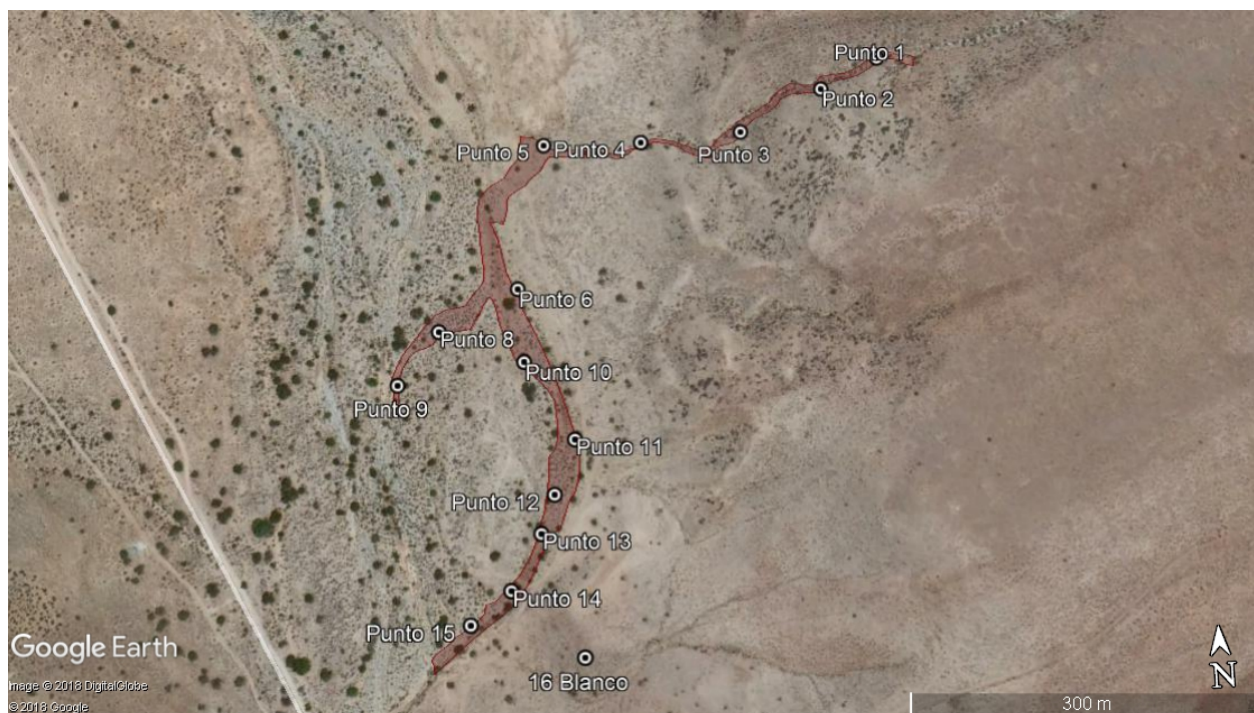


Figura N° 3: Tramo N° 3 del Sector N° 2 con ubicación de la ubicación de puntos de muestreo (elaboración propia)

El muestreo consideró la toma y análisis en suelo a una profundidad superficial de 10 [cm] en los 15 puntos de interés y en 1 punto banco que se realizaron. Posterior a la toma de muestras se procedió al envío de las muestras al laboratorio Algoritmos SpA.

Las principales etapas de las muestras puntuales de suelos realizadas a 10 [cm] son:

- Se alistaron los materiales de muestreo y envases de modo que se encuentren limpias y ordenadas para realizar el muestreo.
- Para evitar la contaminación de los materiales de muestreo, se utilizó agua destilada y papel absorbente para realizar limpieza y secar el material entre cada muestra.
- En los lugares en que el suelo presentó vegetación, pastos u otros, éstos fueron eliminados raspando la superficie.
- Se estableció un rectángulo desde el cual se extrajo el suelo de superficie a 10 cm.
- Se extrajeron las muestras con la pala (plástica).

- Posteriormente, el contenido de la muestra se introdujo en cada uno de los envases de cada laboratorio, con su respectiva identificación. Las muestras se transportan en cooler al laboratorio de Algoritmos SpA. en donde se realizan los análisis respectivos.
- Se consideró obtener la misma cantidad de muestra en cada punto de muestreo, de modo que todos los sectores queden igualmente representados.

3. Resultados Análisis Laboratorios

Los parámetros analizados corresponden a las concentraciones de los siguientes metales pesados: Arsénico; Bario; Cadmio; Cinc; Cobre; Cromo; Hierro; Magnesio; Manganese; Mercurio; Molibdeno; Níquel; Plata; Plomo; Potasio; Selenio y Vanadio. Todos componentes naturales de suelos de la zona. La metodología de muestreo y análisis utilizados por equipo de Inspectores Ambientales Certificados y Autorizados y los análisis de laboratorio se ajustan a los estándares requeridos por SMA (Basado en Metodologías de análisis recomendados para los suelos de Chile. Rev. 2006 y análisis - Método de Análisis - ILAB-28 Rev. Basado en EPA 3050-B 1996, SM 2012, 3114-B).

Parámetro	Unidad	Metodología
Arsénico (As)	mg/kg	ILAB -28 Rev 00 (1)
Bario (Ba)	mg/kg	ILAB -28 Rev 00 (1)
Cadmio (Cd)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Cinc (Zn)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Cobre (Cu)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Cromo (Cr)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Hierro (Fe)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Humedad (Hum)	% en base seca	MLAB -S / 01 Rev 05
Magnesio (Mg)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Manganese (Mn)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Mercurio (Hg)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)

Molibdeno (Mo)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Níquel (Ni)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Plata (Ag)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Plomo (Pb)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Potasio (K)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)
Selenio (Se)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (1)
Vanadio (V)	mg/kg	ILAB-28 Rev.00 (2)

Tabla N° 2: Informe de Resultados N° 1 HID050-18 Algoritmo SpA, Entidad ETFA, junio 2018

- (1) Basado en EPA 3050 1996, SM 2012, 3114-B; (2) Basado en EPA 3050 1996, SM 2012, 3114-B;
 (3) Basado en NCh 1515 Of 79; (4) Casado en Metodologías de análisis recomendados para los suelos Rev. 2006.

RESULTADOS

1. Resultados Informes de Ensayo

De acuerdo a Informes de Ensayos N° LAB 18-1527 entregado por Algoritmos SpA, se entrega en Tabla N° 3 y N° 4 resumen de los resultados de metales pesados muestreados:

		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8
	Límite de Detección	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Arsénico	0,22	3,43	3,58	3,31	2,67	2,36	2,03	2,25	2,35
Bario	6,75	23,64	18,50	17,57	30,01	31,22	30,33	22,38	33,64
Cadmio	0,44	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Cinc	2,43	30,04	23,47	22,61	30,60	26,59	33,44	21,99	39,08
Cobre	2,10	91,36	63,91	60,61	75,76	66,73	163,80	73,65	178,23
Cromo	3,28	7,94	13,78	10,12	9,63	9,11	13,39	29,78	13,88
Hierro	6,25	60089,37	103274,82	82936,82	61103,16	85058,60	47006,52	63118,32	51652,03
Humedad % Base seca	---	4,8	5,00	4,70	6,50	5,10	11,00	3,90	13,50
Magnesio	8,93	4221,95	3968,07	3638,70	3734,95	3590,56	6139,98	4728,19	7031,84
Manganeso	7,92	663,85	577,53	591,91	598,32	587,22	535,52	487,81	763,93
Mercurio	0,06	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Molibdeno	1,62	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Níquel	4,06	7,35	6,37	6,02	6,57	5,27	12,00	8,94	11,43
Plata	0,14	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Plomo	4,85	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Potasio	14,12	1466,24	854,34	774,83	2073,05	1600,51	1782,75	946,89	1925,53
Selenio	4,26	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Vanadio	7,42	152,14	234,04	191,66	136,92	147,64	111,39	166,08	136,70

Tabla N° 3: Tabla resumen desde punto N° 1 al N° 8 de *Informe de Resultados de Ensayo N° LAB18-1527 Algoritmo SpA, Entidad ETFA, junio 2018*

		Punto 9	Punto 10	Punto 11	Punto 12	Punto 13	Punto 14	Punto 15	Punto 16 Blanco
	Límite de Detección	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Arsénico	0,22	1,85	2,30	2,35	2,24	2,55	2,32	2,07	2,63
Bario	6,75	26,83	28,49	28,16	30,18	26,76	20,05	6,75	41,82
Cadmio	0,44	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Cinc	2,43	37,71	31,24	27,01	31,28	24,51	23,02	20,49	22,40
Cobre	2,10	276,56	114,07	106,93	127,25	69,44	82,53	82,69	76,03
Cromo	3,28	12,32	25,45	18,37	24,80	7,39	21,43	18,02	17,98
Hierro	6,25	54877,81	63300,90	54999,50	68213,97	45117,81	60894,90	55524,29	64322,61
Humedad % Base seca	---	17,00	10,00	7,10	6,40	9,20	3,90	7,10	9,10
Magnesio	8,93	8419,45	6138,22	6170,13	5605,64	3837,36	5532,40	438,41	2851,11
Manganeso	7,92	769,63	655,14	543,78	638,76	541,58	496,10	409,35	459,58
Mercurio	0,06	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Molibdeno	1,62	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Níquel	4,06	11,62	10,78	11,23	11,31	6,89	9,24	9,97	9,59
Plata	0,14	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Plomo	4,85	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Potasio	14,12	1603,49	2290,92	1691,29	972,56	980,48	903,35	934,64	1546,48
Selenio	4,26	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Vanadio	7,42	132,62	163,97	129,34	171,03	114,07	142,38	109,80	153,36

Tabla N° 4: Tabla resumen desde punto N° 9 al N° 16 de *Informe de Resultados de Ensayo N° LAB18-1527*
Algoritmo SpA, Entidad ETFA, junio 2018

Es importante señalar que respecto a los metales pesados Cadmio, Mercurio, Molibdeno, Plata, Plomo y Selenio, los valores obtenidos de cada muestra se encuentran bajo los límites de detección (NSD) de acuerdo al método de ensayo utilizado por el Laboratorio.

2. Análisis de Resultados Comparativos con Muestra Blanco

Se presenta el análisis comparativo de cada metal pesado analizado de cada punto muestreado comparándolo con la muestra en blanco.

Es importante señalar que respecto a los metales pesados Cadmio, Mercurio, Molibdeno, Plata, Plomo y Selenio, los valores obtenidos de cada muestra se encuentran bajo los límites de

detección de acuerdo al método de ensayo utilizado por el Laboratorio, por lo tanto no se presentarán resultados para estos elementos.

2.1. *Análisis Concentraciones Arsénico:*

En el siguiente Gráfico N°1 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

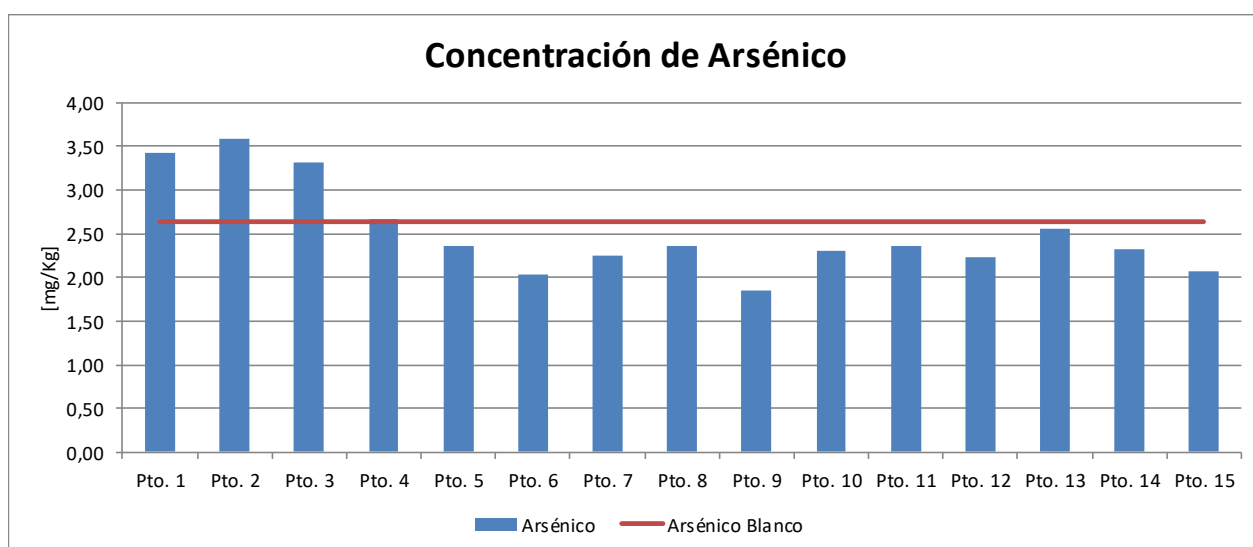


Gráfico N° 1: *Gráfica de concentración para Arsénico de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con la muestra banco.*

Se aprecia que la mayoría de las muestras presentan concentraciones menores a la muestra blanco.

2.2. *Análisis Concentraciones Bario:*

En el siguiente Gráfico N°2 se expresan las concentraciones de cada muestra con muestra blanco.

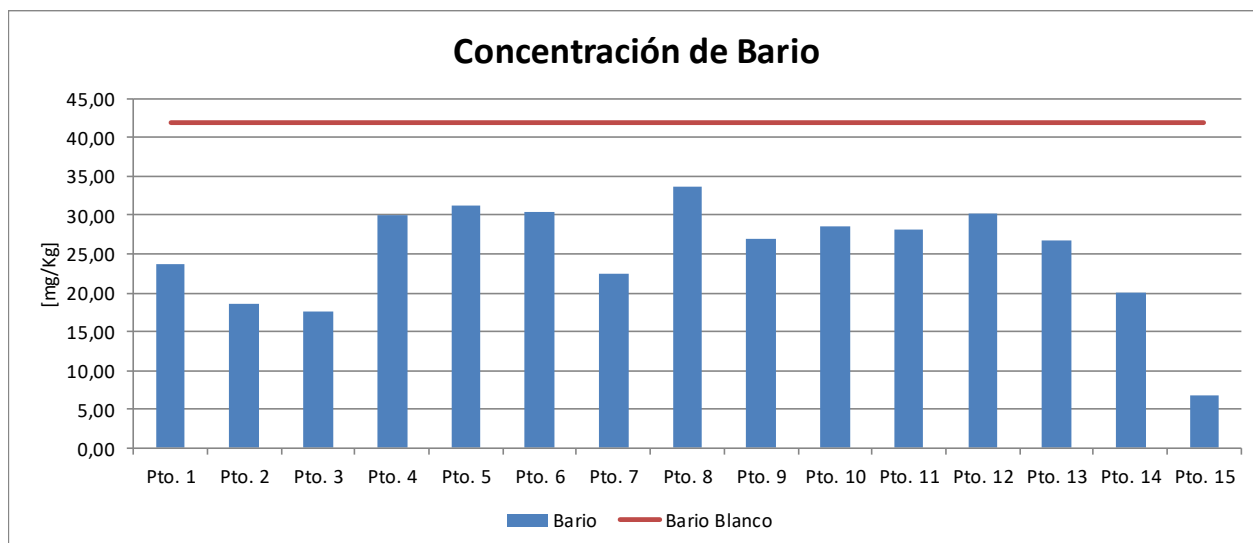


Gráfico N° 2: Gráfica de concentración para Bario de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con la muestra banco.

Se aprecia que las concentraciones de todas las muestras realizadas presentan concentraciones menores a la muestra blanco.

2.3. Análisis Concentraciones Cinc:

En el siguiente Gráfico N°3 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

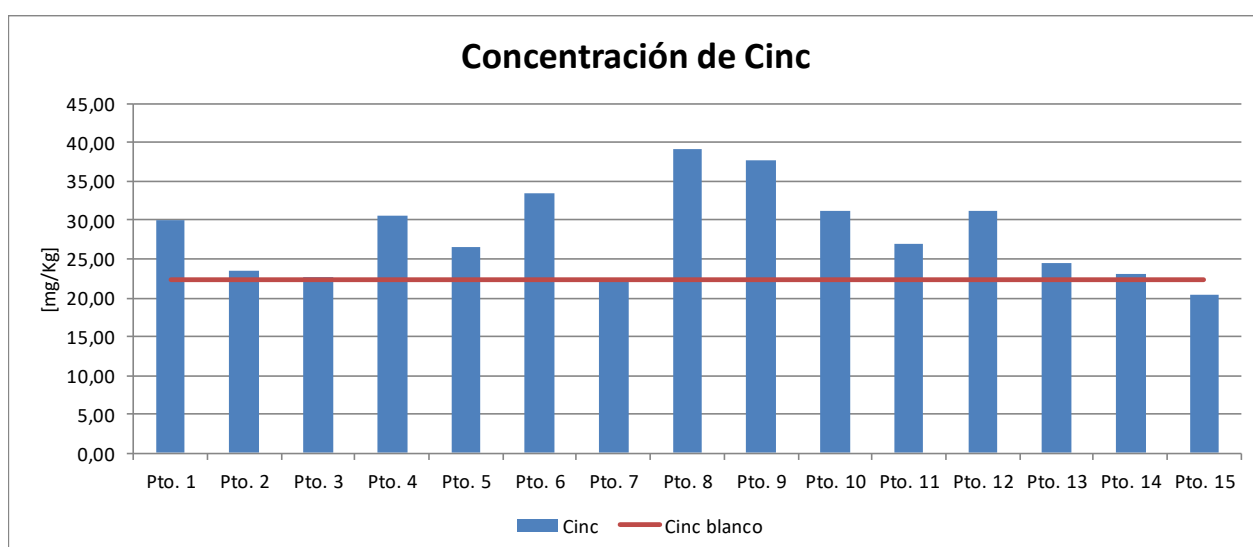


Gráfico N° 3: *Gráfica de concentración para Cinc de las muestras del Tramo N° 3 del Sector N° 2 comparada con la muestra banco.*

Se aprecia que la mayoría de las muestras superan la concentración de la muestra blanco.

2.4. *Análisis Concentraciones Cobre:*

En el siguiente Gráfico N° 4 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

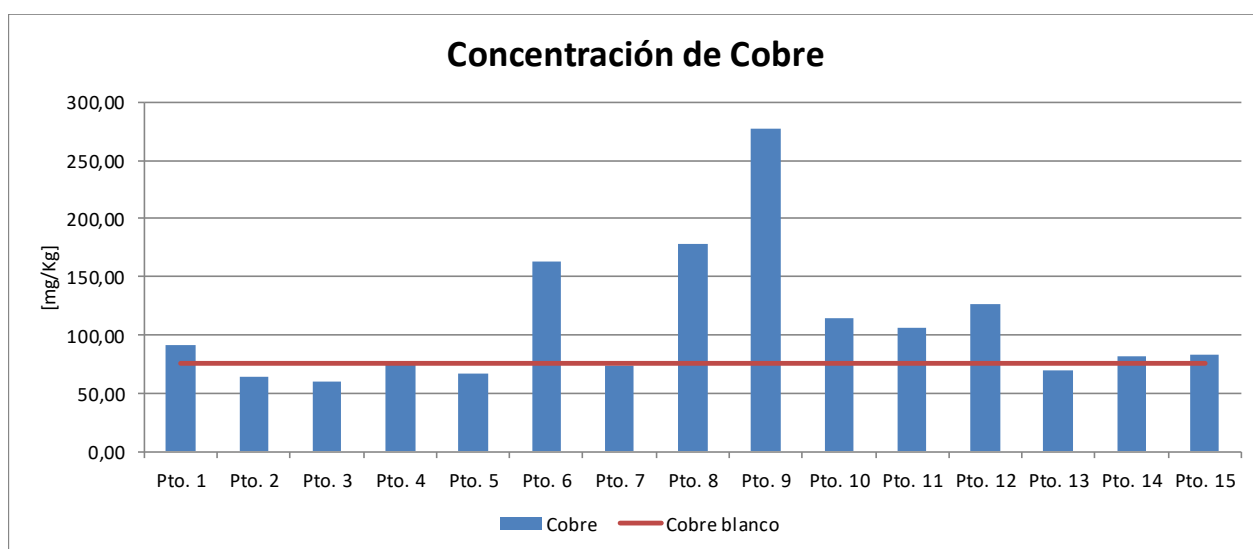


Gráfico N° 4: *Gráfica de concentración para Cobre de las muestras del Tramo N° 3 del Sector N° 2 comparada con la muestra banco.*

Se aprecia que 7 de las 15 muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco.

2.5. *Análisis Concentraciones Cromo:*

En el siguiente Gráfico N° 5 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

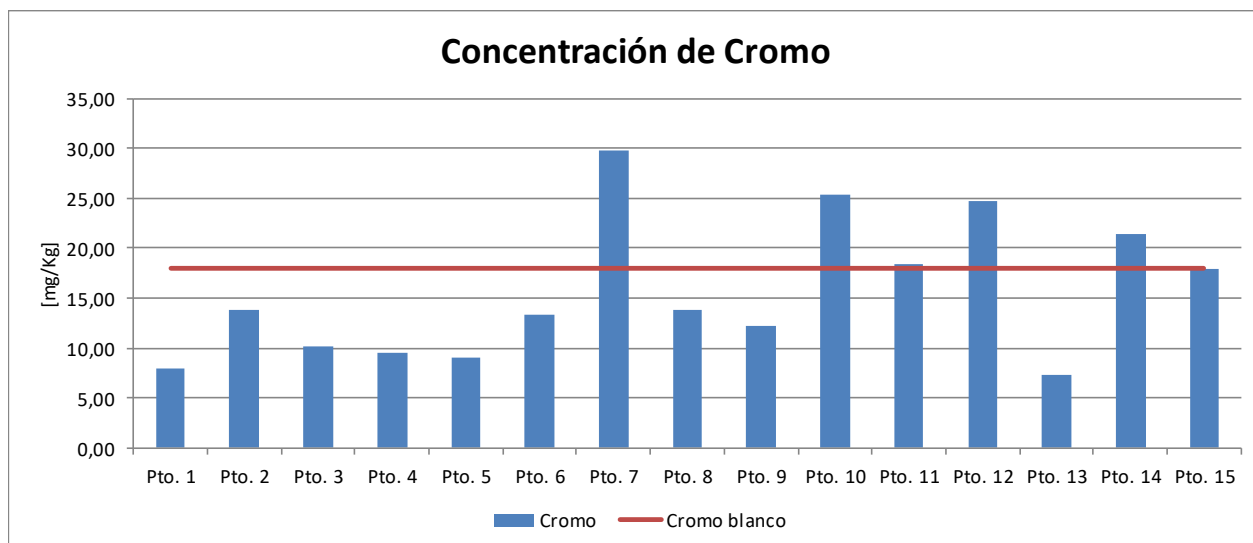


Gráfico N° 5: Gráfica de concentración para Cromo de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con la muestra blanco.

Se aprecia que 4 de las 15 muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco.

2.6. Análisis Concentraciones Hierro:

En el siguiente Gráfico N°6 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

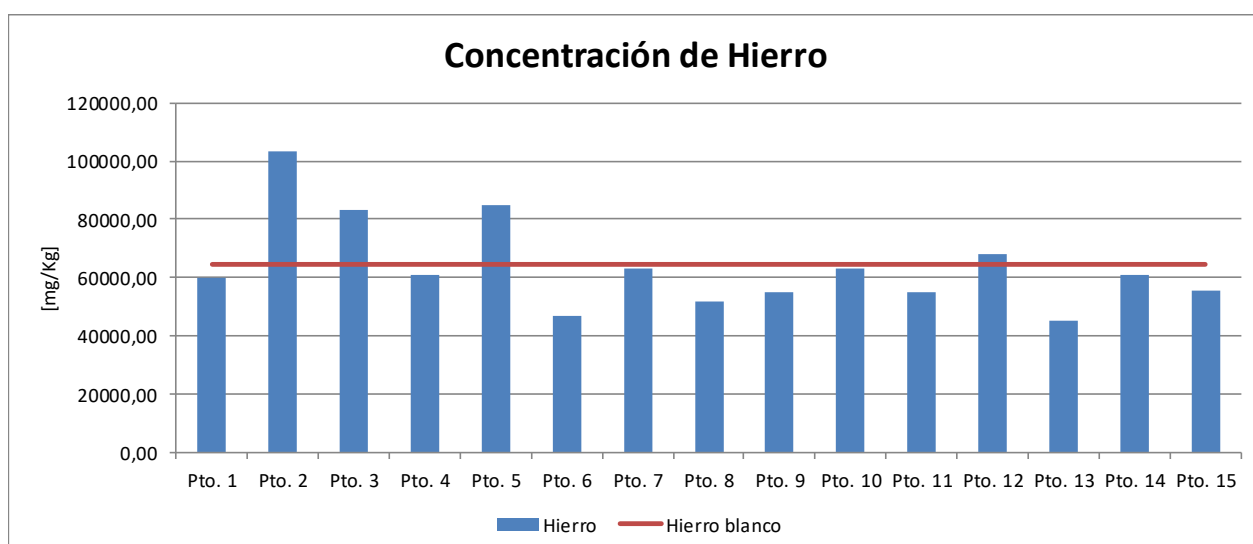


Gráfico N° 6: Gráfica de concentración para Hierro de las muestras del Tramo N° 3 del Sector N° 2 comparada con la muestra banco.

Se aprecia que 4 de las 15 muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco.

2.7. Análisis Concentraciones Magnesio:

En el siguiente Gráfico N° 7 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

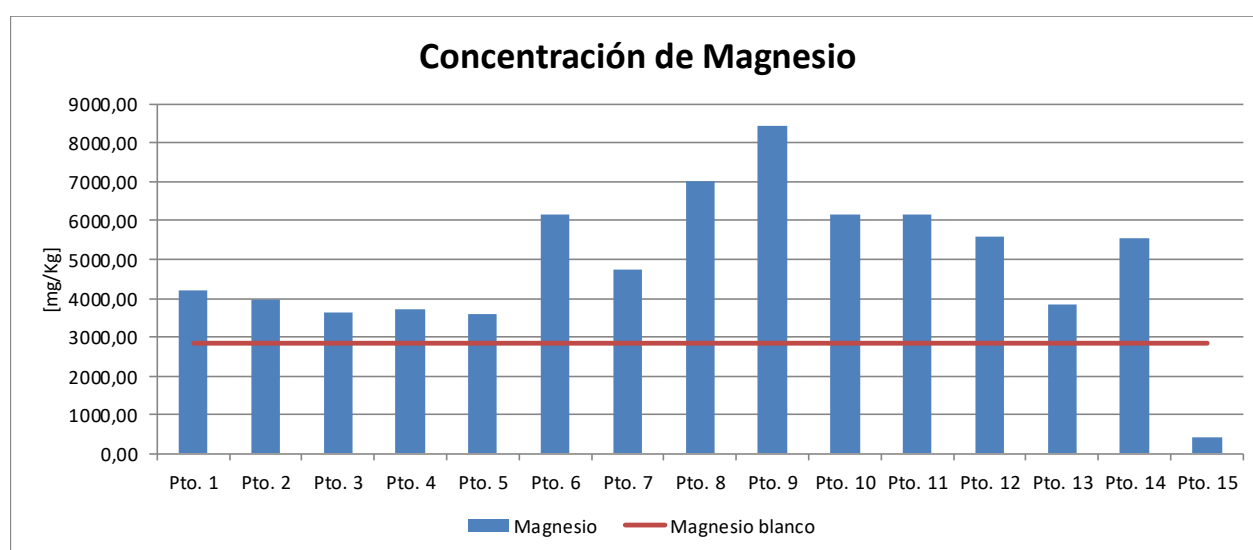


Gráfico N° 7: Gráfica de concentración para Magnesio de las muestras del Tramo N° 3 del Sector N° 2 comparada con la muestra banco.

Se aprecia que prácticamente todas las muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco. No obstante, no hay referencia internacional de concentraciones asociada a contaminación de suelo por este elemento.

2.8. Análisis Concentraciones Manganeso:

En el siguiente Gráfico N° 8 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

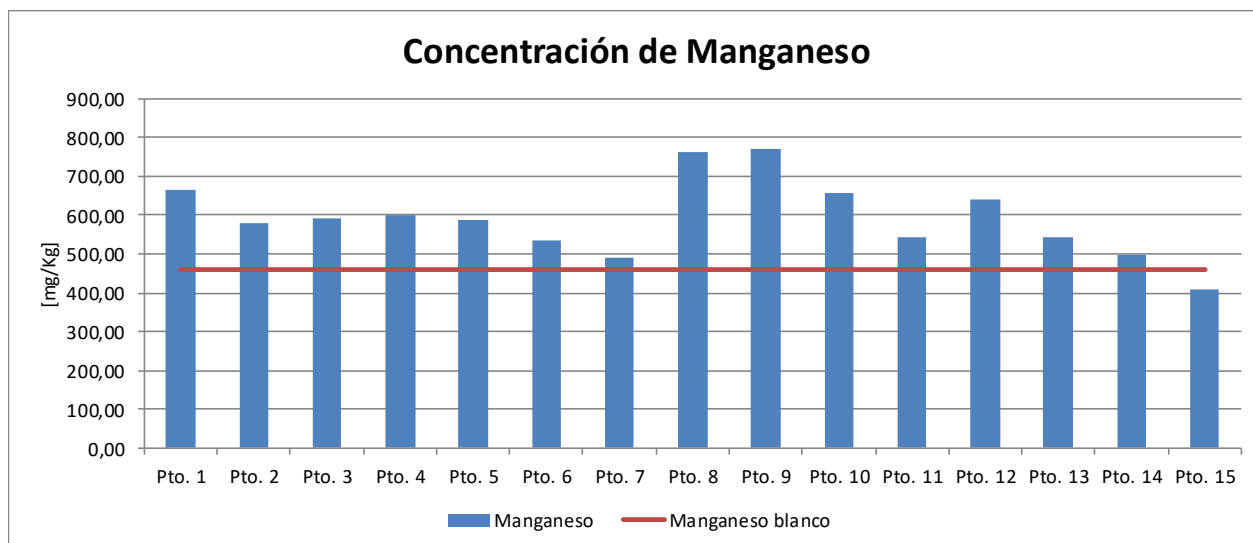


Gráfico N°8: Gráfica de concentración para Manganeso de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con la muestra banco.

Se aprecia que prácticamente todas las muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco, la cual de por si es elevada, alcanzando los 459,58 [mg/kg].

2.9. Análisis Concentraciones Níquel:

En el siguiente Gráfico N°9 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

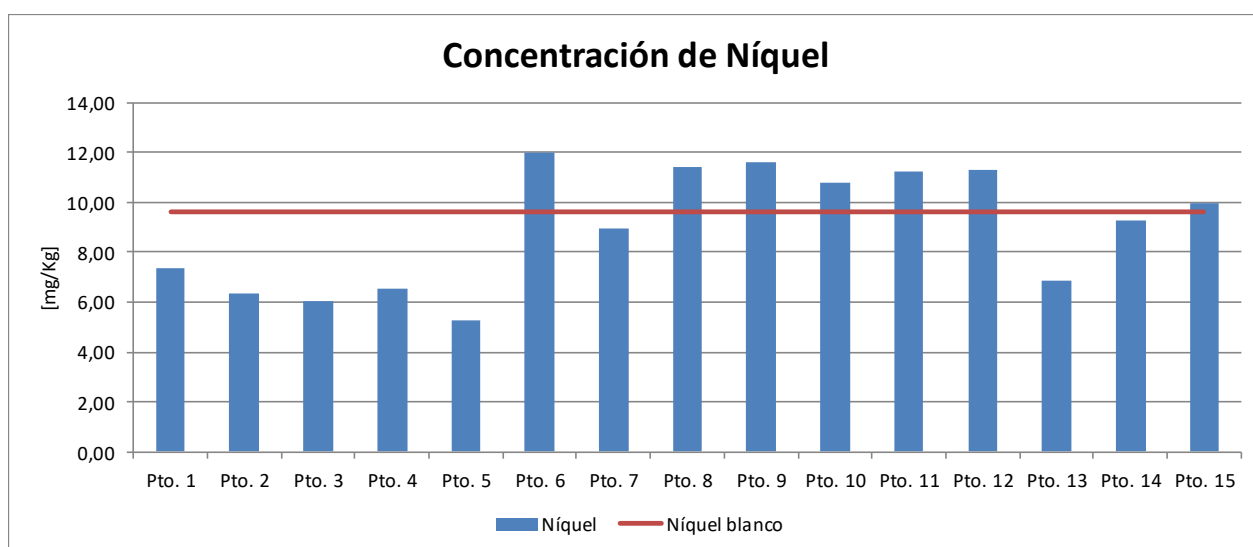


Gráfico N° 9: Gráfica de concentración para Níquel de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con la muestra banco.

Se aprecia que la mitad de las muestras superan levemente la concentración de la muestra blanco y el resto está bastante bajo la muestra blanco.

2.10. Análisis Concentraciones Potasio:

En el siguiente Gráfico N°10 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

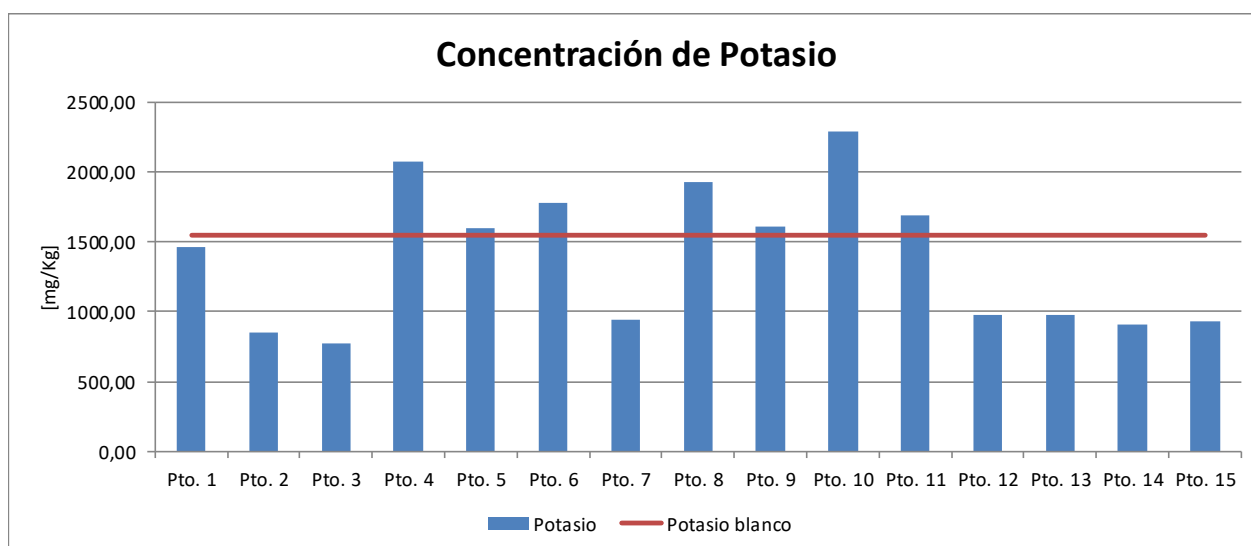


Gráfico N° 10: Gráfica de concentración para Potasio de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con la muestra banco.

Se aprecia que prácticamente todas las muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco. No obstante no hay referencia internacional de concentraciones asociada a contaminación de suelo por este elemento.

2.11. Análisis Concentraciones Vanadio:

En el siguiente Gráfico N°11 se expresan las concentraciones de cada muestra tanto muestras como testigos o Muestras Blanco.

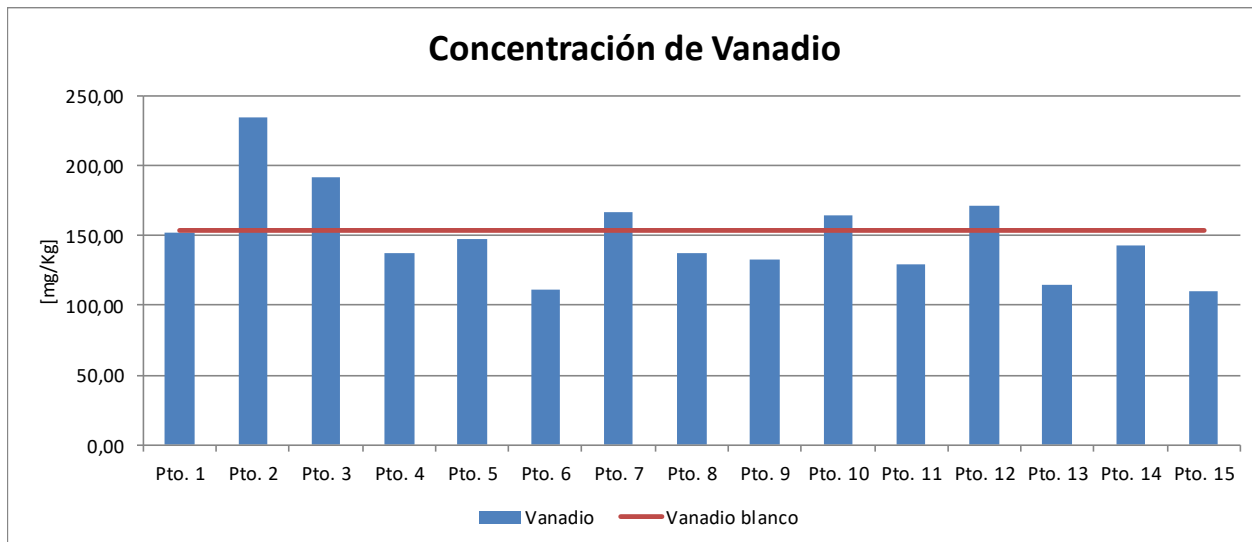


Gráfico N° 11: *Gráfica de concentración para Vanadio de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con la muestra banco.*

Se aprecia que 5 de las 15 muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco. No obstante no hay referencia internacional de concentraciones asociada a contaminación de suelo por este elemento.

3. Análisis de Resultados Comparativos con Tabla Kelley

Se presenta el análisis comparativo de Tabla Kelley (citado SAG 2011) con aquellos metales pesados muestreados clasificados como potenciales contaminantes de suelos, de acuerdo al nivel de contaminación del suelo asociado. Los metales pesados señalados son: Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Manganeso, Níquel y Cinc. Respecto al Cadmio y Plomo, los valores obtenidos de cada muestra se encuentran bajo los límites de detección de acuerdo al método de ensayo utilizado por el Laboratorio, por lo tanto no se presentan resultados.

3.1. Análisis Concentraciones Arsénico:

En el siguiente Gráfico N° 12 se expresan las concentraciones de cada muestra y su comparación con estándares internacionales (tabla directiva de Kelley).

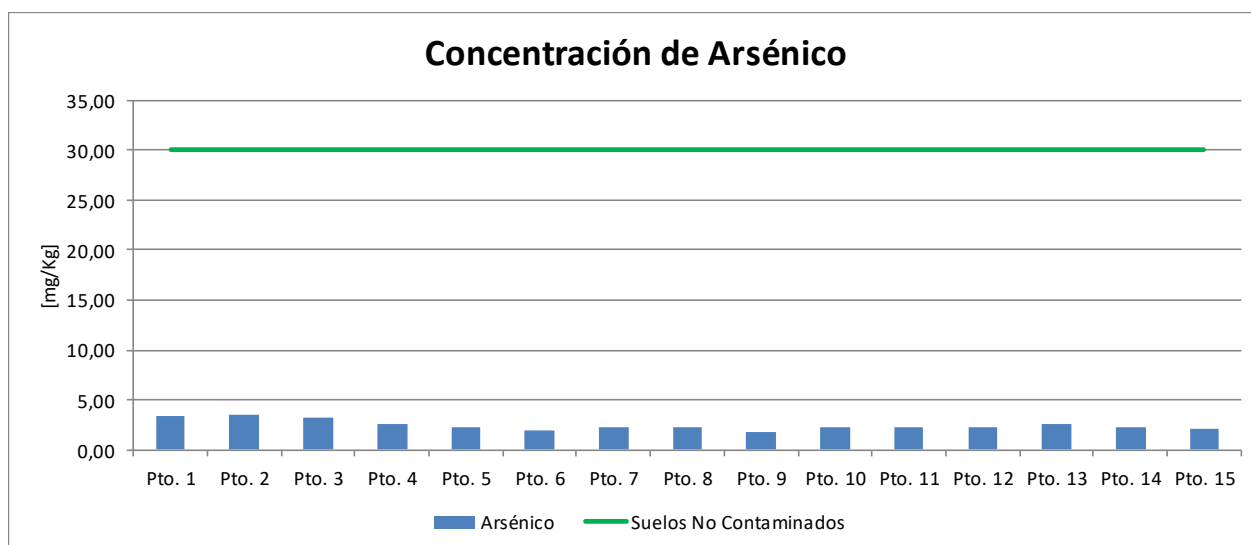


Gráfico N° 12: Gráfica de concentración para Arsénico de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con tabla directiva de Kelley.

Se aprecia que las concentraciones de todas las muestras realizadas no superan los 4 [mg/Kg], muy distante de la referencia internacional a partir del cual un suelo se considera ligeramente contaminado sobre 30 [mg/Kg].

3.2. Análisis Concentraciones Cinc:

En el siguiente Gráfico N° 13 se expresan las concentraciones de cada muestra y su comparación con estándares internacionales (tabla directiva de Kelley, citado SAG 2011).

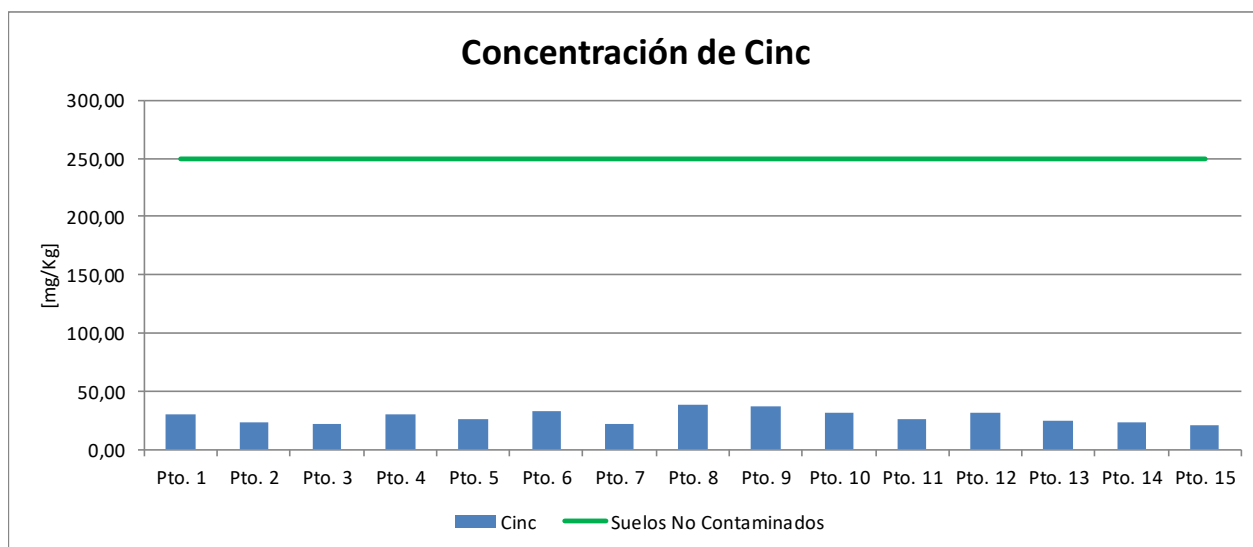


Gráfico N° 13: Gráfica de concentración para Cinc de las muestras del Tramo N° 3 del Sector N° 2 comparada con tabla directiva de Kelley.

Se aprecia que las concentraciones de todas las muestras realizadas no superan los 40 [mg/kg], muy distante de la referencia internacional a partir del cual un suelo se considera ligeramente contaminado.

3.3. Análisis Concentraciones Cobre:

En el siguiente Gráfico N° 14 se expresan las concentraciones de cada muestra y su comparación con estándares internacionales (tabla directiva de Kelley, citado SAG 2011).

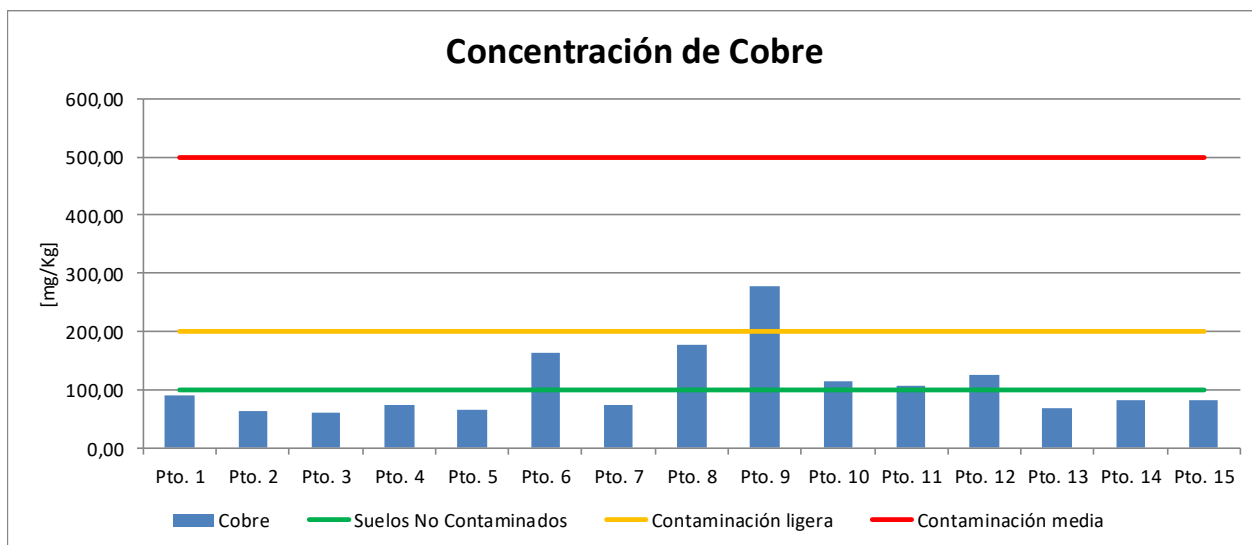


Gráfico N° 14: *Gráfica de concentración para Cobre de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con tabla directiva de Kelley.*

Se aprecia que sólo la concentración de una muestra supera la referencia internacional para considerar un suelo ligeramente contaminado.

3.4. *Análisis Concentraciones Cromo:*

En el siguiente Gráfico N° 15 se expresan las concentraciones de cada muestra y su comparación con estándares internacionales (tabla directiva de Kelley, citado SAG 2011).

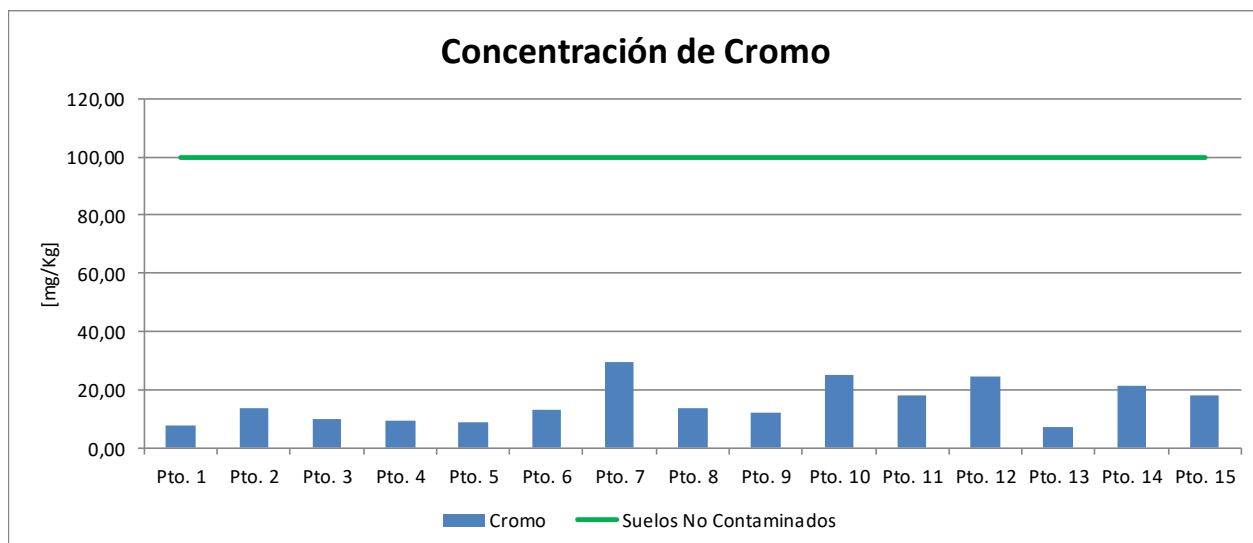


Gráfico N° 15: *Gráfica de concentración para Cromo de las muestras del Tramo N° 3 del Sector N° 2 comparada con tabla directiva de Kelley.*

Se aprecia que las concentraciones de todas las muestras realizadas no superan los 30 mg/kg, muy distante de la referencia internacional a partir del cual un suelo se considera ligeramente contaminado.

3.5. *Análisis Concentraciones Manganeso:*

En el siguiente Gráfico N° 16 se expresan las concentraciones de cada muestra y su comparación con estándares internacionales (tabla directiva de Kelley, citado SAG 2011).

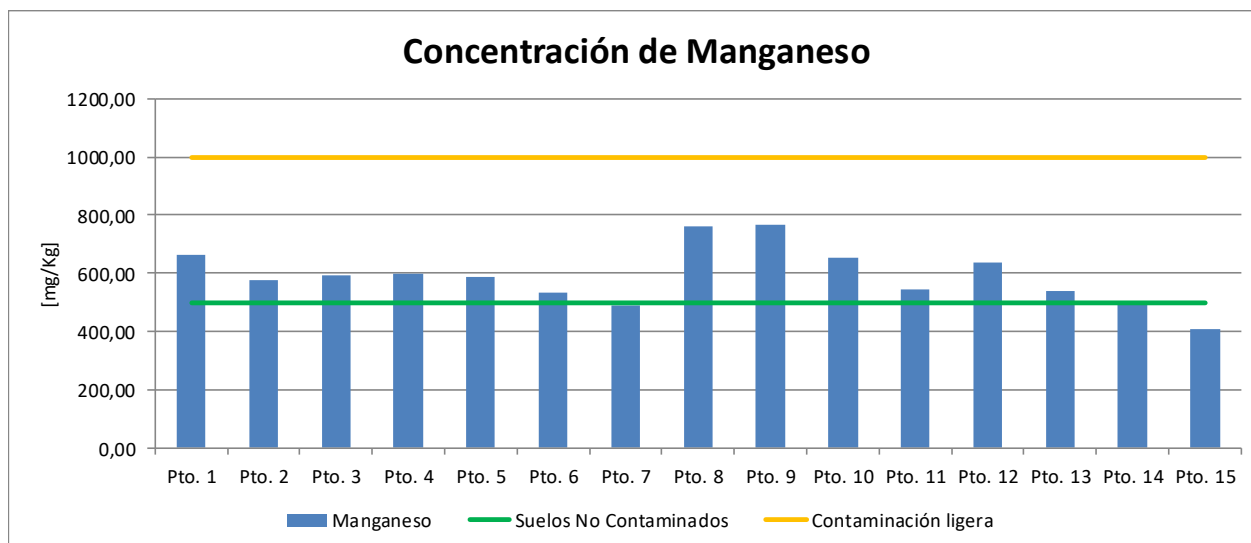


Gráfico N° 16: Gráfica de concentración para Manganeso de las muestras del Tramo N° 3 del Sector N° 2 comparada con tabla directiva de Kelley.

Se aprecia la mayoría de las muestras superan los 500 mg/kg, según la referencia internacional entre 500 y 1000 mg/kg estaríamos en presencia de un suelo ligeramente contaminado, No obstante la muestra blanco presenta concentraciones cercana a los 500 mg/kg, lo que permite argumentar que los suelos de la zona presentan de manera natural altas concentraciones de este elemento.

3.6. Análisis Concentraciones Níquel:

En el siguiente Gráfico N° 17 se expresan las concentraciones de cada muestra y su comparación con estándares internacionales (tabla directiva de Kelley, citado SAG 2011).

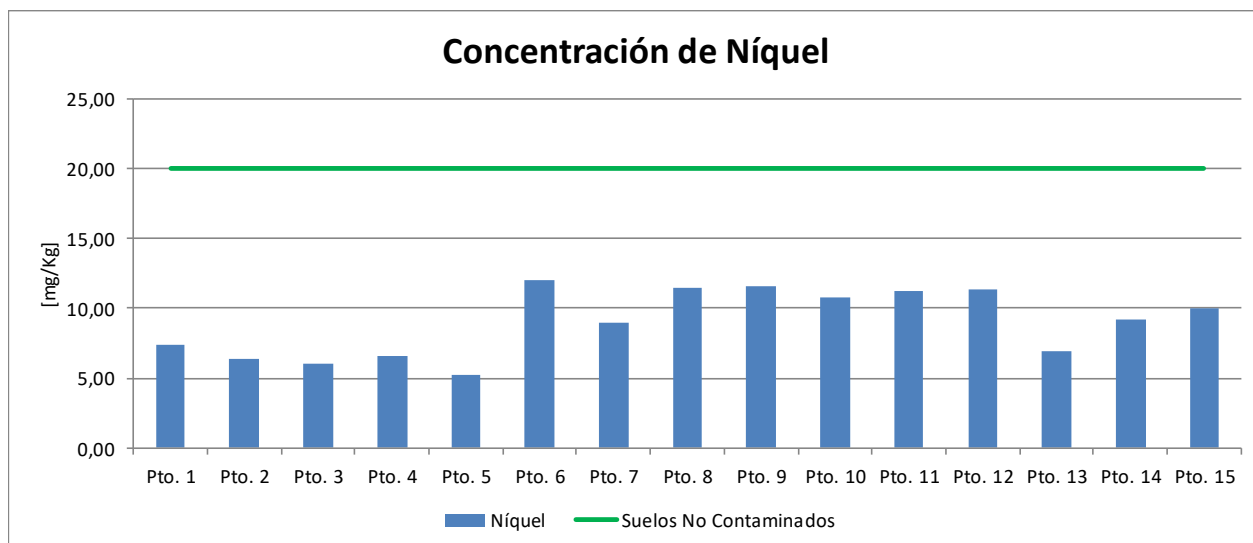


Gráfico N° 17: *Gráfica de concentración para Níquel de las muestras del Tramo N°3 del Sector N°2 comparada con tabla directiva de Kelley.*

Se aprecia que las concentraciones de todas las muestras realizadas no superan los 12 mg/kg, muy distante de la referencia internacional a partir del cual un suelo se considera ligeramente contaminado.

DISCUSIONES

Respecto del componente Manganeseo, la muestra blanco presenta concentraciones cercanas a los 500 mg/kg, lo que permite argumentar que los suelos de la zona presentan de manera natural altas concentraciones de este elemento.

Respecto de los componentes Cobre que presenta tres muestras sobre el rango establecido por la tabla directiva de Kelley, pero si se compara con el promedio de concentración de cobre 108,9 [mg/Kg], el valor está cercano a los entregados por esta tabla como suelo no contaminado.

Respecto al metal pesado Hierro, en Gráfico N°6 se aprecia que 4 de las 15 muestras analizadas superan la concentración de la muestra blanco. No obstante, no hay referencia internacional de límite de concentraciones asociada a contaminación de suelo por este elemento. Respecto del informe elaborado por el USGS, éste responde a un análisis de muestras recolectadas desde 1.318 sitios de muestreo en diversos suelos de los Estados Unidos, para diferentes componentes, obteniendo promedios de concentración a nivel de todo el territorio norte americano. No es su objetivo determinar rangos asociados a niveles de contaminación del suelo, que constituyan una referencia de comparación a nivel de norma internacional.

Particularmente las altas concentraciones de Hierro (si bien no existen parámetros internacionales respecto de la afectación del fierro sobre el suelo), es de conocimiento general que las áreas de la cordillera de la costa y cordillera intermedia del norte chico de Chile, presentan importantes yacimientos de fierro y cobre. El área de Panulcillo, donde se localiza la Planta DELTA de ENAMI, se encuentra ubicada sobre la Provincia Metalogénica de la Cordillera de la Costa la que, en las latitudes de las regiones de Atacama y Coquimbo, se caracteriza por la ocurrencia de yacimientos de tipo IOCG (yacimientos de Óxidos de Hierro-Cobre-Oro) y depósitos de Fe tipo Kiruna (Vivallo et al., 2010; Jorquera et al., 2011 y 2012, Díaz et al., 2010). Específicamente Mina Panulcillo corresponde a un depósito de tipo IOCG y dentro de sus labores se han apreciado cuerpos macizos de Magnetita, que es la principal mena de Fierro de estos depósitos (Díaz & Corvalán, 2015). Esto explica los altos niveles de fierro en forma de óxidos de fierro hidratados tales como hematita, goetita y jarosita formando parte del suelo natural de la

zona, promediando las muestras los 60.000 mg/Kg de Fierro, niveles altos de concentración si los contrastamos con suelos agrícolas de la zona central del país.

A modo ilustrativo se presenta cuadro comparativo concentraciones de fierro en sector Planta DELTA

PRESENCIA DE Fe			
Identificación	Fe	Concentración	Estudio Realizado
Estudio Geoquímico Zona Sector Aledaño	79000	ppm	Estudio Realizado por Rio Tinto 2001
Mineral Mina	70000	ppm	Preparado para ENAMI Planta Delta Contrato X17CP122. Preparado por: Guarachi Ingeniero Ltda, laboratorio Microscopico de Minerales C-2783
Relave	63000	ppm	
Suelo con Relave	63000	ppm	Servicio Muestreo y análisis de suelo áreas lotes 64 y 65 Planta Delta. Realizado por : Asesoría Algoritmo Spa. Fecha:21-jun-18.
Suelo Sin Relave	64000	ppm	

CONCLUSIONES

Respecto de la concentración de metales pesados y su evaluación comparativa con muestras Blanco o Testigos y con directrices internacionales de contaminación de suelos se puede indicar lo siguiente:

- Las concentraciones de la mayoría de los metales pesados de todas las muestras analizadas, se encuentran en los rangos promedio.
- Es importante mencionar que estos metales pesados se encuentran en similares o mayores concentraciones en las muestras testigo que en los sectores afectados por los derrames.
- De acuerdo con estándares internacionales (tabla Kelley 2011) consultados no existen concentraciones que correspondan a rangos considerados de contaminación de metales pesados para suelos.
- Para el componente pH se puede indicar que todas las muestras se presentan en los rangos descritos para el sector y la zona, correspondiendo éstos a rangos de pH ligeramente alcalinos.
- Existe evidencia de alteración física de los suelos dada la presencia de derrames de aguas lluvias contactadas con relave en sectores continuos de los predios involucrados y sectores discontinuos o moteados de estos depósitos.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se propone lo siguiente:

- Limpieza mediante extracción y retiro maquinaria especializada (ejemplo camión Supersucker).
- Muestreo similar al realizado para este informe, con el fin de determinar la evolución de las concentraciones de metales pesados una vez realizadas las limpiezas en los sectores y con el fin de tomar otras medidas si dichas concentraciones evolucionan negativamente (esto se sugiere frente a la posibilidad de que se traspasen metales pesados desde los sedimentos que no puedan ser retirados desde los suelos).