

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS



CONTENIDOS Y LINEA BASE REFERENCIAL DE Al, Ba, Co, Mn y V  
EN SUELOS URBANOS DE LA CIUDAD DE TALCAHUANO, CHILE.

Por

Guillermo H. Medina González

Tesis entregada a la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la  
Santísima Concepción para optar al título profesional de Químico Ambiental.

Profesor Guía: M.Sc. Elizabeth González S.

Concepción

2015

## INDICE

RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	19
OBJETIVOS.....	20
Objetivo General .....	20
Objetivos específicos .....	20
METODOLOGÍA.....	21
Área de estudio y muestreo.....	21
Contenidos pseudo-totales de metales .....	22
Análisis estadísticos.....	24
RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	25
<b>Aluminio</b> .....	27
<b>Bario</b> .....	31
<b>Cobalto</b> .....	33
<b>Manganeso</b> .....	36
<b>Vanadio</b> .....	39
CONCLUSIONES .....	42
REFERENCIAS .....	44
ANEXOS.....	47

## RESUMEN

En esta investigación se presentan los contenidos pseudo-totales de Aluminio, Bario, Cobalto, Manganeso y Vanadio en los suelos urbanos de Talcahuano con la intención generar información sobre sus condiciones actuales en relación a estos metales.

El Aluminio presenta una mediana general de  $7,87 \cdot 10^4$  mg kg<sup>-1</sup> predominando en el suelo profundo y en la zona residencial. El Bario, muy por debajo del Aluminio, se presenta con 461 mg kg<sup>-1</sup> y con leves diferencias entre zonas. El Manganeso es encontrado en cantidades que rondan los 312 mg kg<sup>-1</sup>, destacando en los suelos superficiales de las zonas Industrial y Residencial. Los contenidos de Cobalto son totalmente homogéneos y no varían significativamente del valor de su mediana de 85,8 mg kg<sup>-1</sup>. El Vanadio se encuentra solo en zonas puntuales de los suelos de Talcahuano en cantidades que rondan su mediana de 81,4 mg kg<sup>-1</sup>.

## INTRODUCCIÓN

La degradación del medio ambiente y los riesgos que esto conlleva son realidades actuales de amplia preocupación social, lo que ha generado que se le preste mayor atención con el fin de eliminarlos o mitigarlos según las posibilidades de cada caso.

El suelo es un ente natural, organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos sobre un material pasivo, la roca madre. (Dorronsoro, 1998). En términos generales, es el sustrato natural esencial en el cual se asienta la vida en los continentes, forma parte del ciclo natural de los nutrientes, del ciclo hidrológico y ejerce funciones de filtro, acumulador y transformador de diversas sustancias. Para el hombre además se trata de un recurso natural muy importante para el desarrollo económico sostenible. Por esto, el estudio de su calidad es de gran relevancia y normalmente se centra en su posible contaminación, específicamente determinando los contenidos de los contaminantes y sus principales efectos nocivos (Galán et al. 2008).

La contaminación constituye uno de los aspectos más importantes en la degradación de los suelos. La calidad de un suelo, es decir, la capacidad de desarrollar sus funciones características, puede verse mermada por la contaminación (Sierra, 2005). Macías (1993) define un suelo contaminado como: "aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser

causa de problemas para el agua, la atmosfera y/o los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que causan cambios en sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas”.

En función a su contaminación, los suelos pueden clasificarse como: contaminados, no contaminados o potencialmente contaminados. A esta última categoría se pueden incluir de forma previsional aquellos suelos en los que es necesario la realización de estudios complementarios para determinar el nivel de contaminación.

Así mismo, podemos encontrar dos tipos de contaminación: endógena y exógena. En la primera, los componentes normales del suelo están en una forma no habitual o en cantidades por encima de lo normal, todo ello por causas netamente naturales. La contaminación exógena, por otro lado, es debida a aportes externos que recibe el suelo, de manera indirecta, derivada de la actividad industrial, humana o de la producción energética, o de manera directa como consecuencia de la agricultura.

Las fuentes antropogénicas más comunes son:

- Actividades agrícolas: El riego con aguas residuales o de mala calidad, a la aplicación de fertilizantes de manera intensiva y excesiva, generando problemas como lo es la contaminación por nitratos. Las depuradoras de aguas residuales que si bien mejoran la calidad del agua, como contrapartida generan lodos enriquecidos en metales pesados (Cd Pb, Zn, Cu y Ni).

- Minería y fundición: La extracción de menas, el procesado preliminar, la evacuación de residuos y el transporte de productos producen contaminación del aire, agua y suelos. El polvo generado puede ser transportado y depositado a muchos kilómetros de la zona minera. El suelo presentará en su capa superficial altas concentraciones de metales dependientes del tipo de explotación minera.
- Generación de electricidad: La combustión de carbón es una de las principales fuentes de deposición metálica en el suelo. Las centrales térmicas de combustión de petróleo pueden ser fuente de Pb, Ni y V.
- Actividades industriales: Las mayores fuentes de contaminación metálica incluyen a las fábricas de hierro y acero, que emiten metales asociados con las menas de Fe y Ni y las fábricas de batería que suelen emitir cantidades significativas de Pb. A grandes rasgos, las áreas industrializadas poseen abundancia de As, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn y Hg.
- Residuos domésticos: Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta por metales, por ello uno de los problemas serios de las sociedades modernas es el cómo deshacerse del gran volumen de basuras que se generan, sin contaminar. Las dos alternativas más comunes son el enterrado y la incineración, pero la primera implica un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y la segunda de la atmósfera.

La emisión de contaminantes por cualquiera de las fuentes mencionadas anteriormente y su acumulación en el suelo lleva consigo una serie de efectos desfavorables que Porta et al. (1999) resume de la siguiente forma:

- Destrucción del poder de autodepuración por procesos de regeneración biológica normales debido a la afectación del ciclo biogeoquímico.
- Disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento normal de los microorganismos del suelo.
- Disminución del rendimiento de los cultivos y posible alteración en la composición de los mismos, pudiendo resultar peligroso para el consumo humano.
- Contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia.
- Disminución de las funciones de soporte de actividades de ocio, ya que los espacios contaminados pueden presentar problemas de salubridad para el usuario.

La mayoría de los suelos urbanos cumplen funciones diferentes en comparación a los ubicados en zonas rurales, siendo la principal de estos últimos la producción de alimentos o forestal, contribuyendo además a preservar la biodiversidad. Por otra parte, en áreas urbanas el suelo tiene una influencia mucho más directa sobre la salud de las personas frecuentemente olvidada o considerada como poco significativa.

La salud humana en pueblos y ciudades está fuertemente relacionada y depende del estado de sus suelos (Simpson, 1996). La fuerte compactación,

contaminación por desechos y deposiciones atmosféricas, pérdida de materia orgánica, degradación estructural o infección por microorganismos patológicos son solo algunos de los muchos procesos que afectan y modifican la función ecológica de los suelos en áreas urbanas (Bullock y Gregory, 1991).

La tendencia a minimizar la importancia de los suelos urbanos en la salud humana es, en parte, la causa de que sólo algunos países incluyan en sus normativas medioambientales límites máximos específicos en los contenidos de metales potencialmente tóxicos para suelos de áreas residenciales y de esparcimiento (Madrid et al., 2007). Como ocurre en Chile, donde aún no se ha establecido una normativa para declarar un suelo como contaminado. Sin embargo, es un hecho el que los suelos urbanos están expuestos a aportaciones muy significativas de contaminantes (Bullock y Gregory, 1991).

Los metales pesados han mostrado ser indicadores bastante útiles de contaminación ambiental. Los suelos urbanos son “recipientes” de grandes cantidades de metales pesados provenientes de diversas fuentes incluyendo residuos industriales, emisiones vehiculares, quema de combustibles fósiles y otras actividades (Kelly et al., 1996). En áreas donde parques y áreas públicas están expuestas a grandes niveles de contaminación, el polvo proveniente del suelo puede generar efectos tóxicos como consecuencia de su inhalación o ingesta, principalmente para los niños, los cuales están mayormente expuestos (Sánchez-Camazano et al., 1994). Además, cualquier contaminación de los suelos urbanos puede causar la infiltración hacia las aguas subterráneas debido a que los metales de los suelos contaminados tienden a ser más móviles que los de los no contaminados (Wilcke et al., 1998).

La zona de estudio en cuestión, la ciudad de Talcahuano, presenta a nivel nacional una gran importancia económica centrándose en un activo desarrollo industrial. Sustenta una refinería de petróleo, un complejo petroquímico, una industria siderúrgica, un terminal de petróleo e industrias pesqueras. El uso múltiple y creciente de los diversos recursos de la región ha resultado en varios conflictos derivados de esos usos. Siendo la contaminación y la localización de industrias cercanas a las zonas residenciales algunos de ellos.

Es por tanto importante el conocimiento de las características de los suelos de las grandes ciudades, con vistas a mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En Chile se han publicado algunos estudios sobre suelos agrícolas, de zonas mineras e incluso de la Península Antártica. De suelos urbanos y específicamente de la ciudad de Talcahuano solo existen estudios preliminares (Tume et al. 2008).

### **Normativa Internacional**

En general, en la mayoría de los países que regulan los metales pesados en los suelos como Estados Unidos, Alemania, Holanda o España, se han establecido los límites como consecuencia de la normativa de la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas. En Alemania, los límites máximos permitidos se han establecido de acuerdo a los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio, de invernadero y de campo. El sistema Holandés considera tres valores estándares: un valor de referencia, el valor máximo permitido y el valor de intervención cuando los suelos necesitan medidas de saneamiento o

descontaminación. Así, distintos países han adaptado este sistema a sus propias realidades, como es el caso de Corea, Canadá y Taiwán (Lacatuso, 1998).

Si bien existen distintas normativas legales en cuanto a los contenidos de metales pesados en suelos, ninguna considera los abordados en esta investigación debido a que no califican como elementos contaminantes prioritarios en la calidad del suelo. Sí son considerados metales como Arsénico, Cadmio, Mercurio, Níquel, Plomo, Cinc y Cromo, entre otros.

Los metales pesados o elementos objeto de estudio en este proyecto son: Aluminio (Al), Bario (Ba), Cobalto (Co), Manganeseo (Mn) y Vanadio (V).

## **Aluminio**

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de alúmino silicato (Lenntech, 2012).

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del Aluminio.

<b>Propiedades Físicas</b>		<b>Propiedades Químicas</b>
<b>Símbolo</b>	Al	- Estable al aire y resistente a la corrosión
<b>Número Atómico</b>	13	- Anfótero
<b>Masa Atómica (uma)</b>	269,815	- Puede reaccionar con ácidos minerales
<b>Punto de Fusión (°C)</b>	660	- Valencia de 3+ en mayoría de compuestos
<b>Punto de Ebullición (°C)</b>	2450	
<b>Densidad (g/ml)</b>	2,70	
<b>Color</b>	Blanco plateado	

## **Efectos del Aluminio sobre la salud**

El Aluminio de los metales más utilizados y también uno de los más abundantes en la corteza terrestre. Debido a este hecho, el aluminio es comúnmente asociado a la inocuidad. Pero todavía así, cuando nos exponemos a altas dosis, este puede causar problemas a la salud (Lenntech, 2012).

La exposición al Aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La exposición a cantidades significativas de Aluminio puede causar un efecto serio en la salud como:

- Daño al sistema nervioso central
- Demencia
- Pérdida de la memoria
- Apatía
- Temblores severos

## **Efectos ambientales del Aluminio**

Los efectos del Aluminio se centran mayormente en los problemas de acidificación. Las concentraciones de Aluminio tienden a ser muy altas en cuerpos de agua y suelos acidificados. Puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas. Hay fuertes indicadores de que el Aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando estas están localizadas en las aguas subterráneas.

Los iones de Aluminio pueden reaccionar con los fosfatos, los cuales causan que el fosfato no esté disponible para los organismos (Lenntech, 2012).

## **Bario**

El Bario es un metal plateado-blancuzco que puede ser encontrado en el medioambiente, donde existe de forma natural. Aparece combinado con otros elementos químicos, como el azufre, carbono u oxígeno.

El bario ocupa el decimotercero lugar en abundancia en la corteza terrestre, en donde se encuentra en un 0,04%, valor intermedio entre el calcio y el estroncio, los otros metales alcalinotérreos. Los compuestos de bario se obtienen de la minería y por conversión de dos minerales de bario. La barita, o sulfato de bario, es el principal mineral y contiene 65,79% de óxido de bario. La witherita, algunas veces llamada espato pesado, es carbonato de bario y contiene 72% de óxido de bario (Lenntech, 2012).

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del Bario.

<b>Propiedades Físicas</b>		<b>Propiedades Químicas</b>
<b>Símbolo</b>	Ba	- Reacciona fácilmente con agua
<b>Número Atómico</b>	56	- Reacciona con la mayoría de no metales
<b>Masa Atómica (uma)</b>	137,34	- Se oxida con rapidez al aire
<b>Punto de Fusión (°C)</b>	725	
<b>Punto de Ebullición (°C)</b>	1640	
<b>Densidad (g/ml)</b>	3,5	
<b>Color</b>	Plateado	
<b>Aspecto</b>	Blando y frágil	

## **Efectos del Bario sobre la salud**

De forma natural los niveles de Bario en el medio ambiente son muy bajos. Pueden encontrarse altos contenidos en suelos y en comida, como son los frutos secos, algas, pescados y ciertas plantas.

Muchos vertederos de residuos peligrosos contienen ciertas cantidades significantes de Bario. La gente que vive cerca de ellos posiblemente está expuesta a niveles dañinos. La exposición podrá entonces ser causada por respirar polvo, comer tierra o plantas, o beber agua que está contaminada con Bario. Por contacto en la piel puede también ocurrir.

Las exposiciones a grandes cantidad de Bario puede causar parálisis y en algunos casos incluso la muerte.

Pequeñas cantidades de Bario hidrosoluble puede causar en las personas dificultad al respirar, incremento de la presión sanguínea, arritmia, dolor de estómago, debilidad en los músculos, cambios en los reflejos nerviosos, inflamación del cerebro y el hígado. Daño en los riñones y el corazón.

No se ha demostrado que el Bario cause cáncer en los humanos. No hay prueba de que el Bario pueda causar infertilidad o defectos de nacimiento (Lenntech, 2012).

## **Efectos ambientales del Bario**

Debido al uso extensivo del Bario en las industrias, el Bario ha sido liberado al ambiente en grandes cantidades. Como resultado los contenidos de Bario en el aire, agua y suelo pueden ser mayores que las que ocurren de forma natural en muchos lugares. El Bario es liberado al aire por las minas, proceso de refinado, y durante la producción de compuestos de Bario. Puede entrar también al aire durante la combustión del carbón y aceites.

Debido a sus solubilidades estos compuestos del Bario pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos absorben los compuestos del Bario, el Bario se acumulará en sus cuerpos. Los compuestos del Bario son persistentes y usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el sedimento de las aguas (Lenntech, 2012).

## **Cobalto**

Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0,001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre. Se halla en meteoritos, estrellas, en el mar, en aguas dulces, suelos, plantas, animales y en los nódulos de manganeso encontrados en el fondo del océano. Se observan trazas de cobalto en muchos minerales de hierro, níquel, cobre, plata, manganeso y zinc; pero los minerales de cobalto importantes en el comercio son los arseniuros, óxidos y sulfuros.

Las plantas y los animales necesitan cantidades pequeñas de cobalto. Su isótopo radiactivo producido artificialmente, cobalto-60, se utiliza mucho en la industria, la investigación y la medicina.

Los compuestos de cobalto tienen gran variedad de aplicaciones industriales, incluso se usan como catalizadores, y en agricultura para remediar la deficiencia de cobalto en el suelo y en la vegetación natural (Lenntech, 2012).

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del Cobalto.

<b>Propiedades Físicas</b>		<b>Propiedades Químicas</b>
<b>Símbolo</b>	Co	- Resistente a la corrosión
<b>Número Atómico</b>	27	- Ferromagnético
<b>Masa Atómica (uma)</b>	58,93	- Forma complejos
<b>Punto de Fusión (°C)</b>	1495	- Forma compuestos coloreados
<b>Punto de Ebullición (°C)</b>	2927	
<b>Densidad (g/ml)</b>	8,9	
<b>Color</b>	Blanco azulado	
<b>Aspecto</b>	Duro	

### **Efectos del Cobalto sobre la salud**

El Cobalto está ampliamente disperso en el ambiente de los humanos por lo que pueden estar expuestos a él por respirar el aire, beber agua y comer comida que contengan Cobalto, también por contacto cutáneo en suelos o agua.

Al respirar elevadas concentraciones de Cobalto se experimentan efectos en los pulmones, como asma y neumonía. Cuando las plantas crecen sobre suelos contaminados estas acumularán muy pequeñas partículas de Cobalto, especialmente en las partes de la planta que nosotros comemos, como son los

frutos y las semillas. La exposición al Cobalto a través de comer las plantas puede causar efectos sobre la salud como:

- Vómitos y náuseas
- Problemas de visión
- Problemas de corazón
- Daño a la glándula tiroides

### **Efectos ambientales del Cobalto**

El cobalto es un elemento que se encuentra de forma natural en el medio ambiente en el aire, agua, suelo, rocas, plantas y animales.

Los humanos añaden cobalto por liberación de pequeñas cantidades en la atmósfera por la combustión de carbón y la minería, el procesado de minerales que contienen cobalto y la producción y uso de compuesto químicos con cobalto.

Este metal puede reaccionar con otras partículas o ser absorbido por las partículas del suelo o el agua.

En general los problemas asociados al cobalto son debido a la carencia en los suelos, ya que juega un papel fundamental en la nutrición animal.

Por otra parte, el cobalto se bioacumula en plantas y en cuerpos de animales que comen esas plantas, pero no es conocido que sufra biomagnificación en la cadena alimentaria (Lenntech, 2012).

## Manganeso

El Manganeso es un compuesto muy común que puede ser encontrado en todas partes en la tierra siendo el duodécimo elemento más abundante en la corteza terrestre.

Se encuentra en cientos de minerales, de entre los que destacan la pirolusita ( $MnO_2$ ), psilomelana ( $MnO_2 \cdot H_2O$ ), manganita ( $MnO(OH)$ ), braunita ( $3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ), etc.

Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del Manganeso.

Propiedades Físicas		Propiedades Químicas
<b>Símbolo</b>	Mn	- Estados de oxidación de +1 a +7
<b>Número Atómico</b>	25	- Altamente reactivo
<b>Masa Atómica (uma)</b>	54,938	- Forma compuestos coloreados
<b>Punto de Fusión (°C)</b>	1245	
<b>Punto de Ebullición (°C)</b>	2150	
<b>Densidad (g/ml)</b>	7,43	
<b>Color</b>	Blanco grisáceo	
<b>Aspecto</b>	Duro y frágil	

## Efectos del Manganeso sobre la salud

El manganeso es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia, sino que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en los humanos. Por lo tanto, se producirán problemas a la salud tanto en la deficiencia como en el exceso de manganeso en el cuerpo.

La toma de manganeso en los humanos mayoritariamente tiene lugar a través de la comida, como son las espinacas, el té y las hierbas. Las comidas que contienen los más altos contenidos son los granos y arroz, las semillas de soja, huevos, frutos secos, aceite de oliva, arvejas y ostras.

Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con manganeso son alucinaciones, olvidos y daños nerviosos. Por esto, se asocia a este metal con el Parkinson, embolia pulmonar y bronquitis (Lenntech, 2012).

Como el manganeso es un elemento esencial para la salud de los humanos la falta de este puede también causar efectos sobre la salud. Por ejemplo:

- Coágulos de sangre
- Problemas de la piel
- Bajos niveles de colesterol

### **Efectos ambientales del Manganeso**

Los humanos aumentan los contenidos de Manganeso en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de combustibles fósiles. Otra gran fuente de manganeso en los suelos es la aplicación de pesticidas.

Para algunos animales la dosis letal es bastante baja, lo cual significa que tienen pocas posibilidades de supervivencia incluso a pequeñas dosis de manganeso cuando este excede la dosis esencial. El Manganeso puede causar problemas vasculares, en los pulmones e hígado, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales.

En planta, cantidades altamente tóxicas de Manganeso en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas (Lenntech, 2012).

## Vanadio

Los compuestos de vanadio son geogénicos y se encuentran en todas partes. Oligoelemento esencial y sus compuestos son asimilados por las plantas e incorporados a sus procesos de crecimiento; así el vanadio es extraído del suelo e ingresa a la cadena alimentaria. El contenido medio de vanadio en el suelo es alrededor de 100 ppm y procede de la degradación de rocas ígneas. Los suelos húmicos lo adsorben en notable proporción, especialmente en suelos alcalinos. Tanto las plantas como los animales incorporan vanadio como oligoelemento esencial a sus organismos. Se estima que en el ser humano la ingesta diaria, a través de la alimentación, es de 100 µg. La mayor parte del vanadio ingerido es excretado (Navarro, 1999).

Tabla 5. Propiedades físicas y químicas del Vanadio.

<b>Propiedades Físicas</b>		<b>Propiedades Químicas</b>
<b>Símbolo</b>	V	- Estados de oxidación (+2 +3 +5)
<b>Número Atómico</b>	23	- Anfótero
<b>Masa Atómica (uma)</b>	50,942	
<b>Punto de Fusión (°C)</b>	1902	
<b>Punto de Ebullición (°C)</b>	3409	
<b>Densidad (g/ml)</b>	6,1	
<b>Color</b>	Blanco grisáceo	
<b>Aspecto</b>	Duro y frágil	

## **Efectos del Vanadio sobre la salud**

La mayor acumulación de Vanadio en los seres humanos tiene lugar a través de las comidas, como es el trigo, semilla de soja, aceite de oliva, aceite de girasol, manzanas y huevos.

El Vanadio puede tener diversos efectos sobre la salud humana cuando existe sobreexposición o sobreconsumo. Cuando el Vanadio es respirado puede causar bronquitis y neumonía (Lenntech, 2012).

Los efectos agudos del Vanadio son irritación de pulmones, garganta, ojos y cavidades nasales. Otros efectos sobre la salud son:

- Daño cardíaco y vascular
- Inflamación del estómago e intestinos
- Daño en el sistema nervioso
- Sangrado del hígado y riñones
- Irritación de la piel
- Temblores severos y parálisis
- Sangrado de la nariz y dolor de cabeza

## **Efectos ambientales del Vanadio**

El vanadio causa la inhibición de ciertas enzimas de animales, lo cual tiene varios efectos neurológicos. Además de los efectos neurológicos el vanadio puede causar desordenes respiratorios, parálisis y efectos negativos en el hígado y los riñones. Este metal puede causar daño en el sistema reproductivo de animales

machos, y en algunos casos causa alteraciones del ADN pero no puede causar cáncer en animales (Lenntech, 2012).

El objetivo de este estudio fue cuantificar las concentraciones pseudo-totales de los elementos Aluminio (Al), Bario (Ba), Cobalto (Co), Manganeso (Mn) y Vanadio (V) a las profundidades superficial (0-10 cm), subsuperficial (10-20 cm) y de fondo (1,5 m) en los suelos de la ciudad de Talcahuano, para obtener información de su estado actual respecto de los diversos metales.

## **HIPÓTESIS**

Los contenidos pseudo-totales de Aluminio, Bario, Cobalto, Manganeso y Vanadio en los suelos de Talcahuano presentarían homogeneidad de concentraciones en toda la extensión de estudio.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Determinar el contenido pseudo-total de Al, Ba, Co, Mn y V en los suelos urbanos de la ciudad de Talcahuano, Chile.

### **Objetivos específicos**

- I.- Determinar los contenidos pseudo-totales, a tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 1,5 m), de Al, Ba, Co, Mn y V en los suelos de Talcahuano
- II.- Determinar si existe relación de los resultados en relación a la profundidad y zona.
- III.- Comparar los resultados obtenidos de los metales con los valores de abundancia generales informados en bibliografía.

# METODOLOGÍA

## Área de estudio y muestreo

El área de muestreo corresponde a puntos estratégicos correspondiente a la ciudad de Talcahuano ( $36^{\circ} 43'S-73^{\circ} 07'W$ ). Actualmente esta es una de las ciudades más densamente pobladas y con las mayores actividades industriales y comerciales de Chile. Debido a esto es que los suelos de Talcahuano se dividieron en tres zonas: Industrial, Comercial y Residencial.

Las muestras de suelo fueron tomadas en 144 puntos representativos de todas estas zonas y a tres profundidades distintas, superficiales (0-10 cm), subsuperficiales (10-20 cm) y fondo (1,5 m).



Figura 1. Mapa de Talcahuano y los puntos de muestreo marcados por colores de acuerdo al tipo de suelo (Rojo: Residencial, Verde: Industrial, Azul: Comercial) (Fuente: Imagen adaptada de Google Earth)

Tras tomar las muestras de suelo, estas se guardaron en bolsas plásticas para su transporte al laboratorio. Una vez allí las muestras se secaron en una estufa a 50°C durante tres días. Luego, se procedió a tamizar cada muestra para eliminar el material grueso y otros residuos, dejando sólo el material fino (<2 mm).

Las muestras tamizadas se guardaron en bolsas plásticas herméticamente cerradas para el posterior análisis de metales.

### **Contenidos pseudo-totales de metales**

Teniendo en cuenta que la matriz del suelo es compleja y puede presentar un alto contenido en sílice y silicatos, la disolución total del suelo precisa del uso de HF y de material de laboratorio de polipropileno, polietileno o Pt, que no son atacados por dicho ácido. Los suelos suelen contener también materia orgánica y sulfuros, por ello junto con el HF suelen utilizarse otros ácidos oxidantes como el HNO<sub>3</sub> y/o HClO<sub>4</sub>.

A veces, más que el contenido total de un metal en el suelo, se determina lo que se denomina "pseudo-total" mediante la utilización de ácidos fuertes o agua regia en el proceso de digestión. Al no utilizar HF, este contenido pseudo-total normalmente no incluye el metal fuertemente asociado a los silicatos, pero representa el contenido máximo de metal potencialmente soluble y móvil, por tanto, el máximo potencial contaminante de un metal en un suelo determinado (Lechler, 1980).

Siguiendo esta premisa, para la determinación de los contenidos pseudo-totales de los metales, las fracciones finas de las muestras secas de suelo se

sometieron a digestión ácida en un digestor modelo Digi/PREP MS, para lo cual aproximadamente 0,5g de muestra se colocaron en los tubos de digestión de teflón con agua regia (1:3HNO<sub>3</sub>/HCl) (ISO 11466/2002). La digestión se calentó gradualmente con rampa de temperatura: 60°C durante 30 minutos, 80°C durante 5 minutos, 110°C durante 3 minutos y finalmente 130 °C durante 10 min, esto para liberar a las muestras de posible humedad, materia orgánica y forzar el estado oxidado y de mayor disponibilidad para análisis de los metales de la matriz. El extracto digerido y frío se filtró con papel Whatman 42, se aforó a 25 ml con agua Milli-Q y se guardó para el análisis posterior.

Todos los materiales para análisis debieron ser lavados previamente con solución de HCl al 1%.

Para la cuantificación pseudo-total de los elementos en las muestras de suelo se utilizó una curva de calibrado aplicada a la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica a la Llama, la cual se caracteriza por poseer una sensibilidad adecuada para el análisis de elementos de bajas concentraciones.

La atomización necesaria de las muestras se efectuó frente a una llama alimentada por una mezcla de óxido nitroso/acetileno en el caso del Aluminio, Bario y Vanadio, midiendo a las longitudes de onda de 396,2 nm, 553,6 nm y 318,4 nm respectivamente. En el caso del Cobalto y Manganeso se utilizó una llama de aire/acetileno y se midió a 240,7nm y 279,5nm respectivamente.

Para cada método de cuantificación de cada metal se calcularon los límites de cuantificación y detección correspondientes, además de los porcentajes de error en base a suelos previamente analizados y certificados.

## **Análisis estadísticos**

Los resultados se analizaron por estadística no paramétrica, utilizando el test para múltiples muestras independientes de Kruskal-Wallis (Estadígrafo H) con un grado de significancia  $\alpha=0,05$  para establecer diferencias entre las variables estudiadas. Para todos estos análisis se recurrió al programa estadístico IBM SPSS Statistics 22.0.0.0.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Si consideramos los resultados obtenidos para Talcahuano en toda su extensión, sin clasificarlos por zona (comercial, residencial o industrial) o por profundidad (superficial, intermedia o profunda), se observa una predominancia del Aluminio por sobre los demás metales que queda demostrado por su media de  $4,62 \cdot 10^5$  mg kg<sup>-1</sup> seguido por el Bario con  $4,56 \cdot 10^2$  mg kg<sup>-1</sup>, como se muestra en la Tabla 6. Este es un resultado totalmente esperable si consideramos que el Aluminio es el metal más abundante y el tercer elemento químico más abundante en la corteza terrestre, siendo aproximadamente un 8,8% de su masa (Staley & Haupin, 1992).

Tabla 6. Estadística descriptiva de los contenidos globales de metales (mg kg<sup>-1</sup>) en los suelos de Talcahuano. Se incluyen los límites de detección (LD) y límites de cuantificación (LQ) de los métodos de análisis utilizados para cada metal, con sus respectivos porcentajes de error en base a suelos certificados.

	Al	Ba	Co	Mn	V
N	420	420	420	420	14
Media	<b>4,62·10<sup>5</sup></b>	456	85,8	<b>384</b>	104
Mediana	7,87·10 <sup>4</sup>	461	85,7	311	81,4
Máximo	1,60·10 <sup>8</sup>	631	95,6	4,61·10 <sup>3</sup>	281
Zona	Residencial	Comercial	Residencial	Residencial	Residencial
Profundidad	Intermedia	Superficial	Superficial	Intermedia	Superficial
Mínimo	3,34·10 <sup>4</sup>	242	70,3	46,8	68,1
Zona	Comercial	Industrial	Industrial	Residencial	Industrial
Profundidad	Superficial	Profunda	Superficial	Profunda	Intermedia
LD	15,9	100	6,39	35,8	20,2
LQ	52,9	333	21,3	119	67,2
% error	2,34	4,11	4,10	6,56	2,32
Desviación estándar	<b>7,79·10<sup>6</sup></b>	69,6	5,25	<b>370</b>	21,9
log Mediana	4,90	2,66	1,93	2,49	1,91

Si observamos bien la estadística descriptiva de este conjunto de datos, resulta que la desviación estándar en el caso del aluminio y el manganeso es

bastante considerable en relación a su media, esto se debe de la presencia de valores extremos dentro de los resultados que sesgan su distribución. Por este hecho es que la medida de tendencia central que mejor representa las concentraciones de cada metal es la mediana, y es con la cual se realizaron todas las comparaciones en esta investigación y las que se informan de aquí en adelante.

Además, debido a las grandes cantidades de aluminio encontrado en los suelos de Talcahuano en relación a los demás metales en estudio es difícil de observar las diferencias de contenidos gráficamente. Por esto, y solo para facilitar la comparación gráfica, se presenta la Fig.2 con los contenidos de cada metal en escala logarítmica.

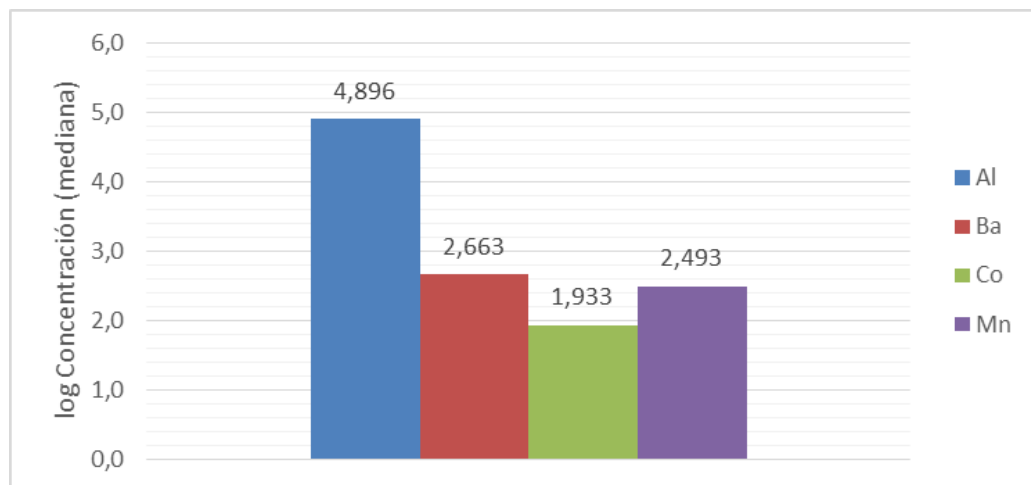


Figura 2. Logaritmo de los contenidos globales en base a la mediana de metales en los suelos de Talcahuano.

Teniendo en consideración todo lo explicado anteriormente, las medianas de cada metal difieren significativamente una de otra ( $H(3, N= 1680)=1455,511$   $p=0,000$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 1 Anexos) siendo el predominante el Aluminio con

$7,87 \cdot 10^4 \text{ mg kg}^{-1}$ , seguido por el Bario con  $460 \text{ mg kg}^{-1}$ , el Manganeso con una mediana de  $384 \text{ mg kg}^{-1}$  y el Cobalto con  $85,7 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Para el Vanadio, los resultados demostraron que este metal fue detectado tan solo en un 16,2% de las muestras obtenidas (68 de 420) con un límite de detección (LD) de  $20,15 \text{ mg kg}^{-1}$  y su cuantificación fue posible tan solo en un 3,33% de las muestras (14 de 420), o sea, donde superaban el límite de cuantificación del método (LQ) de  $67,2 \text{ mg kg}^{-1}$ . En consecuencia, estos resultados se analizaron de forma separada a los otros metales y se exponen más adelante en este escrito.

### Aluminio

Para el Aluminio el contenido máximo de  $1,60 \cdot 10^8 \text{ mg kg}^{-1}$  se encontró en la zona residencial y una profundidad intermedia. Esto podría indicar una posible fuente de este metal o un punto que se encuentra contaminado. El lugar con la mínima cantidad cuantificada corresponde a la zona comercial y en la superficie con un valor de  $3,34 \cdot 10^4 \text{ mg kg}^{-1}$  (Tabla 6).

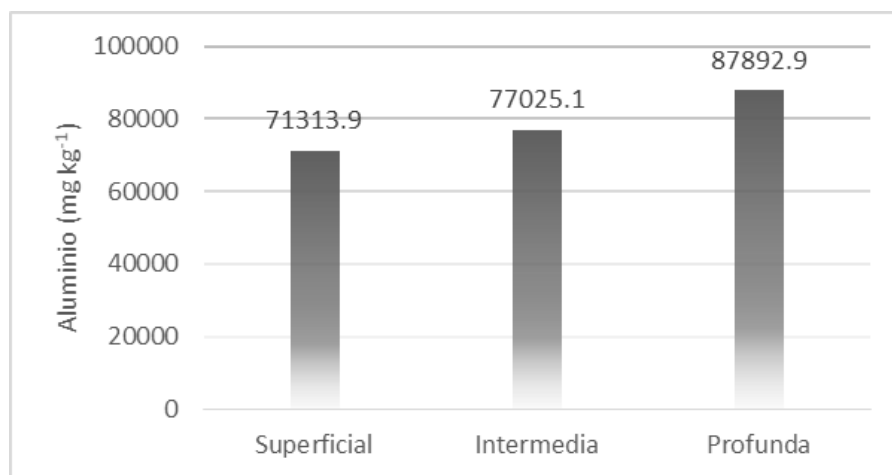


Figura 3. Contenidos de Aluminio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según su distribución vertical en los suelos de Talcahuano.

La comparación global del Aluminio de acuerdo a su distribución vertical en el suelo nos indica que se encuentra estratificado con contenidos significativamente distintos en las tres profundidades analizadas ( $H_{(2,N=420)}=14,64946$   $p=0,0007$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 2 Anexos), siendo máxima su presencia en la profundidad y disminuyendo hacia la superficie (Fig. 3). Esto indica que el origen del Aluminio en los suelos de Talcahuano es probablemente la misma corteza terrestre, entrando al sistema suelo a través de la meteorización de rocas y minerales. Por la dominancia de este metal en la corteza terrestre, el proceso de meteorización natural generalmente excede por mucho los aportes de otro tipo, como lo son los asociados a las actividades humanas (Lantzy & MacKenzie, 1979).

En cuanto a los contenidos cuantificados por zona, en general no existen diferencias significativas ( $H_{(2, N= 420)}= 0,7118283$   $p=0,7005$   $\alpha =0,05$ ) y sus valores tanto en la zona residencial, comercial e industrial se acercan bastante a la mediana general de  $7,87 \cdot 10^4$  mg kg<sup>-1</sup> (Fig. 4) y al promedio de los suelos terrestres publicado por Alekseenko et al. (2014) de  $7,13 \cdot 10^4$  mg kg<sup>-1</sup>.

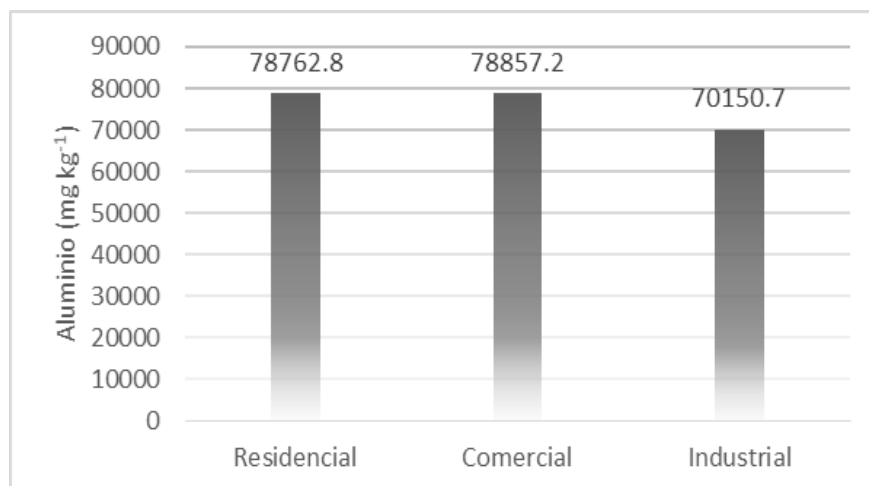


Figura 4. Contenidos de Aluminio (mg kg<sup>-1</sup>) según su distribución por zonas (Residencial, Comercial e Industrial) en los suelos de Talcahuano.

Tanto en la zona comercial ( $H_{(2, N=165)}=15,22382$   $p=0,0005$   $\alpha=0,05$ ) como industrial ( $H_{(2, N=69)}=7,058145$   $p=0,00293$   $\alpha=0,05$ ) los contenidos superficiales e intermedios de Aluminio son similares, siendo el contenido en la capa profunda significativamente superior (Tabla 3 y 4 Anexos). Esto respondería a lo que anteriormente se mencionaba sobre la predominancia del Aluminio en la corteza terrestre y la roca madre.

Para la zona Residencial ( $H_{(2, N=186)}=20,56606$   $p=0,0000$   $\alpha=0,05$ ), es el suelo superficial el que posee contenidos significativamente superiores que las otras dos profundidades, las que se encuentran en cantidades similares (Tabla 5 Anexos). Este aumento de Aluminio en la superficie de la zona Residencial podría deberse al aporte de la actividad humana a partir de objetos de uso común y que están fabricados con el metal como latas de bebestibles, frenos de automoviles o revestimientos y techos (O'Neil et al. 2001).

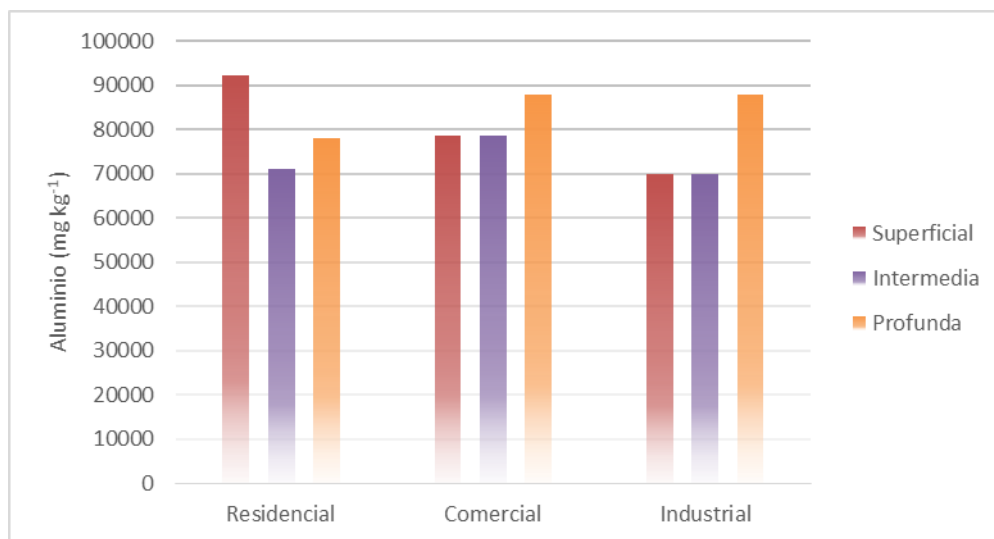


Figura 5. Contenidos de Aluminio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según su distribución vertical en cada zona (Residencial, Comercial e Industrial) en los suelos de Talcahuano.

Tabla 7. Mediana de las cantidades de Aluminio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según distribución vertical y por cada zona en los suelos de Talcahuano.

<b>Aluminio</b>	Residencial	Comercial	Industrial
Superficial	92235,4	78496,6	69828,3
Intermedia	71193,7	78481,0	69926,1
Profunda	78001,5	87892,9	87805,3

## Bario

La cantidad puntual máxima cuantificada para el Bario se encontró en la zona comercial y en la superficie, con un valor de 630 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) mientras que el mínimo, de 244 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) se encontró en la zona industrial y en suelos profundos.

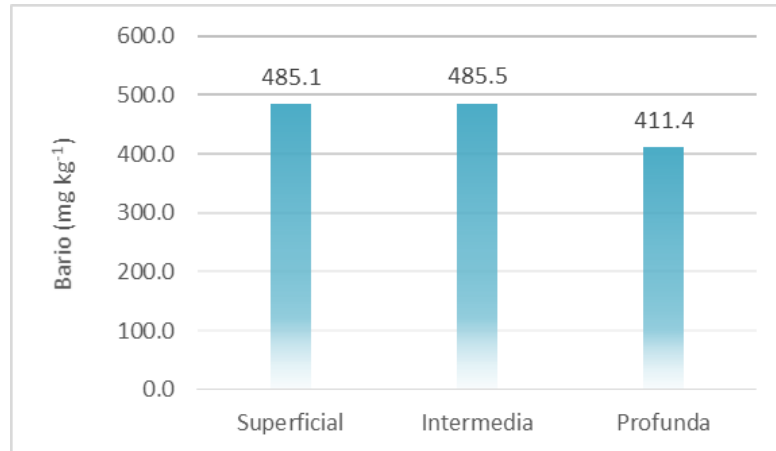
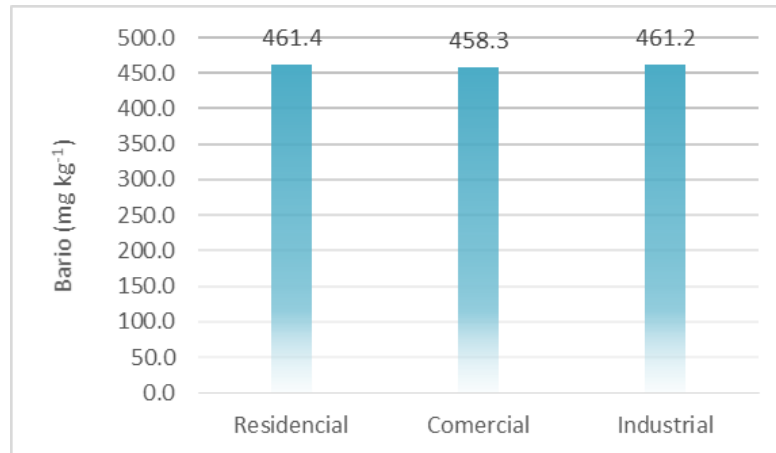


Figura 6. Mediana de los contenidos de Bario ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según distribución vertical en los suelos de



Talcahuano.

Figura 7. Mediana de los contenidos de Bario ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por cada zona en los suelos de Talcahuano.

Según la comparación de las cantidades globales de Bario, no existen diferencias significativas si se consideran las distintas profundidades ( $H_{(2,N=420)}=4,870660$   $p=0,0876$   $\alpha=0,05$ ) (Fig. 6). Lo mismo sucede en el caso de la comparación de las zonas ( $H_{(2, N= 420)} =1,062728$   $p=0,5878$   $\alpha=0,05$ ), donde es aún más evidente la homogeneidad de contenidos (Fig. 7). La mediana general para el Bario se encuentra en los  $461 \text{ mg kg}^{-1}$ , una cantidad relativamente menor pero similar a la informada en bibliografía para el promedio global en suelos de  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  (Alekseenko et al.,2014).

Aun así, si comparamos las profundidades de cada una de las zonas de forma separada, se observa que en la zona residencial los contenidos de Bario superficial son significativamente inferiores que las más profundas ( $H_{(2,N=186)}=11,78985$   $p=0,0028$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 6 Anexos). Lo contrario sucede en las zonas Comercial ( $H_{(2,N=165)} =10,10261$   $p=0,0064$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 7 Anexos) e Industrial ( $H_{(2,N=69)}=11,29854$   $p=0,0035$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 8 Anexos) donde las concentraciones de Bario son mayores y similares en la capas de suelo más superficiales y significativamente inferior en la capa profunda (Fig. 8) (Tabla 8).

Tabla 8. Mediana de los contenidos de Bario ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según distribución vertical y por cada zona en los suelos de Talcahuano.

<b>Bario</b>	Residencial	Comercial	Industrial
Superficial	408	484	517
Intermedia	470	462	490
Profunda	485	429	432

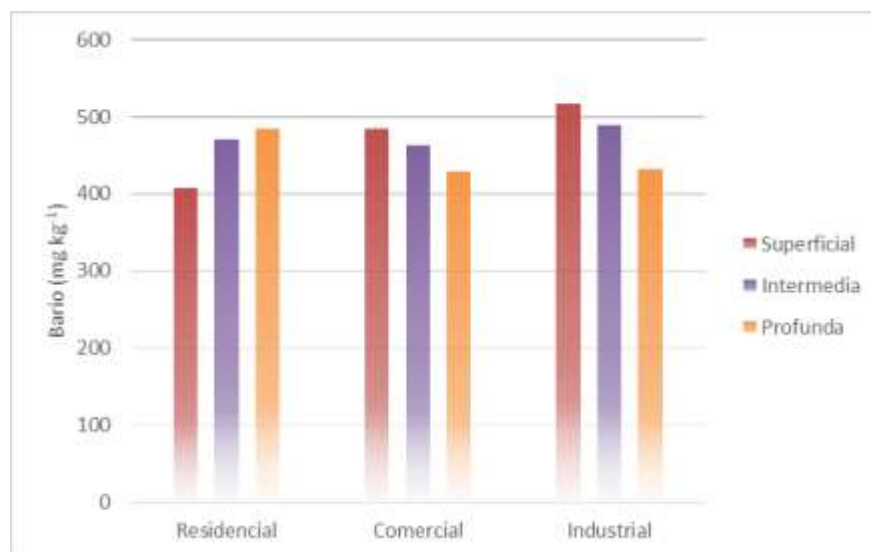


Figura 8. Contenidos de Bario (mg kg<sup>-1</sup>) según su distribución vertical en cada zona (Residencial, Comercial e Industrial) en los suelos de Talcahuano.

En general, el Bario posee una limitada movilidad en suelos debido a la formación de sales insolubles en agua y por no formar complejos solubles con ácidos fúlvicos y húmicos por lo que las diferencias de contenidos observadas en las distintas profundidades de las zonas de Talcahuano deberían estar determinadas por las propiedades del suelo, incluyendo la capacidad de intercambio catiónico, pH y contenidos de carbonato cálcico (EPA, 1984).

### **Cobalto**

Como se puede apreciar en la Tabla 6, el punto en que la cantidad de Cobalto es mayor, corresponde a la zona residencial en la capa superficial de suelo con 95,6 mg kg<sup>-1</sup> y la mínima fue encontrada también en la capa superficial pero en este caso en la zona industrial con un valor de 70,3 mg kg<sup>-1</sup>.

En general, para el Cobalto se obtuvieron resultados bastante homogéneos en contenido. Esto quiere decir que no existen diferencias significativas al comparar los resultados por profundidad ( $H_{(2, N= 420)} = 0,2909$   $p=0,8646$   $\alpha=0,05$ ) (Fig.9) o por zonas ( $H_{(2, N= 420)} = 5,923053$   $p=0,0517$   $\alpha=0,05$ ) (Fig. 10).

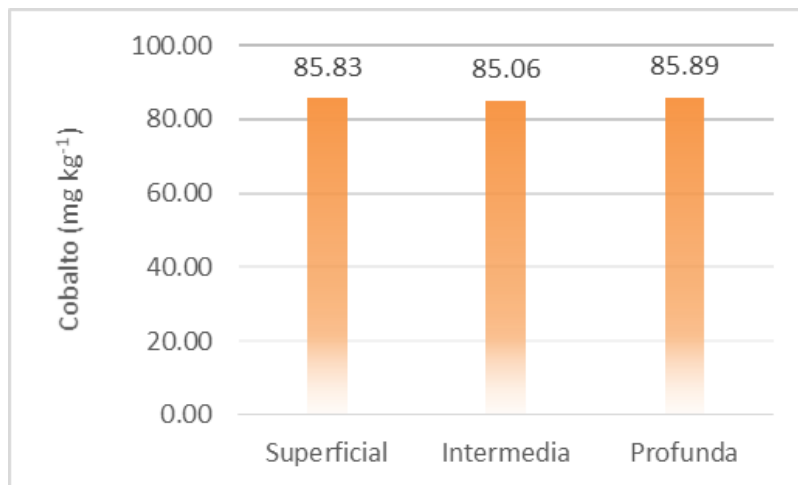


Figura 9. Mediana de los contenidos de Cobalto ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según distribución vertical en los suelos de Talcahuano.

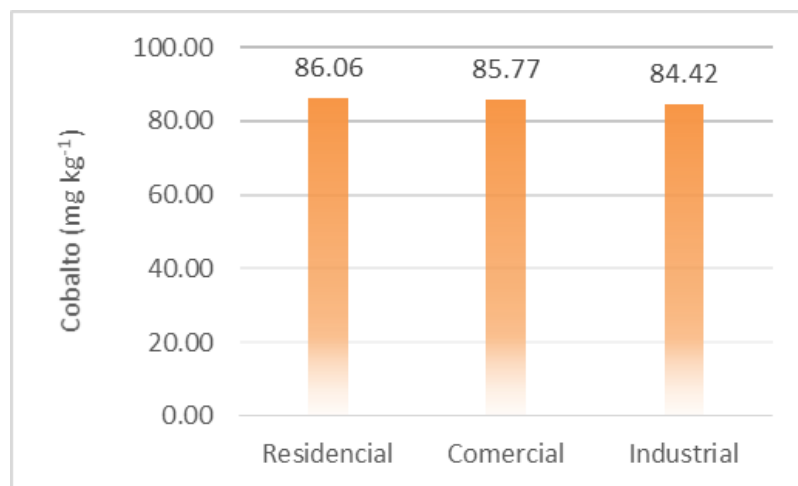


Figura 10. Mediana de los contenidos de Cobalto ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en cada zona en los suelos de Talcahuano.

Lo mismo sucede si se analizan los contenidos de cada zona con respecto a la profundidad (Fig.11) (Tabla 9). Verticalmente las cantidades son homogéneas para cada una de las zonas: Residencial ( $H_{(2,N=187)}=0,1443878$   $p=0,9304$   $\alpha=0,05$ ), Comercial ( $H_{(2,N=165)}=0,1508070$   $p=0,9274$   $\alpha=0,05$ ) e Industrial ( $H_{(2,N=69)}=2,483519$   $p=0,2889$   $\alpha=0,05$ ). Así, el valor de  $85,7 \text{ mg kg}^{-1}$  correspondiente a la mediana general representa bastante bien a los contenidos de Cobalto para todo Talcahuano.

Tabla 9. Mediana de los contenidos de Cobalto ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según distribución vertical y por cada zona en los suelos de Talcahuano.

<b>Cobalto</b>	Residencial	Comercial	Industrial
Superficial	86,3	86,5	83,7
Intermedia	86,2	85,2	82,7
Profunda	85,8	85,0	85,0

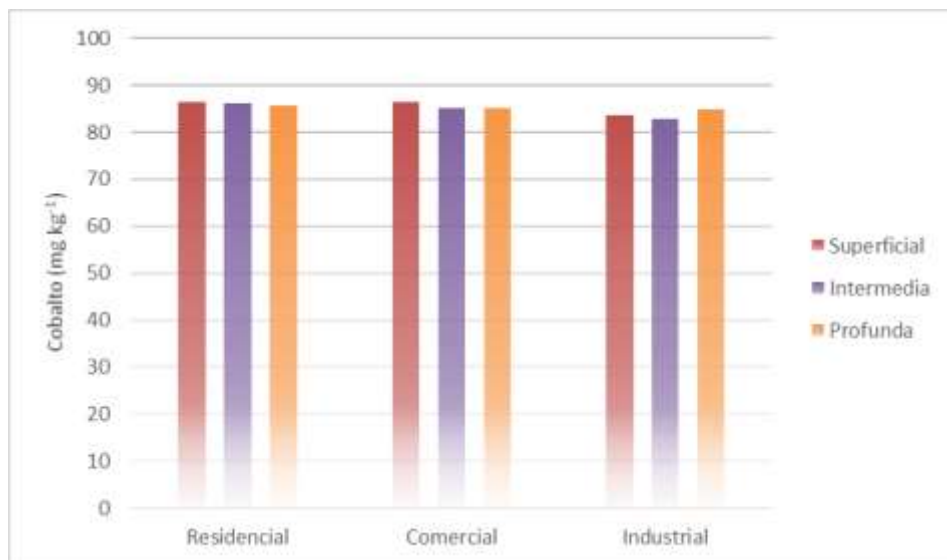


Figura 11. Contenidos de Cobalto ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según su distribución vertical en cada zona (Residencial, Comercial e Industrial) en los suelos de Talcahuano.

El promedio de Cobalto en los suelos terrestres según Alekseenko (2014) corresponde a  $8,00 \text{ mg kg}^{-1}$  y algo mayor en los suelos urbanos ( $14,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Estos son valores mucho menores a los encontrados en los suelos de Talcahuano. Los suelos expuestos a tráfico aéreo, autopistas o contaminación de tipo industrial, pueden contener cantidades de Cobalto superiores (Kloke et al. 1984; Smith & Carson 1981), características que posee Talcahuano y que podría ser la explicación a los altos contenidos cuantificados.

## **Manganeso**

El manganeso presenta en los suelos de Talcahuano su valor máximo de  $4,62 \cdot 10^3 \text{ mg kg}^{-1}$  en la zona residencial y a una profundidad intermedia. Su mínimo es encontrado también en zona residencial pero a mayor profundidad con una magnitud de  $46,8 \text{ mg kg}^{-1}$ . La mediana determinada para el Manganeso ( $312 \text{ mg kg}^{-1}$ ) no concuerda con los valores promedio de bibliografía que informan  $850 \text{ mg kg}^{-1}$  en suelos (Alekseenko, 2014), posiblemente producto de un fondo geoquímico con bajos contenidos de este metal.

La distribución vertical de contenidos de Manganeso en la ciudad de Talcahuano resulta, en general, en una mayor presencia de este metal en las capas superiores de suelo sin diferencias significativas entre ellas pero con una cantidad considerablemente menor en la capa más profunda ( $H_{(2,N=420)}=7,520259$   $p=0.0233$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 9 Anexos) (Fig. 12).

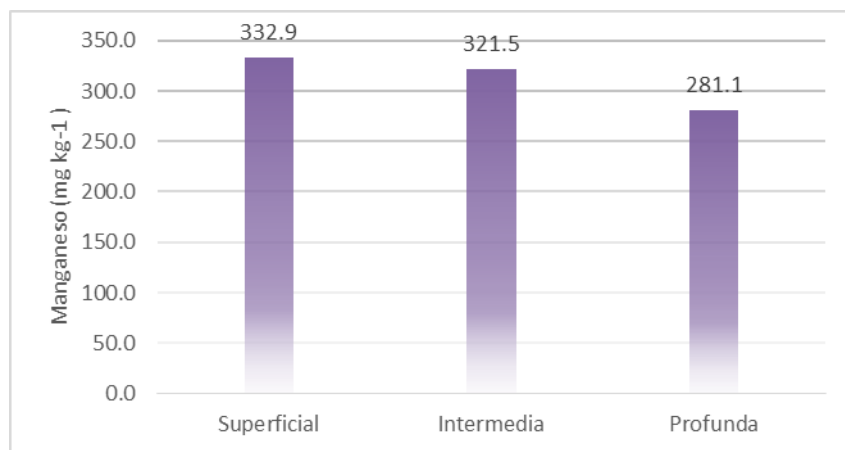


Figura 12. Mediana de los contenidos de Manganeseo (mg kg<sup>-1</sup>) según distribución vertical en los suelos de Talcahuano.

En cuanto a las zonas, los contenidos encontrados en las zonas Residencial e Industrial son similares y mayores, con una presencia significativamente menor en la zona Comercial ( $H_{(2,N=420)}=19,90674$   $p=0,00$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 10 Anexos) (Fig. 13)

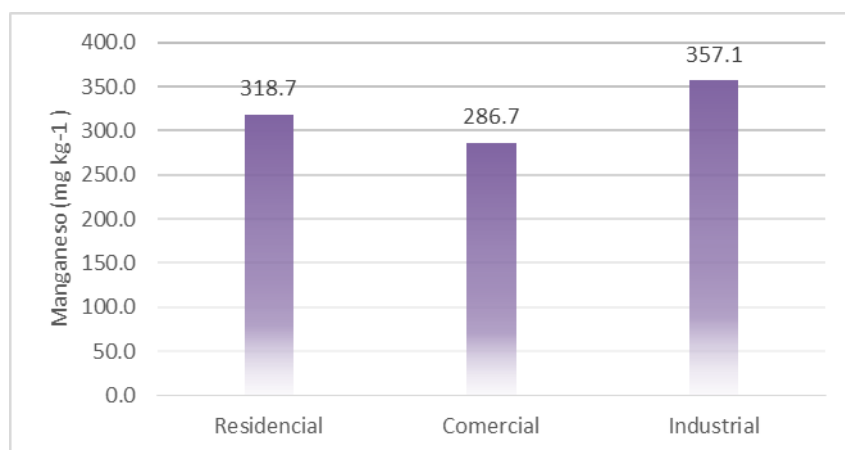


Figura 13. Mediana de los contenidos de Manganeseo (mg kg<sup>-1</sup>) por cada zona en los suelos de Talcahuano.

Analizando los contenidos de la zona Residencial, se determinó que existen diferencias significativas en la distribución vertical del Manganeseo en el suelo

( $H_{(2,N=186)} = 19,86239$   $p=0,0000$   $\alpha=0,05$ ), siendo inferior en la capa superficial y mayor en las capas más profundas (Tabla 11 Anexos). Para la zona Comercial e Industrial, si bien gráficamente se observan diferencias (Fig. 14), estadísticamente son diferencias no considerables y por lo tanto se plantea homogeneidad de contenidos a nivel de profundidad para estas zonas (Comercial:  $H_{(2,N=165)}=1,375734$   $p=0,5026$   $\alpha =0,05$ ) (Industrial:  $H_{(2, N=69)} =3,416698$   $p=0.1812$   $\alpha=0,05$ ).

Tabla 10. Mediana de los contenidos de Manganeso ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según distribución vertical y por cada zona en los suelos de Talcahuano.

<b>Manganeso</b>	Residencial	Comercial	Industrial
Superficial	272	307	404
Intermedia	359	288	371
Profunda	327	278	322

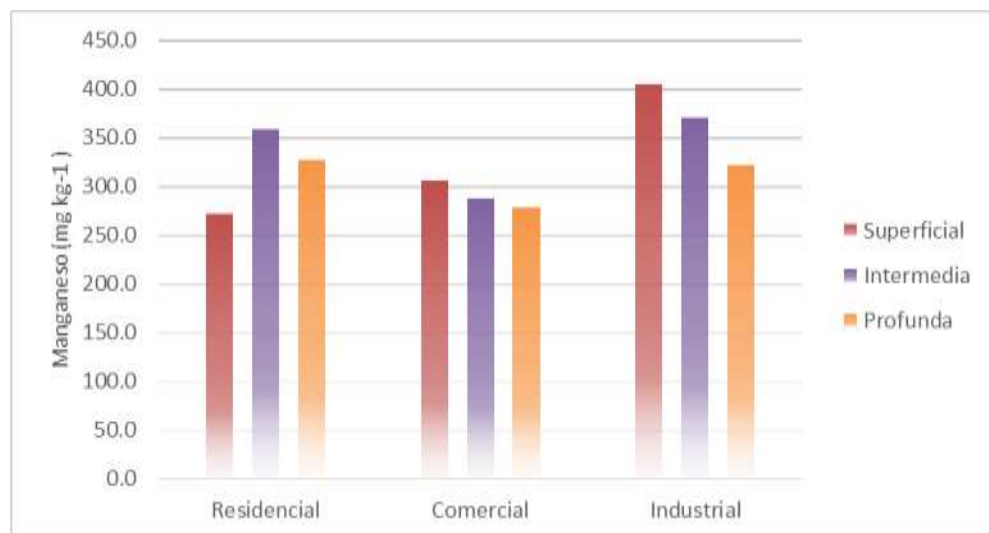


Figura 14. Contenidos de Manganeso ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) según su distribución vertical en cada zona (Residencial, Comercial e Industrial) en los suelos de Talcahuano.

El Manganeseo se encuentra por lo tanto en mayor cantidad en la zona Industrial y Residencial posiblemente debido a aportes externos comunes para este metal, como lo es la deposición atmosférica o fuentes antropogénicas como emisiones industriales asociadas a la producción de acero o quema de combustibles fósiles (OMS, 2004).

### **Vanadio**

Los resultados de contenidos de Vanadio en los suelos de Talcahuano deben ser analizados e interpretados de distinta manera que los metales anteriormente expuestos. El Vanadio, como se indicó anteriormente, se logró detectar tan solo en un 16,2% de las muestras obtenidas (68 de 420) y su cuantificación fue posible solo para un 3,33% de las muestras (14 de 420).

La mediana que describe los contenidos de Vanadio en los suelos de Talcahuano corresponde a  $81,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , una cantidad no muy distinta de los  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  descritos por la bibliografía para el promedio en los suelos del planeta (Alekseenko, 2014).

Los puntos en la cual el suelo posee cantidades cuantificables corresponden a suelo superficial (8 puntos) y suelo intermedio (6 puntos) no existiendo diferencias significativas en sus medianas ( $H_{(1, N=14)} = 1,350$   $p=0,2453$   $\alpha=0,05$ ) (Fig.15). El suelo profundo posee contenidos inferiores al límite de cuantificación del método, correspondiente a  $67,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , por lo que no es posible su consideración. Esto indicaría una posible fuente exógena para las capas de suelo superficiales.

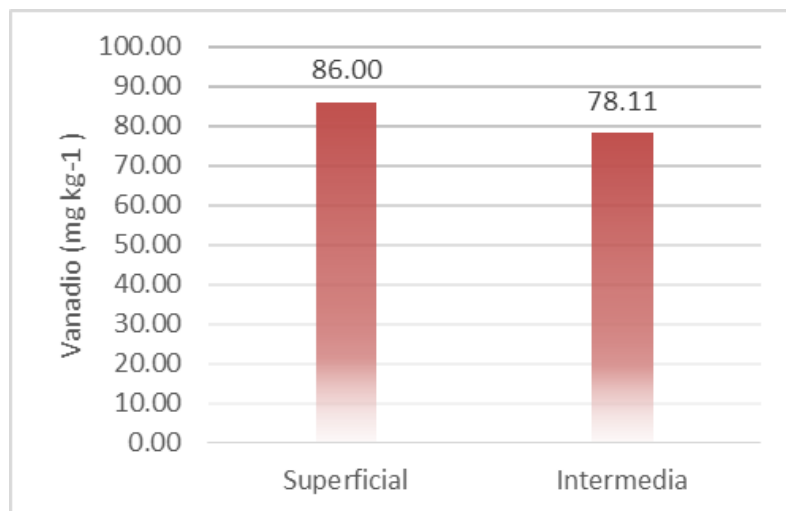


Figura 15. Mediana de los contenidos de Vanadio (mg kg<sup>-1</sup>) según distribución vertical en los suelos de Talcahuano. Se consideran los puntos con concentraciones suficientes como para ser cuantificadas (14 de 420).

Por zonas, es en la Industrial donde se encontraron la mayor cantidad de contenidos cuantificables correspondiente a 7 puntos de muestreo. En la zona Residencial fue posible cuantificar el Vanadio en 5 puntos de muestreo, mientras que en la zona Comercial tan solo en 2 puntos de muestreo.

Comparando las medianas de estos contenidos se obtiene que, donde existen niveles cuantificables del metaloide, es en la zona Residencial donde se presenta en mayor magnitud. Gráficamente se observa un contenido menor en la zona Comercial, pero estadísticamente la diferencia con los contenidos de los puntos en la zona Residencial no es significativa. Sí es significativamente menor la cantidad de Vanadio encontrado en la zona Industrial ( $H_{(2, N= 14)}=7,942041$   $p=0,0189$   $\alpha=0,05$ ) (Tabla 12 Anexos) (Fig.16).

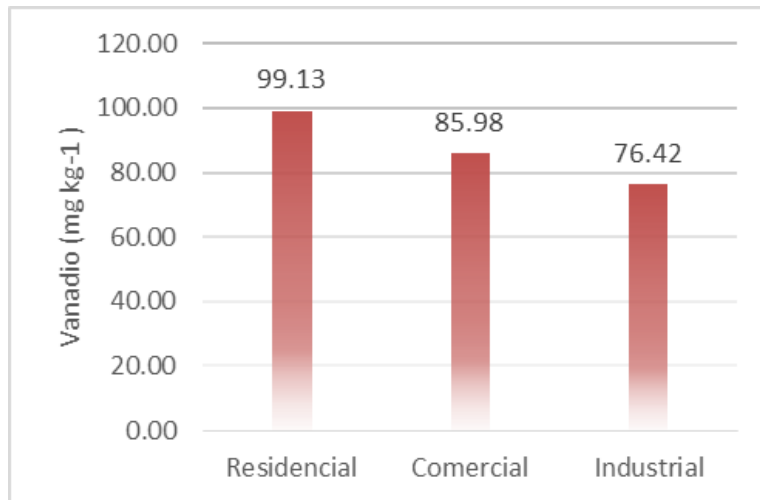


Figura 16. Mediana de los contenidos de Vanadio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por cada zona en los suelos de Talcahuano. Se consideran los puntos con concentraciones suficientes como para ser cuantificadas (14 de 420).

El Vanadio es un metaloide de origen principalmente geogénico, pero la predominancia de los contenidos superficiales y subsuperficiales por sobre las de fondo, además de ser encontrado mayormente en puntos de muestreo ubicados en la zona industrial, indicaría un posible origen por parte de actividades asociadas a la quema de combustibles fósiles. Estas actividades representan una de las principales fuentes de deposición de Vanadio en suelos (Porta et al., 1999).

## CONCLUSIONES

- Considerando los elementos analizados, en los suelos de Talcahuano el Aluminio predomina ( $7,87 \cdot 10^4$  mg kg<sup>-1</sup>), seguido del Bario (461 mg kg<sup>-1</sup>), Manganeso (312 mg kg<sup>-1</sup>) y Cobalto (85,8 mg kg<sup>-1</sup>).
- El Vanadio se encuentra en cantidades cuantificables solo en zonas puntuales de los suelos de Talcahuano, pero donde es cuantificable se encuentra en una magnitud aproximada de 81,4 mg kg<sup>-1</sup> (mediana).
- El Aluminio se encuentra estratificado con una disminución de contenidos hacia la superficie, lo que indica un origen mayoritariamente geogénico.
- En la zona Residencial existe una probable fuente de Aluminio antropogénico que eleva sus contenidos en los suelos superficiales de esta zona a un valor que ronda los 92235,4 mg kg<sup>-1</sup> (mediana).
- Los contenidos de Bario en los suelos de Talcahuano tienden a ser homogéneas en toda su extensión, con cantidades similares especialmente entre las zonas Comercial e Industrial y levemente distintas con las encontradas en la zona Residencial.
- Las leves diferencias de contenidos de Bario se deben probablemente al cambio de las propiedades del suelo.
- El Cobalto se encuentra en los suelos de Talcahuano de forma totalmente homogénea tanto desde el punto de vista de las distintas profundidades como de las distintas zonas, con un contenido representativo de 85,7 mg kg<sup>-1</sup>.

- Los contenidos de Manganeso destacan en los suelos Superficiales de las zonas Industrial y Residencial en la ciudad de Talcahuano. Solo en los suelos Residenciales se observan cantidades menores en la superficie. Esto indica una probable fuente de Manganeso antropogénico.

## REFERENCIAS

- Alekseenko, V.; Alekseenko A. (2014). *The abundances of chemical elements in urban soils*. Journal of Geochemical Exploration. 147:245-249.
- Bullock, P., & Gregory, P.J. (1991). *Soils in the Urban Environment*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 321-324.
- Dorronsoro F, Carlos F. (1998) *El Suelo: Concepto y Formación*. <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/introd.htm>. (Consulta: 1 de abril 2015).
- EPA. Environmental Protection Agency. (1984). *Health effects assessment for barium*. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA540186021.
- Galán Huertos, E., Romero Baena, A. (2008). *Contaminación de suelos por metales pesados*. Macla. 10:48-60
- Kelly, J.; Thornton, I.; Simpson, P.R. (1996). *Urban Geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metals content of soil in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain*. Applied Geochemistry. 363-370.
- Kloke A.; Sauerbeck D.R.; Vetter H. (1984). *The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chains*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 113-141.
- Lacatuso, R. (1998). *Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals*. European soil bureau. Research report N° p393-399.

- Lantzy R.J.; MacKenzie F.T. (1979). *Atmospheric trace metals: Global cycles and assessment of man's impact*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 43:511-525.
- Lechler, P. J.; Roy, W. R.; Leininger, R. K. (1980) *Soil Science*. 130, 238-241.
- Lenntech (2012). *Water treatment*. <http://www.lenntech.es/periodica/tabla-periodica.htm> (Acceso: Agosto 2015).
- Macías, F. (1993). *Información de suelos y evaluación del impacto ambiental: situación actual y perspectivas de futuro*. *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 4:7-20.
- Madrid, F.; Díaz, E. & Madrid, L. (2007). *Metales potencialmente tóxicos en suelos urbanos de Sevilla: relaciones entre los contenidos en suelos y en herbáceas, y distribución espacial*. *Tendencias Actuales de la Ciencia del Suelo*. Sevilla, España. 218-220.
- Navarro, G. (1999). *Química Agrícola*. *Aedos*. 327-330.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2004). *Manganese and its compounds: Environmental Aspect*. *Concise International Chemical Assessment*. Document 63.
- O'Neil M.J.; Smith A.; Heckelman P.E. et al. (2001). *Aluminum and aluminum compounds*. *The Merck index. An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals*. Whitehouse Station, NJ: Merck & Co., Inc., 59-65.

- Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 849pp.
- Sánchez-Camazano, M.; Sánchez-Marín, M. J.; Lorenzo, L. F. (1994). *Lead and Cadmium in soils and vegetables from urban gardens of Salamanca*. Science of the Total Environment. 147: 163-168.
- Sierra, M. (2005). *Niveles de metales pesados y elementos asociados en suelos de la provincia de Almería. Parámetros que los afectan y riesgos de contaminación*. Tesis Doctoral presentada. Universidad de Granada, España.
- Simpson, T. (1996). *Urban soils*. Urban Geoscience. 35-60.
- Smith I.C.; Carson B.L.; (1981). *Trace metals in the environment*. Ann Arbor Science Publishers.
- Staley J.T.; Haupin W. (1992). *Aluminum and aluminum alloys*. Encyclopedia of chemical technology. Vol. 2: Alkanolamines to antibiotics (glycopeptides). 248-249.
- Tume, P; Bech, Jaume. ; Sepúlveda, B.; Tume, L.; Bech, Joan. (2008). *Concentration of heavy metals in urban soils of Talcahuano (Chile): a preliminary study*. Environmental Monitoring and Assessment. 140:91-98.
- Wilcke, W.; Muller, S.; Kanchanakool, L.; Zech, W. (1998). *Urban soil contamination in Bangkok: heavy metal and aluminium partitioning in topsoil*. Geoderma. 86: 211-228.

## ANEXOS

Tabla 1. Comparación múltiple para medianas de contenidos globales de metales en suelos de Talcahuano.

	Al R:1474.0	Ba R:961.16	Co R:219.16	Mn R:715.68
Al		0.00	0.00	0.00
Ba	0.00		0.00	0.00
Co	0.00	0.00		0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	

Tabla 2. Comparación múltiple para medianas de Aluminio en distintas profundidades.

	Superficial R:226.68	Intermedia R:178.85	Profunda R:227.36
Superficial		0.002955	0.001180
Intermedia	0.002955		0.002549
Profunda	0.001800	0.002549	

Tabla 3. Comparación múltiple para medianas de Aluminio de las distintas profundidades de suelo en la zona Comercial de Talcahuano.

	Superficial R:75.891	Intermedia R:69.882	Profunda R:103.23
Superficial		1.000000	0.008085
Intermedia	1.000000		0.000756
Profunda	0.008085	0.000756	

Tabla 4. Comparación múltiple para medianas de Aluminio de las distintas profundidades de suelo en la zona Industrial de Talcahuano.

	Superficial R:31.783	Intermedia R:29.261	Profunda R:43.957
Superficial		1.000000	0.011884
Intermedia	1.000000		0.038973
Profunda	0.011884	0.038973	

Tabla 5. Comparación múltiple para medianas de Aluminio de las distintas profundidades de suelo en la zona Residencial de Talcahuano.

	Superficial R:119.18	Intermedia R:81.177	Profunda R:81.234
Superficial		0.000260	0.000267
Intermedia	0.000260		1.000000
Profunda	0.000267	1.000000	

Tabla 6. Comparación múltiple para medianas de Bario de las distintas profundidades de suelo en la zona Residencial de Talcahuano.

	Superficial R:74.937	Intermedia R:104.00	Profunda R:103.37
Superficial		0.008057	0.009954
Intermedia	0.008057		1.000000
Profunda	0.009954	1.000000	

Tabla 7. Comparación múltiple para medianas de Bario de las distintas profundidades de suelo en la zona Comercial de Talcahuano.

	Superficial R:95.909	Intermedia R:85.745	Profunda R:67.345
Superficial		0.049378	0.005151
Intermedia	0.049378		0.130255
Profunda	0.005151	0.130255	

Tabla 8. Comparación múltiple para medianas de Bario de las distintas profundidades de suelo en la zona Industrial de Talcahuano.

	Superficial R:44.239	Intermedia R:36.283	Profunda R:24.478
Superficial		0.535975	0.002512
Intermedia	0.535975		0.013803
Profunda	0.002512	0.013803	

Tabla 9. Comparación múltiple para medianas de Manganeso en distintas profundidades.

	Superficial R:191.93	Intermedia R:231.66	Profunda R:209.55
Superficial		0.018609	0.047694
Intermedia	0.018609		0.385080
Profunda	0.047694	0.385080	

Tabla 10. Comparación múltiple para medianas de Manganeso en distintas Zonas.

	Comercial R:180.68	Industrial R:252.42	Residencial R:222.47
Comercial		0.000117	0.003898
Industrial	0.000117		0.241746
Residencial	0.003898	0.241746	

Tabla 11. Comparación múltiple para medianas de Manganeso de las distintas profundidades de suelo en la zona Residencial de Talcahuano

	Superficial R:69.460	Intermedia R:109.27	Profunda R:103.66
Superficial		0.000118	0.001237
Intermedia	0.000118		1.000000
Profunda	0.001237	1.000000	

Tabla 12. Comparación múltiple para medianas de Vanadio en distintas Zonas.

	Residencial R:11.200	Comercial R:9.0000	Industrial R:4.4286
Residencial		1.000000	0.017107
Comercial	1.000000		0.518707
Industrial	0.017107	0.518707	