



**FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2014**

**REGIÓN DE ATACAMA**

**PROYECTO**

**FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES  
REGIONALES PARA LA EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE  
PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA  
QUE AFECTEN LA SALUD DE LA POBLACIÓN**

**INFORME FINAL**

**Ejecutor:**

Centro de Tecnologías Ambientales  
Universidad Técnica Federico Santa María

**Director del Proyecto:**

Prof. Dr. Francisco Cereceda



**UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA**

---

**AGOSTO 2016**

**EQUIPO DE TRABAJO****Prof. Dr. Francisco Cereceda Balic**

Químico y Licenciado en Química, Universidad Católica de Valparaíso  
Dr. rer. nat. en Química Analítica Ambiental, Centro de investigaciones de Jülich y Universidad de Düsseldorf, Alemania  
Director del Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM)  
Director del Laboratorio de Química Ambiental (LQA)  
Profesor Titular del Departamento de Química  
Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM)

**Dr. Mario Funes Huerta**

Químico y Licenciado en Química, Universidad Católica de Valparaíso  
Dr. en Química, Universidad Católica de Valparaíso  
Investigador de CETAM-UTFSM

**Sr. Víctor Vidal Cortéz**

Químico Industrial, Universidad Católica de Valparaíso  
Jefe de Laboratorio de Química Ambiental (LQA) CETAM –UTFSM  
Investigador de CETAM-UTFSM

**Sra. Ximena Fadic Ruiz**

Ingeniero Agrónomo, Universidad Católica de Valparaíso  
Investigadora CETAM-UTFSM

**Sr. Patricio Llanos**

Técnico Analista Químico CETAM-UTFSM

**Sra. Loreto Meza**

Ing. Comercial  
Ingeniero de Proyectos CETAM-UTFSM

**Sra. Marcela Aranda**

Secretaria Administrativa  
CETAM-UTFSM

## INDICE

RESUMEN EJECUTIVO	5
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	21
RESULTADOS	22
I.    CAPACITACIÓN A PROFESIONALES DE LA SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE Y SALUD DE LA REGIÓN DE ATACAMA	22
II.   ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN	28
III.  VALIDACIÓN DE METODOLOGÍAS INSTRUMENTALES	40
IV.   CAMPAÑAS DE MONITOREO	46
IV.1 PRIMERA CAMPAÑA - ENERO 2015	46
IV.2 SEGUNDA Y TERCERA CAMPAÑA - ABRIL 2015 Y NOVIEMBRE 2015	57
IV.3 CUARTA CAMPAÑA – HUASCO - ABRIL 2016	60
V.    RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO	63
V.1 CARACTERIZACIÓN DE AEROSOLES EN LA REGIÓN DE ATACAMA	63
V.1.1 CAMPAÑA ENERO 2015	64
V.1.2 CAMPAÑA ABRIL 2015	69
V.1.3 CAMPAÑA NOVIEMBRE 2015	73
V.1.4 CAMPAÑA ABRIL 2016	80
V.2 EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PRESENCIA DE ELEMENTOS EN LA REGIÓN DE ATACAMA	84
V.2.1 METODOLOGÍA UTILIZADA	84
V.2.2 RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN MPS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO ABRIL-DICIEMBRE 2015.	90
V.2.3 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN SUELOS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO 2015.	118
V.2.4 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN MPS EN CAMPAÑA DE MONITOREO HUASCO	123
V.2.5 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN SUELOS EN CAMPAÑA DE MONITOREO HUASCO	133

V.3 EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PRESENCIA MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA REGIÓN DE ATACAMA; FLUJO, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y pH	139
V.3.1 METODOLOGÍA	139
V.3.2 RESULTADOS DEL FLUJO DE MPS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE ABRIL-DICIEMBRE 2015	143
V.3.3 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN MPS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE ABRIL-DICIEMBRE 2015	147
V.3.4 DETERMINACIÓN DEL pH EN MPS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE MONITOREO DE ABRIL-DICIEMBRE 2015	149
V.3.5 RESULTADOS DEL FLUJO DE MPS EN CAMPAÑA DE MONITOREO DE HUASCO	150
V.3.6 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN MPS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE HUASCO	151
V.3.7 DETERMINACIÓN DEL pH EN MPS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE HUASCO	151
V.4 EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PRESENCIA DE IONES EN LA REGIÓN DE ATACAMA	152
V.4.1 METODOLOGÍA	152
V.4.2 DETERMINACIÓN DE IONES EN MPS EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE ABRIL-DICIEMBRE 2015	153
V.4.3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE IONES EN SUELO EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE ABRIL-DICIEMBRE 2015	161
V.4.4 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE IONES EN MPS EN CAMPAÑA DE MONITOREO HUASCO	163
V.4.5 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE IONES EN SUELOS EN CAMPAÑA DE MONITOREO HUASCO	165
CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO	168
PROYECCIONES Y RECOMENDACIONES	174
ANEXOS	176

## RESUMEN EJECUTIVO

La contaminación atmosférica es responsable de gran parte de las enfermedades respiratorias de la población en las ciudades de Chile. En la Región de Atacama, las mediciones de material particulado (MP) realizadas por la SEREMI muestran en los últimos años (2000 – 2008) niveles superiores al fijado por la norma nacional. Actualmente las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla están en proceso de declaración de zona saturada por material particulado MP10 y Huasco se encuentra declarada en estado de latencia para este contaminante desde al año 2012.

Un mecanismo natural para la eliminación de elementos químicos contaminantes desde la atmósfera es la deposición total. La forma más simple de deposición es la caída de las partículas por gravedad hasta la superficie terrestre, proceso conocido como sedimentación y que normalmente afecta a las partículas de tamaño aerodinámico mayor a 10  $\mu\text{m}$ , mientras que las partículas más pequeñas son capaces de mantenerse suspendidas en la atmósfera. Por eso las partículas más grandes se encuentran siempre cerca de la fuente donde se producen. A estas partículas se les denomina Material Particulado Sedimentable o MPS.

La concentración y composición química de las partículas en la atmósfera puede cambiar a través de diversos mecanismos físico-químicos, pudiendo impactar finalmente en otras matrices ambientales, en actividades agrícolas y zonas pobladas. Por esto es necesario entender el rol de la deposición atmosférica; cuál es el tipo de aporte y las características de los contaminantes químicos que incorpora al ecosistema.

Una de las fuentes emisoras importantes de MPS es el suelo, esto gracias a la presencia de material suelto y/o erosionable del suelo, que se puede resuspender por la acción erosiva producida por variables ambientales (por ej. viento, inundaciones, lluvia, etc.) o antropogénicas (por ej. paso de vehículos en caminos sin pavimentar), sobre este compartimento ambiental.

En el caso de Atacama, este proceso cobró mayor importancia debido a la gran cantidad de material sólido que fue arrastrado durante los aluviones de marzo del año 2015, proporcionando cantidades enormes de sedimentos, barros, lodos y otros materiales que pudieran haber estado contaminados con material de relaves y otros pasivos mineros repartidos en la zona. De esta forma, las características químicas de este MPS tendrían relación directa con las características químicas del material sólido que se hubiese resuspendido, por ello se hizo muy necesario investigar cuál fue el enriquecimiento de iones, elementos metálicos, pH y conductividad en este MPS y del material sólido originario presente en las áreas de estudio, es decir suelo, lodos u otros materiales sólidos existentes.

Para ello en este proyecto se aplicó un innovador concepto denominado “huella química”, el cual, a través de la caracterización química de contaminantes específicos en suelos y deposiciones atmosféricas, permite establecer perfiles, similitudes y orígenes de dichos contaminantes mediante la utilización de herramientas estadísticas avanzadas para determinar el origen (fuente) y destino (impacto) de dichos contaminantes.

Para abordar la problemática descrita mediante el uso de las metodologías expuestas, el Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Técnica Federico Santa María, realizó el presente estudio, financiado por el programa del FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD de la REGIÓN DE ATACAMA, FIC-ATACAMA-2014, con el objetivo central de caracterizar y clarificar la existencia y magnitud de los fenómenos de contaminación atmosférica mediante la determinación de la calidad química de la deposición seca, total y del suelo, en las localidades de Diego de Almagro, El Salado y Chañaral, en el Valle del Río Salado; Tierra Amarilla y Copiapó (Paipote), en el Valle del Río Copiapó, y en Huasco y camino a Vallenar, en el Valle del Río Huasco. Además, se caracterizó los aerosoles atmosféricos, la fracción del material particulado fino que se mantiene en suspensión, en las mismas áreas estudiadas, en cuanto a su distribución por tamaño.

Para lograr los objetivos antes mencionados, se realizaron cuatro campañas de monitoreo de suelo y aerosoles atmosféricos, además de campañas de monitoreo semanal de deposición total, éstas últimas con una duración total de 35 semanas. Las muestras de suelo fueron caracterizadas en su composición de elementos metálicos, iones (cationes y aniones), pH y conductividad eléctrica. Los aerosoles atmosféricos fueron caracterizados en relación a su distribución de MP10, MP2,5 y MP1. La deposición atmosférica se recolectó con una frecuencia semanal, y en ella se caracterizó su gravimetría, composición de elementos metálicos, iones, pH y conductividad. Los datos obtenidos fueron analizados con herramientas estadísticas avanzadas para establecer la existencia o no de asociaciones entre contaminantes para determinar el origen (fuente) y destino (impacto) de dichos contaminantes.

Otro objetivo de este proyecto fue desarrollar e implementar un programa de capacitación orientado a los profesionales de la SEREMIAS de Salud y Medio Ambiente de la Región de Atacama en temas de contaminación atmosférica, métodos de monitoreo y análisis de muestras e interpretación de resultados, el que se realizó exitosamente en el mes de Noviembre del 2015 con la colaboración de investigadores del Centro de Tecnologías Ambientales, completando 61 horas pedagógicas de contacto directo. El programa abordó los siguientes temas:

Composición y dinámica atmosférica

Tipos de contaminantes atmosféricos

Contaminación atmosférica en Chile

Medición de material particulado y otros contaminantes atmosféricos

Control de calidad y validación de resultados

3 visitas a diferentes Laboratorios de Química Ambiental del Centro de Tecnologías Ambientales de la UTFSM

2 salidas a terreno (1 en R. de Atacama y 1 en R. de Valparaíso)

En este programa de capacitación participaron 5 profesionales de la SEREMI de Salud y 2 de la SEREMI del Medio Ambiente, todos de la Región de Atacama.

Gracias al logro de los objetivos antes descritos, la Región de Atacama cuenta ahora con una línea de base ambiental de la calidad del aire para cada una de las localidades antes descritas, sobre iones y elementos presentes en el MPS, que sirve como herramienta de gestión para evaluar impactos producidos por actividades industriales u otros fenómenos naturales presentes y futuros que se produzcan en la región.

Además, cuenta con profesionales capacitados para mejorar la calidad del control y fiscalización de las estaciones de monitoreo ambiental de las redes de calidad de aire de la región, los que podrán optimizar el proceso de recolección de datos o registros de monitoreo atmosférico de la Región de Atacama y con ello mejorar la comprensión de los procesos de contaminación que ocurren en la región, como su transporte e impacto en zonas pobladas. Mejorará, también, la comprensión sobre los contaminantes que se encuentran en el aire ambiente y su impacto en la salud de la población. Finalmente, los organismos correspondientes contarán con antecedentes y argumentos sólidos para solicitar la ampliación de las capacidades regionales y mejorar los sistemas actuales de vigilancia ambiental, como, por ejemplo, implementando un monitoreo sistemático de las deposiciones atmosféricas, que incluya toma, recolección, almacenamiento, tratamiento y análisis de muestras recolectadas, y así continuar con el registro obtenido en el presente proyecto.

### **Proyecciones y recomendaciones**

Las campañas muestran que la medición de PM es una herramienta útil para distinguir los efectos de los distintos tipos de contaminación por PM en la zona.

Se verifica la necesidad de monitorear en forma permanente PM en sus distintas fracciones para poder completar la información del origen, distribución e impacto del PM

Se debe continuar con el monitoreo del MPS en las distintas zonas de estudio para evaluar el impacto de este contaminante en el largo plazo

Para completar la comprensión del impacto del MPS es necesario realizar estudios de resuspensión de los materiales sólidos de la zona (sedimentos, relaves, escoriales, entre otros pasivos mineros) en una cámara de resuspensión de MP.

El estudio del pH, conductividad, iones y elementos demostraron ser herramientas útiles para estimar la carga de contaminantes presentes en el MPS, se hace necesario seguir midiéndolos en forma continua en campañas de monitoreo sistemáticas para evaluar su evolución en el tiempo.

Es necesario incorporar el análisis de las variables meteorológicas idealmente en cada sitio de monitoreo.

Es necesario sistematizar la operación en terreno y laboratorio del uso de la técnica de XRF portátil para análisis de elementos (QA/QC) con el fin de tener confianza en los resultados obtenidos con esta técnica.

Estudiar la posibilidad de la elaboración de una norma de MPS para extenderla al resto de la región de Atacama.

Evaluación del estado de la red de calidad del aire de la Región de Atacama con énfasis en su ubicación, representatividad, cumplimiento de normas y QA/QC de la data generada.

Explorar estudios de evaluación de toxicidad e impacto en la salud asociado a problemas de contaminación del aire en la región de Atacama.

Realizar estudios de análisis de riesgo ambiental y en salud asociados a problemas de contaminación del aire en la región de Atacama.

Continuar con el apoyo y colaboración entre el CETAM-UTFSM, las SEREMIS y el futuro laboratorio de calidad del aire de la Región de Atacama.

Reforzar la capacitación y transferencia de know-how al personal de la SEREMI de Salud y SEREMI de Medio Ambiente en temas de monitoreo, tratamiento de muestras y análisis de calidad del aire con énfasis en QA/QC y tratamiento de datos.

## INTRODUCCIÓN

### FUNDAMENTACIÓN Y JUSTIFICACION DE LA INICIATIVA

A escala país, la contaminación atmosférica es responsable de gran parte de las enfermedades respiratorias de la población en las ciudades de Chile (Román et al 2004). A su vez, debido a procesos de deposición e infiltración, las emisiones de contaminantes a la atmosfera pueden llegar a afectar las fuentes de agua y la producción agrícola, acarreando diversos daños en la salud (Driscoll et al 2003, Sheppard et al 2007). En Santiago de Chile vive un tercio de la población del país y presenta altos niveles de contaminación del aire en la mayor parte del año (principalmente material particulado en invierno y ozono en verano), debido a lo cual se han implementado medidas tendientes a reducir las emisiones de fuentes fijas y móviles. Estas medidas han tenido un efecto positivo, por ejemplo, en la disminución de las concentraciones de plomo en la atmósfera debido a la eliminación gradual de la gasolina con plomo, o la disminución de SO<sub>2</sub>, exigiendo la disminución del azufre en los combustibles. Sin embargo, las concentraciones de material particulado (MP) siguen siendo superiores a las normas nacionales e internacionales, no sólo en Santiago, sino también en Iquique, Valparaíso, Viña del Mar, Rancagua, Temuco y otras ciudades del Sur (Kavouras et al., 2001; Sax et al., 2007).

En la Región de Atacama, la SEREMI de Salud ha estado a cargo de registrar las mediciones MP, donde en los últimos años (2000 – 2008) los promedios anuales de MP10 han superado el nivel fijado por la norma anual para este contaminante en Copiapó y Tierra Amarilla, lo que ha producido que actualmente este en proceso de declaración de zona saturada por material particulado MP10 en las comunas de Copiapó, Tierra Amarilla y Huasco. Estudios sobre la contribución de cada tipo de fuentes a la concentración de aerosoles contaminantes en la Región de Atacama pueden ayudar a evaluar de mejor manera el riesgo para la salud de la población y el medio ambiente producto de la contaminación del aire, contribuyendo al mejoramiento de las estrategias de seguimiento, control y mitigación de este tipo de contaminación.

En este contexto el Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Técnica Federico Santa María (CETAM-UTFSM) tiene una experiencia de más de 15 años en la temática de contaminación química atmosférica, desarrollando campañas de monitoreo de la contaminación atmosférica en distintas ciudades de Chile, concentrándose en los problemas de especiación de elementos, iones y compuestos orgánicos, presentes en gases y partículas de los aerosoles atmosféricos urbanos.

El fenómeno de la deposición atmosférica ácida ya sea en la forma de lluvia, nieve, niebla o partículas, ha sido ampliamente estudiado durante los últimos años en diferentes sitios y lugares del mundo debido a su efecto adverso sobre los ecosistemas y la salud del ser humano.

La producción de ácidos fuertes a partir de la presencia de gases atmosféricos como  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , son los principales causantes de deposición ácida. Los óxidos de azufre y de nitrógeno una vez formados son oxidados por radicales hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ) con lentitud (horas o días) en la atmósfera, hasta formar los respectivos ácidos, sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) de acuerdo a la humedad ambiente. Este fenómeno ha sido identificado en muchas zonas del mundo y está asociado principalmente a los procesos industriales de alta temperatura tales como combustión de petróleo, gasolina y carbón; tostación y fundición de minerales; plantas de producción de cemento; generación de energía, entre otras. Por otro lado, este tipo de procesos productivos de alta temperatura también se encuentran asociados a otro tipo de emisiones hacia la atmósfera, tales como los metales traza, que posteriormente son depositados en la superficie terrestre vía deposición húmeda (eventos de precipitaciones) y/o deposición seca.

La deposición del material particulado es un mecanismo natural que elimina elementos químicos contaminantes desde la atmósfera. Sin embargo, antes de que las partículas alcancen la superficie de la tierra por procesos naturales, su tamaño, concentración y composición química puede cambiar a través de diversos mecanismos. La deposición seca se define como el mecanismo en que las partículas pueden ser eliminadas desde la atmósfera cayendo sobre la superficie terrestre debido a su tamaño y masa, atraídos por la fuerza de gravedad, sin la intervención de los hidrometeoros (agua de lluvia, rocío, neblina, nieve, etc.). Mientras que la deposición húmeda se describe como la transferencia de partículas atmosféricas hacia la superficie terrestre asociadas a hidrometeoros que favorecen su descenso y eliminación.

La forma más simple de deposición es la caída de las partículas por gravedad hasta la superficie terrestre, este proceso se llama sedimentación y normalmente afecta a las partículas de tamaño mayor a  $10\ \mu\text{m}$ , mientras que las partículas más pequeñas son capaces de mantenerse suspendidas en la atmósfera, por eso las partículas más grandes se encuentran siempre más cerca de la fuente donde se producen.

Es interesante hacer notar, que las nubes se forman gracias a la presencia de los aerosoles atmosféricos (pequeñas partículas que están suspendidas en una fase gaseosa y/o líquida), que actúan como núcleos de condensación formando las pequeñas gotas iniciales del agua de lluvia, las cuales van creciendo por coalescencia hasta alcanzar un tamaño que las hace caer por su propio peso en su descenso a la superficie terrestre. De esta forma, la deposición húmeda se produce entonces siempre que exista la presencia de agua atmosférica, ya sea en el interior de las nubes o por debajo de ellas y las mencionadas partículas o núcleos de condensación. La deposición húmeda constituye uno de los mecanismos más importantes y eficientes para la limpieza natural atmosférica, permitiendo la remoción de compuestos químicos contaminantes asociados tanto a gases como a partículas.

En el caso de los elementos traza (metales y metaloides), estos son removidos desde la atmósfera mediante deposición seca y húmeda, para luego concentrarse enriqueciendo otros compartimentos ambientales, como el suelo, los cursos de agua y la biósfera.

Por otro lado, el fenómeno de la deposición ácida, aumenta la acidez de las aguas de ríos y cuerpos de agua, lo que se traduce en importantes daños en la vida acuática, tanto piscícola como vegetal. También aumenta la acidez de los suelos, lo que se traduce en cambios en su composición, produciéndose la lixiviación de nutrientes importantes para las plantas, tales como el calcio, y movilizándolo metales tóxicos que estaban originalmente complejados (inmovilizados, no biodisponibles), tales como el aluminio, cadmio níquel, manganeso, plomo, mercurio, que de esta forma no solo pueden ahora ser absorbidos por los vegetales (biodisponibles), sino que además se introducen también en las corrientes de agua, pudiendo alcanzar incluso las napas freáticas. Los efectos de esta mayor acidez en el suelo también producen un deterioro de los microorganismos del suelo, afectando fuertemente a la rizósfera, dañando la base del equilibrio del suelo generando un inevitable deterioro de este recurso natural. La vegetación expuesta directamente a la deposición ácida sufre incluso la muerte de muchas especies, que no logran soportar el nivel de acidez.

En estos fenómenos juega un rol muy importante la capacidad tampón que tenga el suelo, en otras palabras, la capacidad de neutralizar los iones  $H^+$  en solución acuosa, los cuales forman realmente los denominados iones hidronios ( $H_3O^+$ ), que pudieran ser aportados por la deposición (lluvia) ácida. En general los suelos alcalinos, o sea con presencias importantes de caliza ( $CaCO_3$ ), son capaces de neutralizar gran parte de los iones hidronios que aporta la deposición ácida, por el contrario, suelos ácidos pobres en contenidos de caliza, estarán más propensos a sufrir los efectos adversos de la deposición ácida. De la misma forma, en aquellos lugares donde hay presencia de iones neutralizantes en el material particulado atmosférico, que dan cuenta de la presencia de carbonato ( $CO_3^{2-}$ ) en la atmósfera, como los contra iones  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $NH_4^+$ , se puede esperar un efecto de neutralización semejante al de los suelos básicos, producto esta vez de la neutralización directamente en la atmósfera, produciendo una disminución de la acidez de la lluvia y de la deposición seca y/o total, generando entonces menores efectos sobre los ecosistemas y el hombre. El origen (fuentes antropogénicas y/o naturales) y la forma en que estos iones neutralizantes se incorporan al material particulado (aerosol ácido) o directamente al agua de lluvia (u otros hidrometeoros), es algo que necesita ser estudiado en cada caso particular, ya que no hay una única respuesta a esta pregunta. Finalmente, el grado de acidez resultante de la deposición atmosférica dependerá de todos estos factores concomitantes.

La huella dactilar química del material particulado depende de su fuente de origen, la cual influye en la composición química y físicas de las partículas. De esta forma el material particulado transportado a través de la atmósfera y depositado sobre la superficie del

suelo puede ser asociado a una fuente de origen en particular al coincidir las características químicas y físicas entre su fuente y el material particulado depositado.

#### IMPORTANCIA DE LA DEPOSICIÓN TOTAL Y MUESTRAS DE SUELO EN EL VALLE DEL HUASCO Y DE COPIAPÓ.

Uno de los posibles mecanismos naturales para la limpieza y eliminación de contaminantes químicos desde la atmósfera es la deposición total (partículas + hidrometeoros), sin embargo y dado que antes de que las deposiciones alcancen la superficie de la tierra por procesos naturales, el tamaño de las partículas, su concentración y composición química puede cambiar a través de diversos mecanismos, es necesario entender el rol de este tipo de deposición atmosférica, como por ejemplo cuál es el tipo de aporte y las características de los contaminantes químicos que incorpora a los distintos compartimentos ambientales y al ecosistema.

A lo anterior se suma el hecho de que uno de los sumideros naturales de la deposición atmosférica es el suelo, por lo que se hace muy necesario investigar cual es el enriquecimiento de iones, elementos y el cambio del pH en el suelo como producto de los aportes realizados por estas deposiciones. Esto permitiría determinar cuál ha sido la evolución de las características fisicoquímicas del suelo del Valle y como se ha modificado (enriquecido en iones y elementos) este compartimento ambiental producto de la actividad industrial de la zona en estudio. En vista de todos los antecedentes descritos previamente, la evaluación de la deposición total, complementado con el análisis de suelo, aportaría información determinante y vital para establecer el efecto global de la contaminación atmosférica sobre los ecosistema de los sectores de Huasco, Tierra Amarilla y Copiapó, permitiendo desarrollar una importante herramienta de gestión con miras a minimizar el impacto ambiental por la emisiones de las empresas del sector minero-energético asentadas en la zona, así como por los pasivos mineros existentes.

#### SÍNTESIS GEOGRÁFICA DE LA REGIÓN DE ATACAMA

En esta región es factible distinguir cuatro tipos de clima en sentido longitudinal, vale decir de Oeste a Este: Desértico Costero con Nubosidad Abundante, Desértico Transicional, Desértico Frío de Montaña y Tundra de Alta Montaña.

Desértico Costero con Nubosidad Abundante: Se caracteriza por presentar nubosidad y niebla nocturna con una gran continuidad durante todo el año. Presenta una humedad relativa media anual de 74%. Las precipitaciones se presentan de preferencia en los meses de junio a agosto, con una media anual de 12 mm en Chañaral, 24 mm en Caldera y 37 mm en Freirina. En cuanto a las temperaturas, la faja costera puede calificarse como templada, ya que todos los meses presentan en promedio entre 10° y 20 °C, con una oscilación diaria de 7,5 °C, que refleja la influencia marina, de la relación entre precipitación y temperatura se puede decir que todos los meses del año son secos.

Desértico Transicional: Entre el límite del área de nubosidad costera y los 1.200 m a 1.500 m de altitud, se desarrolla un medio árido de ancho variable sometido al influjo de la inversión de la temperatura producida por la subsidencia de aire del Anticiclón del Pacífico. La ciudad de Copiapó, por ejemplo, presenta 120 días despejados al año y una temperatura media anual de 17,7 °C, con una oscilación media diaria de 16 °C, valor que duplica a los registrados en el sector costero. El periodo en que se presentan las lluvias corresponde al invierno. Esta área se caracteriza por la transparencia de la atmósfera, que se hace más intensa a medida que se avanza hacia el este.

Desértico Frío de Montaña: Por sobre los 1.500 m y hasta los 4.000 m de altitud se ubica el desierto frío, donde la fluctuación de las temperaturas es regulada por la altitud. La característica más importante de este ambiente es la gran sequedad del aire, las precipitaciones aquí presentes son de régimen invernal.

Tundra de Alta Montaña: Se caracteriza por presentar bajas temperaturas durante todo el año, con variación bajo y sobre cero. El límite inferior de este clima varía entre los 4.000 y 4.500 m en el sector septentrional y hasta los 3.500 a 3.800 m en la parte meridional; presenta oscilaciones diarias de temperatura superiores a 15 °C.

## POBLACIÓN

De acuerdo a información obtenida del XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda, realizado en abril del año 2002, la población regional es de 254.336 habitantes, representando el 1,68% de la población nacional. La densidad regional es de 3,38 habitantes/ km<sup>2</sup>. La distribución Espacial de la población se localiza de preferencia a lo largo de los valles más prominentes, donde el recurso hídrico y los recursos mineros vivifican el desierto. Los valles de los ríos Copiapó y Huasco concentran gran parte de la población urbana y el mayor contingente rural, el que se densifica en las tierras que disponen de regadío y por ende agricultura.

Las principales localidades urbanas se alinean junto a las vías de comunicación que siguen el trazado de los valles hacia el puerto de embarque o hacia la conexión con la Carretera Panamericana. Se pueden diferenciar cuatro áreas de localización de población, Sector Costero, Cuenca Diego de Almagro, Valle de los Ríos Copiapó y Huasco y Precordillera.

Sector Costero: Destacan algunos centros urbanos tales como Chañaral, Caldera, a pesar de disponer de un extenso litoral.

Cuenca Diego de Almagro: En ella se asienta la ciudad de igual nombre y la localidad de El Salado.

Valles de los Ríos Copiapó y Huasco: En esta área se localiza el grueso de la población urbana y rural, destacando en el valle del río Copiapó los centros urbanos de Copiapó,

Paipote y Tierra Amarilla, y en el valle del Huasco encontramos los centros urbanos de Vallenar, Freirina y Huasco.

Precordillera: Destacan los centros urbanos de El Salvador y Potrerillo, que deben su origen a la industria de la gran minería del cobre.

#### LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE HUASCO Y COPIAPO

Los centros industriales emiten una serie de contaminantes hacia la atmósfera destacándose, material particulado, metales pesados, compuestos orgánicos y otros gases inorgánicos como  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  (Baez, et. al, 2007) que son importantes precursores de deposición ácida, por lo que su monitoreo y control se hace indispensable. Desde el punto de vista de los efectos y en particular el de la deposición ácida, hay suficiente evidencia científica que demuestra el efecto nocivo de este fenómeno atmosférico sobre los materiales, la flora y fauna, los cultivos, los suelos y el ser humano, sin embargo, el estudio de la magnitud y/o los efectos de la deposición ácida no responde la pregunta de qué fuente industrial es la principal fuente de contaminación en el Valle del río Huasco o en el Valle del río Copiapó, ni cuál es el grado de participación de cada una de ellas en este u otros fenómenos de contaminación atmosférica. Por lo tanto, se hace necesario estudiar el impacto de otros contaminantes que pueden ser usados como marcadores o trazadores de fuentes específicas de contaminación. Por ejemplo, metales como el Cu, Cd, Pb, Mn, Zn, V, Ni y Cr pueden ser emitidos desde fuentes particulares como las grandes fundiciones (Ross, et.al, 1986; Szefer, et.al, 1986; Nriagu, et.al, 1989). Ni y Mn son principalmente emitidos desde hornos que utilizan petróleo como combustible (Ross, et.al, 1986; Szefer, et.al, 1986), entre otras.

Huasco, así como el valle del mismo nombre; ha sido por años una zona fuertemente afectada por emisiones atmosféricas proveniente de las industrias como la planta de Pellets de hierro inaugurada en el año de 1978 de la Compañía de Aceros del Pacifico S.A., las centrales termoeléctricas Guacolda, la cual inició su producción de energía en 1995, Huasco TG (1997-1979), Huasco Vapor (1965), ubicadas en el área industrial de Guacolda a aproximadamente a 4 km del centro de la ciudad de Huasco.

Un estudio hecho por la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile en octubre de 2005 reveló que la concentración de Níquel en Huasco era de  $50,1 \text{ ng/m}^3\text{N}$ , Dicho estudio sostenía que hasta agosto del 2005 se habían consumidos 598 mil toneladas de petcoke por las empresas de la zona. También se consignó que el Níquel se adhiere muy ávidamente a las partículas finas de Hierro, lo que expone aún más a la población a la inhalación de partículas cancerígenas cargadas con metales pesados. A petición del Servicio de Salud y del Servicio Agrícola y Ganadero, en enero 2010 la Corema de la Región de Atacama solicitó que Huasco sea declarada Zona Latente por contaminación de material particulado (PM10), esto porque sobrepasa el 80% de la norma anual permitida. La declaración de latencia por PM10 en Huasco sólo se dictaminó recién en mayo de 2012,

en medio de protestas por la instalación de una nueva termoeléctrica en Huasco (Punta Alcalde).

La Fundición Hernán Videla Lira de ENAMI fue inaugurada en el año de 1952, la cual tiene una capacidad de procesamiento 300.000 toneladas de cobre fino al año, ubicada a 5 Km de Tierra Amarilla y a 9 Km del centro de la ciudad de Copiapó en la localidad de Paipote. Sin embargo, recién en el marco del Decreto Supremo (D.S.) 185/91, se comenzó el monitoreo de contaminantes atmosféricos en el entorno de la Fundición, constatándose altos niveles de contaminación por anhídrido sulfuroso debido al impacto de sus emisiones. En septiembre de 1993, la zona comprendida por las localidades de Tierra Amarilla, Pabellón, Pueblo San Fernando y Estación Paipote, fueron declaradas zona saturada por anhídrido sulfuroso por los Ministerios de Agricultura y de Salud (D.S. 255/1993).

Con el objetivo de descontaminar el área, la empresa elaboró un Plan de Descontaminación, de acuerdo a los procedimientos establecidos tanto en el D.S. 185, como en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. Según este Plan, la Fundición debería cumplir con un programa de reducción de emisiones de azufre, de modo que en un plazo de cinco años se cumpliera cabalmente con las normas de calidad del aire en la zona declarada saturada. Además, se obligaba a la empresa a reducir en un 40% como mínimo, las emisiones de azufre a la atmósfera durante los meses de invierno a partir del año 1995 y mientras no se cumpliera con la norma de calidad del aire por anhídrido sulfuroso. Por otro lado, se restringieron las emisiones de material particulado y de arsénico de la Fundición, y a partir del año 1995, en un plazo de cinco años ambos contaminantes deberían reducirse en un 67%. Ahora con la nueva normativa en vigencia que regula las emisiones de las fundiciones, exige una captura del 95% de los gases y material particulado. Por lo tanto, las emisiones de esta fundición deberán someterse a una fiscalización mucho más estricta.

A pesar de los esfuerzos realizados por disminuir la emisión de  $\text{SO}_2$ , datos actualizados de su concentración en 24 horas generado por la red de monitoreo de la Fundición Hernán Videla Lira perteneciente a ENAMI, la cual abarca las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla, dio cuenta que la concentración de  $\text{SO}_2$  no cumple la norma trianual (2011-2013) para este contaminante, con una concentración promedio de  $254 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en base al percentil 99, siendo la norma  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  (DS 113/03).

Las autoridades locales y nacionales, como los municipios de Huasco, Copiapó y Tierra Amarilla, los servicios del Estado, como El Ministerio de Salud, el Ministerio del Medio Ambiente, el Ministerio de Agricultura a través del Servicio Agrícola y Ganadero, así como la comunidad en general están constantemente preocupadas por conocer los efectos en la salud de la población, así como los efectos de esta contaminación en los valles aledaños a los sitios industriales antes mencionados.

Considerando las expectativas de desarrollo y crecimiento del Polo Industrial de Huasco, implementación de nuevas unidades generadoras en la central termoeléctrica Guacolda, programadas para los próximos años, así como la operación continua de la fundición Hernán Videla Lira se hace necesario cuanto antes levantar una línea de base que considere los contaminantes más probables de encontrar, tanto en este momento (asociados a las industrias hoy día instaladas), como aquellos que posiblemente podrían ser emitidos en el futuro. La importancia radical en la obtención de esta información, no solo reviste interés específicamente asociado a la protección y prevención de la Salud de la Población o del Medio Ambiente, sino que adicionalmente permitiría determinar futuras responsabilidades en las emisiones de contaminantes específicos, por lo que será de vital importancia para las industrias, tanto para planificar sus cargas ambientales y medidas de mitigación, como para la autorización de nuevas instalaciones industriales en una zona determinada. Por los motivos anteriormente expuestos, este proyecto pretende proporcionar una base de información útil y necesaria respecto de la calidad de aire y del suelo de la zona de la Región de Atacama, así como la implementación de nuevos monitores en donde se considere necesario para evaluar la magnitud del fenómeno de deposición y su transporte. Adicionalmente, se tomarán muestras de suelo para evaluar el enriquecimiento para contaminantes seleccionados, que ha experimentado este compartimento ambiental como sumidero de la deposición atmosférica.

## SALUD DE LA POBLACIÓN

De acuerdo al trabajo denominado “Plan de acción para reducir efectos en la salud por exposición a anhídrido sulfuroso” de la Secretaria Ministerial de Salud de la Región de Atacama (Abril 2014), se demostró, que hay asociación entre los días que han presentado niveles de SO<sub>2</sub> mayores a 1.000 µg/m<sup>3</sup>N y el promedio de atenciones por hora en el Servicio de Urgencia del Hospital Copiapó. Por otra parte, se encontró que esta asociación se expresaba también en que en los días en que los niveles de SO<sub>2</sub> aumentan en cualquier estación, también aumentan las atenciones de urgencia de personas con:

- a) diagnóstico de asma y
- b) que requieren oxigenoterapia y/o nebulización por cualquier causa diagnóstica.

Por otro lado, una de las principales causas de mortalidad, en las comunas de Huasco, Tierra Amarilla y Copiapó corresponde a enfermedades del sistema respiratorio. Dentro de las defunciones una de las causas es la Neumoconiosis debida a polvo de Sílice y otras enfermedades pulmonares obstructivas crónicas en Tierra Amarilla.

## Estudio de Polimetales.

El año 2012, el ministerio de salud ejecutó el estudio de “Evaluación de exposición a metales en población infantil, 5 a 14 años. Región de Atacama”. Con el objeto de describir el grado de exposición a arsénico, níquel, mercurio y plomo que presentan los niños en la región. De los resultados preliminares de esta investigación se destaca que:

- Los niños de la comuna de Tierra Amarilla (15,07 µg/L) y Huasco (18,93 µg/L) presentan medias aritméticas de arsénico superiores a la media de la región de Atacama (14,47 µg/L).
- Los niños de la comuna de Huasco (1,93 µg/L) presentan una media aritmética de níquel superior en comparación con Atacama (1,49 µg/L).

Los niños de la comuna de Tierra Amarilla (3,28 µg/L) y Copiapó (2,37 µg/L) presentan medias aritméticas de mercurio superiores en comparación con la Región (2,35 µg/L). Tierra Amarilla es la que presenta la media aritmética más elevada de todas las comunas de la región de Atacama.

## PROBLEMÁTICA REGIONAL

La Región de Atacama se encuentra enfrentada al enorme desafío medioambiental y social que involucra el desarrollo de megaproyectos mineros e industriales en la zona. Mientras históricamente la región se caracterizaba por concentrar a la pequeña y mediana minería, hoy se encuentran en carpeta numerosos proyectos de gran envergadura. Este escenario se ve agravado debido a que la Región de Atacama, incluyendo su capital Copiapó, no cuenta con la infraestructura adecuada para soportar el impacto de un brusco crecimiento demográfico ni tampoco cuenta con la capacidad técnica para vigilar el impacto ambiental y sanitario del desarrollo de la actividad minera e industrial que se espera para los próximos años.

Los problemas ambientales y sanitarios más graves que enfrenta la región hoy en día derivan principalmente de la actividad minera y de las termoeléctricas instaladas en la región; emisiones tóxicas atmosféricas y acopio de relaves y otros residuos peligrosos aledaños a zonas pobladas. En otro plano destaca también el alarmante déficit de agua en las cuencas de los principales ríos de la región, que afecta principalmente a la población, pero que también compromete el desarrollo productivo de la zona. Esta situación se verá agravada en el futuro cuando se aprueben e instalen los nuevos proyectos mineros y energéticos que están en proceso de evaluación.

## *RELAVES MINEROS Y OPERACIÓN MINERA*

La actividad minera, en especial sus fundiciones, relaves y pasivos mineros son una constante amenaza a la calidad del aire en la región con altas emisiones de arsénico, azufre y material particulado resuspendido. Este escenario ha provocado el aumento de exigencias hacia esta actividad, es así como en la actualidad la Fundición Potrerillos, la Fundición Paipote, la Planta de Pellets de la Compañía Minera del Pacífico, la Bahía Chañaral y las fundiciones y el conjunto de plantas mineras en Tierra Amarilla están siendo constantemente monitoreadas y fiscalizadas por el Servicio de Salud de Atacama. En las ciudades de Tierra Amarilla y Copiapó existen grandes depósitos de relaves dentro del radio urbano, los que, debido al crecimiento explosivo de estas ciudades, han llegado incluso a ser considerados como posibles sitios para la construcción de nuevas viviendas. Mientras más son los relaves, más peligrosos son para la salud humana debido a que antiguamente los procesos de extracción no eran tan efectivos, dejando gran parte de estos áridos con contenido importante aún de metales pesados, los que pueden ser removidos por el viento transformándolos en un peligroso contaminante atmosférico, como es el material particulado respirable resuspendido, el cual puede ser fácilmente transportado hasta los centros urbanos afectando directamente la salud de la población. En Copiapó, los relaves más antiguos son de la compañía Sali Horschild y los depósitos de Viñita Azul. Las poblaciones más afectadas, sin embargo, son las de El Rosario y El Palomar, cuyos habitantes están expuestos principalmente a altas concentraciones de plomo. Preocupación produce en las inmediaciones de Tierra Amarilla el surgimiento de un nuevo cerro en el paisaje, creado enteramente por los continuos depósitos de relaves, que hasta hace pocos años no existía.

Adicionalmente las explotaciones mineras se caracterizan por un importante movimiento de materias primas y manejo de áridos. El movimiento de mineral y su tratamiento en plantas de reducción de tamaño de grano provoca una alta concentración de partículas en suspensión derivadas de la resuspensión por el viento, movimiento con vehículos pesados y cintas transportadoras, entre otros. Adicionalmente, durante las operaciones de voladura, extracción, movimiento y tratamiento de mineral se produce una importante contribución de material particulado atmosférico en la zona próxima a la mina. El MP procedente de la resuspensión de partículas finas de escombreras puede influenciar también en la calidad de las zonas urbanas y depositarse posteriormente en los suelos localizados en las proximidades de la explotación minera. Desde un punto de vista composicional, las partículas poseen una composición muy parecida a las paragénesis minerales de la mena en explotación, es justamente este aspecto el que le confiere al MP generado a partir de estos procesos la peligrosidad que hemos discutido en este proyecto y su impacto sobre la salud de la población.

En Diciembre 2013 concluyó el Estudio de “Diagnóstico y Plan Maestro de Gestión de Residuos Sólidos en la Región de Atacama”, que busca identificar las deficiencias y fortalezas de la gestión de los residuos sólidos a nivel regional y pretende ser un instrumento de planificación de mediano plazo y el marco para la elaboración de alternativas de inversión para la gestión de los RS, incluyendo proyectos de valorización de residuos sólidos (Cuenta Pública 2013 Seremi Medio Ambiente). Este plan está orientado a reducir y minimizar los riesgos de manera de proteger la salud de las personas y el medio ambiente. Esta acción abarca la identificación y priorización de suelos abandonados y su evaluación preliminar del riesgo. Se han identificado 156 sitios en la Región Atacama, de los cuales 30 fueron recomendados para que sean investigados con mayor detalle con el fin de evaluar la presencia potencial de contaminantes, entre ellos figuran en la Provincia de Copiapó: Escorial Nantoco, Relave Totoralillo, Relave Pabellón, Relave Planta Ojancos, Relave Tania, Llaucavén, Relave Planta San Esteban, Relave Papapietro, Victoria, La Chimba y Relave Planta Río Huasco. Se agregan además Relave de Castellón, San Juan, Porvenir, Relave Planta Santa Blanca, Bodega, Santa Anita, Metalurgia, María Luisa, San Joaquín, María Isabel, Marta 29 y Escorial Fundición Playa Negra (23 sitios). Provincia de Chañaral: Relave Playa Chañaral, Relave Planta Osvaldo Martínez, Relave Planta Marco Antonio (3 sitios). Provincia de Huasco: Relave Planta Santa Candelaria, Relave Planta Carmen, Relave Planta Torino y Relave Planta Domeyko (4 sitios).

### *TERMOELÉCTRICAS*

El valle del Huasco es considerado uno de los más hermosos de la Región de Atacama. Una zona rural con una rica actividad agrícola, destacando las plantaciones de olivos y vides pisqueras. Sin embargo, esta zona tampoco escapó a los contaminantes ambientales. La instalación primero de la termoeléctrica Guacolda y su funcionamiento con pet coke, combustible altamente contaminante, sometió tanto a las plantaciones como a la población aledaña a material particulado tóxico, habiendo incluso reiteradas denuncias por la incidencia de cáncer entre los habitantes.

A este problema se suman los pellets de hierro que se desprenden accidentalmente del transporte descuidado de este material a lo largo de una vía férrea que pasa a través de la ciudad y por el que transitan los trenes con carga de la Compañía Minera del Pacífico (CMP), situación que potencia los efectos de los metales pesados generados producto de los procesos antes mencionados.

En el caso de Freirina, sus habitantes se oponen también a la instalación de la termoeléctrica Punta Alcalde, por la contaminación que ya conocen en la zona por la termoeléctrica Guacolda. Pero, además, los freirinenses debieron sufrir los malos olores de las toneladas de fecas y purines provenientes de la crianza industrial de cerdos de la empresa Agrosuper, cuyos desechos que fermentados deberían haber sido tratados

apropiada y oportunamente de acuerdo al proyecto original, aspecto que lamentablemente no ocurrió, generando un tremendo problema ambiental y social en la zona. Otro de los problemas resistido por sus aspectos medioambientales es el proyecto de la Termoeléctrica Castilla, en este caso por la población de El Totoral, Caldera y Copiapó. Como se puede apreciar, existe un gran interés por desarrollar procesos productivos en la zona de este estudio, todos los cuales poseen inevitablemente impactos ambientales asociados, los cuales deben ser objetivamente evaluados en propiedad. En este sentido y en la realidad actual del país, la comunidad local está cada día más informada y empoderada respecto de la defensa de su propio entorno y de los posibles efectos que este tipo de contaminación pudiera causarle en forma directa. Un ejemplo de ello en la zona, son las variadas iniciativas no gubernamentales que están luchando contra el deterioro de la región; la Mesa de Defensa de Atacama, la ONG Olca y la Junta de Vecinos de Totoral han manifestado su resolución de entablar la lucha legal para proteger la salud, el medio ambiente y el patrimonio tanto de la biodiversidad como de la riqueza arqueológica de la zona y no están dispuestos a aceptar compensación alguna.

## REFERENCIAS

- Báez A., Belmont R., García R., Padilla H., Torres M, "Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico". Atmospheric Research 2007, Vol.86, 61-75.
- Driscoll C.T., Driscoll K.M., Mitchell M.J., Raynal D.J. (2003). Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State. Environmental Pollution 123(3): 327–336.
- Kavourasa I., Koutrakis P., Cereceda-Balich F. & Oyola P. ( 2001) Source Apportionment of PM10 and PM25 in Five Chilean Cities Using Factor Analysis. Journal of the Air & Waste Management Association 51, 451-464.
- Kavourasa I., Koutrakis P., Cereceda-Balich F. & Oyola P. ( 2001) Source Apportionment of PM10 and PM25 in Five Chilean Cities Using Factor Analysis. Journal of the Air & Waste Management Association 51, 451-464.
- Nriagu, J.O., Pacyna, J.M., 1989. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature 333, 134–139
- Román O., Prieto M.J., Mancilla P. (2004) Contaminación atmosférica y daño cardiovascular. Revista Médica de Chile 132: 761-767.
- Ross, H.B., 1986. "The importance of reducing sample contamination in routine monitoring of trace metals in atmospheric precipitation". Atmos. Environ. 20, 401–405.
- Szefer, P., Szefer, K., 1986. Some metals and their possible sources in rain water of the southern Baltic Coast, 1976 and 1978–1980. Sci. Total Environ. 57, 79–89.
- Sheppard P.R., Speakman R.J, Ridenour G., Witten M.L. (2007). Temporal Variability of Tungsten and Cobalt in Fallon, Nevada. Environ Health Perspect. 115(5): 715–719.

## OBJETIVOS

### General

Determinar la calidad química de la deposición seca, total y del suelo, en algunas zonas rurales y urbanas del valle del Huasco y Copiapó, con miras a caracterizar y clarificar la existencia y magnitud de los fenómenos de contaminación atmosférica propios del valle del Huasco y de Copiapó (Paipote y Tierra Amarilla).

### Específicos

1. Validar metodologías instrumentales utilizadas en la región para monitorear la calidad del aire en sitios industriales y urbanos, con énfasis en verificar y complementar procedimientos para la medición de parámetros físicos y químicos como pH, conductividad, monitoreo y análisis de iones y metales de la deposición total.
2. Estudiar el transporte de contaminantes desde puntos de alta emisión hacia localidades pobladas, mediante caracterización química del material particulado y suelo (huella química)
3. Desarrollar e implementar un programa de capacitación de profesionales de la SEREMI de salud en temas de contaminación atmosférica y en la interpretación de resultados obtenidos en este estudio.

### Estratégicos

1. Complementar monitoreos de calidad de aire realizados a la fecha en las zonas de estudio
2. Apoyar en el diseño e implementación de un laboratorio para la recolección y análisis gravimétrico de muestras atmosféricas
3. Establecer una red de colaboración universidad-SEREMI para el fortalecimiento de las capacidades profesionales y técnicas, de la SEREMI de salud de atacama para abordar problemáticas medioambientales en la región.

## RESULTADOS

### I. CAPACITACIÓN A PROFESIONALES DE LA SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE Y SALUD DE LA REGIÓN DE ATACAMA.

El Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM) realizó la capacitación titulada “Toma de muestras, procesamiento y validación de resultados para la determinación de la concentración de material particulado atmosférico en muestras de aire”, el cual tiene como finalidad que el alumno sea capaz de comprender y relacionar los conceptos, propiedades y dificultades más importantes asociados a la toma de muestras, procesamiento y validación de resultados para la determinación de la concentración de material particulado atmosférico presente en muestras de aire. Finalizado el curso, el alumno es capaz de manejar los conceptos fundamentales de la Química Ambiental identificando los principales contaminantes existentes en los diferentes compartimentos ambientales identificando: sus orígenes, su distribución y su acción sobre los distintos componentes ambientales, tanto en un contexto parcial como global, con énfasis en el material particulado atmosférico.

El curso tuvo en total 61 hora pedagógicas de contacto directo. Los asistentes a esta capacitación fueron profesionales de la Subsecretaría Regional Ministerial de Salud y del Medio Ambiente de la Región de Atacama:

- Susana Sepúlveda, Ingeniera en Prevención de Riesgos, funcionaria de la Seremi de Salud Región de Atacama.
- Marco Antonio Lemus, funcionario de la Seremi de Salud Región de Atacama.
- Nibaldo Vergara, Jefe de Unidad de Salud Ambiental de la Seremi de Salud Región de Atacama.
- Lorena Kong, Ingeniera en Alimentos, funcionaria de la Seremi de Salud Atacama.
- Mario Gutiérrez, Químico Laboratorista, funcionario de la Seremi de Salud Atacama.
- Elizabeth Juárez, Ingeniera Civil Industrial, funcionaria de la Subsecretaría del Medio Ambiente Atacama.
- Solange Aguilera, Ingeniera en Ejecución Metalurgia Extractiva, funcionaria de la Ministerio del Medio Ambiente Atacama.

A continuación, se detalla el programa de la capacitación:

#### Martes 17 de Noviembre 2015

09:30 – 11:30 hrs. **Tema 1. Composición y dinámica atmosférica: Parte I**

#### Jueves 19 de Noviembre 2015- Copiapó, Atacama

09:30 – 12:30 hrs. **Terreno 1:**

- Monitoreo de elementos químicos, usando equipo portátil XRF.
- Monitoreo de aerosoles atmosféricos, usando Espectrómetro Laser de Aerosoles, Grimm, Alemania.
- Monitoreo de suelos.



*Figura 1. Salida a terreno, actividad de capacitación*

#### Domingo 22 de Noviembre 2015

Llegan a la región de Valparaíso los profesionales de la Subsecretaría Regional Ministerial de Salud y del Medio Ambiente de la Región de Atacama con el fin de continuar su capacitación en el Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM).

#### Lunes 23 de Noviembre 2015

Se da comienzo con el programa de capacitación en el Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM). Los cursos fueron dictados por el Prof. Dr. Francisco Cereceda en colaboración con los siguientes profesionales del CETAM:

- Dr. Mario Funes Huerta (Químico)
- Lic. Quí. Víctor Vidal (Químico Industrial)
- Ing. Juan Pablo Muñoz G. (Ing. Ambiental)
- Ing. Ximena Fadic (Ing. Agrónomo)

El programa del primer día fue el siguiente:

- 09:30 – 11:00 hrs. **Tema 1. Composición y dinámica atmosférica: Parte II**
- 11:00 – 11:15 hrs. Pausa
- 11:15 – 12:45 hrs. **Tema 2. Tipos de contaminantes atmosféricos**
  - 2.1 Contaminantes primarios
    - 2.1.1 Depositiones

- Secas
  - Húmedas (hidrometeoros)
  - 1.1.2 Material particulado en suspensión
- 12:45 - 14:30 hrs. Almuerzo
- 14:30 - 15:45 hrs. **Continuación Tema 2.**
- 2.1.3 Contaminantes inorgánicos atmosféricos
  - 2.1.4 Contaminantes orgánicos atmosféricos
  - 2.2 Contaminantes atmosféricos secundarios
  - 2.3 Tipos de smog
- 15:45 – 16:00 hrs. Pausa
- 16:00 – 18:00 hrs. **Laboratorio 1:**
- Sistemas pasivos de recolección de deposición total (CPDT)
    - Preparación de material
    - Ambientación de filtros
    - Recepción y tratamiento de muestra (CPDT)
    - Medición de pH, Conductividad y elementos en MPS (XRF)
  - Análisis gravimétrico
    - Conocimiento y uso de la balanza analítica
    - Condiciones de pesado en sala de balanzas
    - Protocolos de pesaje
    - Práctica de pesaje
    - Registro y análisis de datos



*Figura 2. Clase de capacitación en el CETAM*

## Martes 24 de Noviembre 2015

- 09:30 – 11:00 hrs. **Tema 3. Medición de material particulado y otros contaminantes atmosféricos**  
3.1 Métodos de monitoreo de contaminantes atmosféricos  
3.1.1 Sistemas pasivos
- 11:00 – 11:15 hrs. Pausa
- 11:15 – 12:45 hrs. **Continuación Tema 3:**  
3.1.2 Sistemas activos I Parte
- 12:45 - 14:30 hrs. Almuerzo
- 14:30 - 15:45 hrs. **Continuación Tema 3:**  
3.1.2 Sistemas activos II Parte  
3.2 Representatividad en la toma de muestra
- 15:45 – 16:00 hrs. Pausa
- Laboratorio 2:**
- Sistemas de recolección pasivos y activos para contaminantes atmosféricos
  - Sistemas de tratamiento de muestras atmosféricas para análisis de iones, compuestos inorgánicos y orgánicos
  - Instrumentación analítica para análisis de iones, compuestos inorgánicos y orgánicos
- 16:00 – 18:00 hrs.

## Miércoles 25 de Noviembre 2015

- 09:30 -11:00hrs. **Continuación Tema 3:**  
3.3 Determinación de la concentración en la fuente (isocinético)  
3.4 Determinación de la concentración en el ambiente  
3.5 Estaciones y Redes de monitoreo
- 11:00 - 11:15 hrs. Pausa
- 11:15 - 12:45 hrs. **Tema 4. Contaminación atmosférica en Chile**
- 12:45 - 14:30 hrs. Almuerzo
- 14:30 - 18:00 hrs. **Laboratorio 3:**  
Visita a los laboratorios de investigación de CETAM



Figura 3. Visita a los laboratorios de investigación del CETAM

#### Jueves 26 de Noviembre 2015

- 9:30 - 14:00 hrs **Terreno 2:**  
Visita a estación de monitoreo ambiental de la Región de Valparaíso
- 14:00 - 15:00 hrs Almuerzo
- 15:00 - 16:30 hrs **Tema 5. Control de calidad y validación de resultados**  
5.1 Introducción  
5.2 Unidades de medidas
- 16:30 - 16:45 hrs Pausa
- 16:45 - 18:00 hrs **Continuación Tema 5:**  
5.3 Incertidumbre  
5.4 Tipos de Errores  
5.4.1 Errores Sistemáticos  
5.4.2 Errores Aleatorios

#### Viernes 27 de Noviembre 2015

- 09:30 - 11:00 hrs **Continuación Tema 5:**  
5.5 Precisión y exactitud  
5.5.1 aseguramiento de la precisión  
• Desviación estándar relativa  
• Intervalo de confianza  
5.5.2 aseguramiento de la exactitud  
• Error relativo medio  
• Test de Student  
5.6 Calibración y estandarización del método gravimétrico  
5.7 Expresión de resultados de concentración de PM
- 11:00 - 11:15 hrs Pausa
- 11:15 - 13:00 hrs **Ejercicio práctico**
- 13:00 - 14:30 hrs Almuerzo
- 14:45 hrs **Traslado al aeropuerto**

Para conocer la opinión del alumno respecto al desarrollo del curso y sobre el resultado del mismo se realizó una encuesta de satisfacción del estudiante con la capacitación recibida (Ver encuesta en el Anexo).



*Figura 4. Almuerzo de despedida en la UTFSM y finalización de las actividades de capacitación.*

## II. ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN

### II.1 LANZAMIENTO

El día lunes 12 de enero de 2015 se realizó la ceremonia de lanzamiento del proyecto. La ceremonia se realizó en el Centro Cultural de Tierra Amarilla, en la Región de Atacama.

Programa:

- 10:30 - 11:00 hrs. Recepción de asistentes, registro asistencia
- 11:00 - 11:10 hrs. Inicio actividad, palabras de bienvenida por maestro de ceremonia
- 11:10 - 11:15 hrs. Saludos Sr. Intendente Regional Miguel Vargas Correa
- 11:15 - 11:20 hrs. Palabras Subsecretario de Salud Pública (S) Dr. Pedro Crocco Abalos
- 11:20 - 12:00 hrs. Exposición Prof. Dr. Cereceda
- 12:00 - 12:10 hrs. Demostración in situ del monitoreo de aerosoles.
- 12:10 - 12:30 hrs. Café



Figura 5: Invitación a la ceremonia de lanzamiento del proyecto.



*Figura 6. Ceremonia de lanzamiento del proyecto*



*Figura 7. Público asistente a la ceremonia de lanzamiento del proyecto*



*Figura 8. Público asistente a la ceremonia de lanzamiento del proyecto*

## II.2 SEMINARIO INTERMEDIO

El Director del Proyecto, Prof. Dr. Francisco Cereceda, presentó los resultados que se han obtenido hasta la fecha en un seminario realizado en las dependencias de la SEREMI de Salud de la región de ATACAMA, el día martes 17 de enero de 2015 a las 15:00 hrs. Fueron invitados al seminario representantes y funcionarios de reparticiones públicas como el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Salud, representantes del Gobierno Regional y la Intendencia Regional. Entre los invitados y asistentes se encontraban:

- Sr. Nivaldo Guaita, Encargado Área de Fomento Productivo, Gobierno Regional de Atacama
- Sr. Cesar Araya Salinas, SEREMI de Medio Ambiente, Región de Atacama
- Sra. Brunilda González, SEREMI de Salud, Región de Atacama
- Sr. Miguel Vargas Correa, Intendente de la Región de Atacama
- Sr. William García, Jefe División de Análisis y Control, Gobierno Regional de Atacama



*Figura 9. Seminario de difusión de resultados del proyecto*



*Figura 10. Seminario de difusión de resultados del proyecto*

Como actividad de término del proyecto se organizó un seminario final de presentación de resultados. La actividad se realizó el día 31 de agosto de 2016 en el Hotel Chagall de Copiapó.

Programa:

<p style="text-align: center;"><b>SEMINARIO FINAL</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PROYECTO FIC ATACAMA:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES REGIONALES PARA LA EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA QUE AFECTEN LA SALUD DE LA POBLACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">Miércoles 31 de Agosto, Hotel Chagall, O'Higgins 760, Copiapó</p>		
	<b>Actividad</b>	<b>Presentador</b>
10:15 – 10:30	Registro de participantes	
10:30 – 10:45	Bienvenida Saludos de autoridades	Sr. Miguel Vargas, Intendente de la Región de Atacama Sr. Luis Ruiz, Presidente del Consejo Regional de Atacama.
10:45 – 11:30	Fortalecimiento de las capacidades regionales para la evaluación y vigilancia de problemas de contaminación atmosférica que afecten la salud de la población	Dr. Francisco Cereceda-Balic, CETAM-UTFSM
11:30 – 12:00	Evaluación y Vigilancia de los Problemas de Contaminación Atmosférica por Presencia de Metales en la Región de Atacama	Qui. Ind. Víctor Vidal Cetam-UTFSM
12:00 – 12:30	Evaluación y Vigilancia de los Problemas de Contaminación Atmosférica por Presencia de Iones en la Región de Atacama	Dr. Mario Funes CETAM-UTFSM
12:30 – 13:00	Proyecciones y recomendaciones	Dr. Francisco Cereceda-Balic, UTFSM



## Invitación

**Miguel Vargas Correa**, Intendente de la Región de Atacama; **Luis Ruiz Valenzuela**, Presidente del Consejo Regional de Atacama y el **Prof. Dr. Francisco Cereceda**, Director del Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM) de la Universidad Técnica Federico Santa María, tienen el agrado de invitar a Ud. al seminario final del proyecto FIC denominado:

**"Fortalecimiento de las Capacidades Regionales para la Evaluación y Vigilancia de Problemas de Contaminación Atmosférica que afecten la Salud de la Población"**.

A realizarse el próximo miércoles 31 de agosto del 2016, a partir de las 10:15 horas, en Hotel Chagall ubicado en O' Higgins 760, Copiapó.

Esta actividad es financiada con recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad año 2014 del Gobierno Regional de Atacama.

Copiapó, Agosto de 2016.

*Figura 11. Invitación al seminario final.*

A continuación, se presentan algunas fotografías de la actividad del seminario final.



*Intervención de Sr. Luis Ruiz Valenzuela, Presidente del Consejo Regional de Atacama, durante la inauguración del seminario*



*Prof. Dr. Francisco Cereceda de la Universidad Técnica Federico Santa María, da inicio a Seminario*



*Sr. Víctor Vidal (Químico del Centro de Tecnologías Ambientales CETAM de la Universidad Técnica Federico Santa María)*



*Intervención del Sr. Cesar Araya, Seremi del Medio Ambiente de Atacama.*



*Prof. Dr. Francisco Cereceda, Director del Centro de Tecnologías Ambientales CETAM de la Universidad Técnica Federico Santa María, da término al seminario.*

## II.4 NOTICIAS



INICIO ATACAMA COQUIMBO CHILE MUNDO DEPORTES MINERIA CLAS

### Gobierno Regional financiará proyecto para evaluar calidad del aire en Paipote, Tierra Amarilla y Huasco.

[VOLVER AL INICIO](#)

Noticias

[e de energía eléctrica afectó a cerca de 47 mil clientes de Copiapó y C...](#)



enero 13 10:34 2015

Por fernandoh

Imprimir este Artículo

Compartelo con tus amigos

Se trata de un estudio que estará a cargo del Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Federico Santa María, quienes se adjudicaron la iniciativa por medio del Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC.

0

Twitter

Evaluar la calidad química del aire de zonas minero industriales como Paipote, Tierra Amarilla y Huasco, es el objetivo principal del proyecto adjudicado por el Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Federico Santa María y que financiará el Gobierno Regional de Atacama por medio del Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC, a través de una inversión por más de 149 millones de pesos aprobados por el CORE.



Portal y Plataforma noticiosa de Minería, Energía e Industria  
Proveedores y Negocios.

**Buscar**

## Lanzan proyecto que evaluará calidad del aire en los valles de Copiapó y Huasco

Mar, 13/01/2015 -



En el Centro Cultural de Tierra Amarilla, se realizó el lanzamiento del proyecto FIC del Gobierno Regional, que llevará a cabo el Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Federico Santa María y que tendrá como propósito evaluar la calidad del aire en los valles de Copiapó y Huasco.

El objetivo principal de aquel proyecto, es determinar la calidad química de la deposición seca, total y del suelo, en algunas zonas rurales y urbanas del valle del Huasco y Copiapó, con miras a caracterizar y clarificar la existencia y magnitud de los fenómenos de contaminación atmosférica propios del valle del Huasco y de Copiapó (Paipote y Tierra Amarilla).

Asimismo, pretende: validar las metodologías instrumentales utilizadas en la región para monitorear la calidad del aire en sitios industriales y urbanos, con énfasis en verificar y complementar procedimientos para la medición de parámetros físicos y químicos como pH, Conductividad, monitoreo y análisis de iones y metales de la deposición total; estudiar el transporte de contaminantes desde puntos de alta emisión hacia localidades pobladas, mediante caracterización química del material particulado y suelo (huella química); y desarrollar e implementar un programa de capacitación de profesionales de la SEREMI de salud en temas de contaminación atmosférica y en la interpretación de resultados obtenidos en este estudio.

El Intendente de Atacama, Miguel Vargas, indicó que dicho proyecto "nos va a arrojar mucha información respecto del comportamiento del material particulado, grueso, fino o ultrafino aquí en el Valle de Copiapó y en el Valle del Huasco. Sabemos que aquí se genera mucho material particulado a partir de nuestra realidad minera".

Por su parte, el Subsecretario de Salud, Jaime Burrows, explicó que ese proyecto "es tremendamente interesante", porque generará evidencia "que se toma para tomar mejores decisiones de política pública, para ver justamente que hay que hacer, cómo podemos mejorar la situación".

Mencionar que el monto de presupuesto del Proyecto asciende a los \$149.900.250.

## Lanzan proyecto que evaluará calidad del aire valles de Copiapó y Huasco

En el Centro Cultural de Tierra Amarilla, se realizó el lanzamiento del proyecto FIC del Gobierno Regional, que llevará a cabo el Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Federico Santa María y que tendrá como propósito evaluar la calidad del aire en los valles de Copiapó y Huasco.

El objetivo principal de aquel proyecto, es determinar la calidad química de la deposición seca, total y del suelo, en algunas zonas rurales y urbanas del valle del Huasco y Copiapó, con miras a caracterizar y clarificar la existencia y magnitud de los fenómenos de contaminación atmosférica propios del valle del Huasco y de Copiapó (Paipote y Tierra Amarilla).

Asimismo, pretende: validar las metodologías instrumentales utilizadas en la región para monitorear la calidad del aire en sitios industriales y urbanos, con énfasis en verificar y complementar procedimientos para la medición de parámetros físicos y químico Conductividad, monitoreo y análisis de iones y metales de la deposición total; estudiar el transporte de contaminantes puntos de alta emisión hacia localidades pobladas, mediante caracterización química del material particulado y sus efectos (físicos y químicos); y desarrollar e implementar un programa de capacitación de profesionales de la SEMM de salud en temas





AUTORIDADES E INVITADOS CONOCIERON DE CERCA LA INICIATIVA.

## En marzo partirá proyecto para evaluar emisiones

**SALUD.** Se investigará el impacto de la contaminación en tres zonas.

Evaluar la calidad química del aire de zonas minero industriales como Paipote, Tierra Amarilla y Huasco, es el objetivo principal del proyecto adjudicado por el Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Federico Santa María y que financiará el Gobierno Regional de Atacama por medio del Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC, a través de una inversión por más de 149 millones de pesos aprobados por el CORE y comenzará en marzo.

La iniciativa ambiental fue lanzada ayer en Tierra Amarilla, fue encabezada por el Intendente Miguel Vargas y contó con la presencia del Subsecretario de Salud (s), Dr. Pedro Crocco; el alcalde de la comuna, Osvaldo Delgado; la seremi de Salud, Brunilda González; la seremi de Medioambiente Ingrid Aguad; profesionales de la Universidad y representantes de la comunidad.

En la ocasión la primera autoridad regional valoró el estudio, indicando que "este proyecto nos va a arrojar mucha información respecto al comportamiento del material particulado que se genera en los valles de Copiapó y Huasco y necesitamos saber cómo está impactando en la salud de la población".

El director del centro de tecnologías ambientales, CETAM, Francisco Cereceda, entidad perteneciente a la Universidad Federico Santa María, comentó que este partirá en marzo y que pretende evaluar la calidad del aire a través de estaciones de monitoreo, donde se medirán una serie de materiales, con la finalidad de establecer un vínculo entre las zonas de emisión (relaves, escorias, acumulación de áridos) y su transporte hacia los lugares poblados, como son Paipote, Tierra Amarilla y Huasco. ☞



(http://www.tierramarillano.cl)

### TIERRAMARILLANO

INICIO (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL)
QUIENES SOMOS (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL)

CRONICAS (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL/?CAT=101)
INTERNACIONALES (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL/?CAT=102)

NACIONALES (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL/?CAT=9)
REGIONALES (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL/?CAT=5)

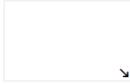
BOLETIN CASERONES (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL/?PAGE\_ID=6546)
PUCOBRE (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL/?PAGE\_ID=6547)

ATACAMA-KOZAN (HTTP://WWW.TIERRAMARILLANO.CL/?PAGE\_ID=8223)
TRONADURAS DEL DIA

Home
Regionales

#### Gobierno Regional financiará proyecto para evaluar calidad del aire en Paipote, Tierra Amarilla y Huasco.

Subido por Editor (http://www.tierramarillano.cl/?author=5) | Fecha: Enero 13, 2015 | en: Regionales (http://www.tierramarillano.cl/?cat=5) | Comenta | 9 Views



• Se trata de un estudio que estará a cargo del Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Federico Santa María, quienes se adjudicaron la iniciativa por medio del Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC. Evaluar la calidad química del aire de zonas minero industriales como Paipote, Tierra Amarilla y Huasco, es el objetivo principal del proyecto adjudicado por el Centro de Tecnologías Ambientales de la Universidad Federico Santa María y que financiará el Gobierno Regional de Atacama por medio del Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC, a través de una inversión por más de 149 millones de pesos aprobados por el CORE. La iniciativa ambiental lanzada hoy en Tierra Amarilla, fue encabezada por el Intendente Miguel Vargas y contó con la presencia del Subsecretario de Salud (s), Dr. Pedro Crocco; el alcalde de la comuna, Osvaldo Delgado; la Seremi de Salud, Brunilda González; la Seremi de Medioambiente Ingrid Aguad; profesionales de la Universidad y representantes de la comunidad. En la ocasión la primera autoridad regional valoró el estudio, indicando que "este proyecto nos va a arrojar mucha información respecto al comportamiento del material particulado que se genera en los valles de Copiapó y Huasco y necesitamos saber cómo está impactando en la salud de la población". El Intendente comentó que esta iniciativa público-privada, vendrá "sin duda a complementar el trabajo que está realizando el Gobierno junto a la comunidad, en el marco de los consejos de recuperación ambiental en Tierra Amarilla y Huasco, y será fundamental para contar con mayor información que nos permita tomar mejores decisiones de política pública en la materia". Respecto a los resultados del estudio, Vargas dijo que se irán entregando de manera paulatina por la Seremi de Salud, entidad que jugó un importante rol al gestionar con la universidad, su participación en el fondo de innovación y que asumirá una tarea relevante en el proceso del proyecto adjudicado por la casa de estudios bajo un monto de inversión del Gobierno de \$149.900.250. Por su parte, el subsecretario de salud (s), Dr. Pedro Crocco indicó que "el proyecto es tremendamente interesante, ya que medirá y caracterizará la contaminación del aire en esta región, generando evidencia a través de un garante como es la universidad Federico Santa María, para ver cómo podemos mejorar la situación, teniendo claro cuánto es el nivel de contaminación y de donde

### III.VALIDACIÓN DE METODOLOGÍAS INSTRUMENTALES

#### III.1 Análisis de la Influencia del lavado del colector de DT en la determinación de elementos en deposición total recolectada en filtros, utilizando equipo portátil de fluorescencia de rayos X.

Para que las muestras obtenidas en los colectores pasivos de deposición total (CPDT) sean representativas de la deposición atmosférica, el sistema de recolección debe ser lavado cuidadosamente con agua milli-Q en forma de espiral, comenzando por el embudo colector, de esta forma las partículas de MPS de la muestra adheridas en las superficies del sistema recolector son arrastradas hacia el filtro, y de esta forma se evita la pérdida de parte de la muestra asociada al sistema de muestreo.

Por esta misma razón, se diseñó un experimento preliminar para evaluar el efecto que tendría este procedimiento en la determinación de elementos en las muestras de MPS mediante XRF portátil, sobre todo por la incorporación de humedad en la muestra de DT.

La figura 12 muestra la metodología utilizada en el experimento.

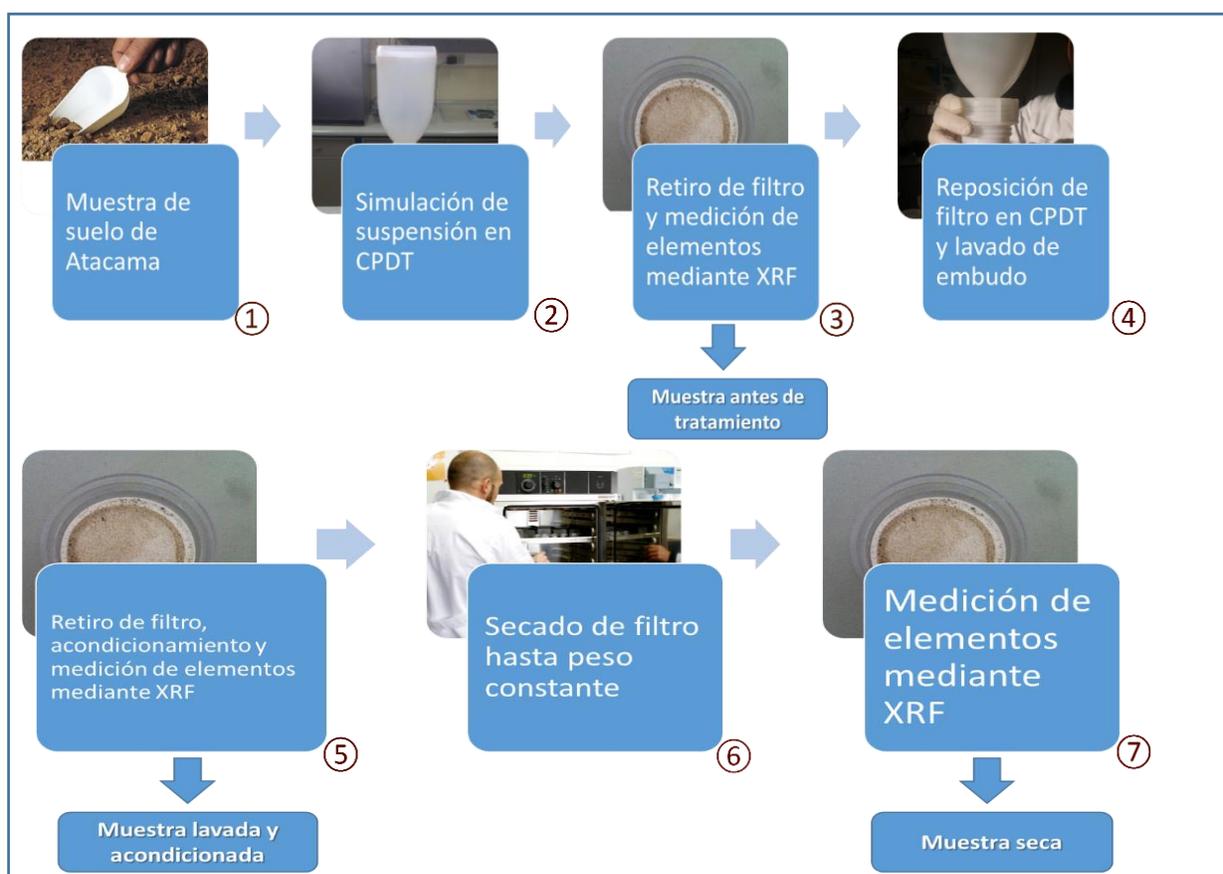


Figura 12. Procedimiento utilizado para determinar la influencia del lavado del embudo colector en la determinación de los elementos en filtros de MPS, mediante XRF portátil.

Para la realización de este ensayo se utilizó suelo proveniente de las muestras recolectadas directamente en las localidades donde se realizaron las campañas de monitoreo. Estas muestras de suelo fueron esparcidas a modo de MPS sobre el embudo recolector de muestras de un CPDT, para simular la deposición del MPS atmosférico. Luego se procedió con las diferentes etapas del procedimiento, según se muestra en la figura 12, hasta llegar a la determinación final de elementos en las muestras, según la aplicación de un protocolo único y aplicable a todas las muestras (filtro seco después de lavado el embudo recolector).

La figura 13 muestra los resultados del ensayo para determinar la influencia del lavado del embudo en la determinación de cobre en las muestras obtenidas en Tierra Amarilla, Copiapó, El Salado y Diego de Almagro respectivamente.

Por su parte, la figura 14 muestra los resultados obtenidos en la determinación de azufre, titanio, cobre, zinc y estroncio en muestras provenientes de Chañaral y Tierra Amarilla.

Se observa que las concentraciones máximas generalmente son obtenidas en las muestras antes del tratamiento, excepto para los elementos Titanio y Estroncio en las muestras provenientes de Chañaral. También se muestra que un mismo elemento no tiene siempre igual comportamiento (sub o sobre estimación) en muestras provenientes de diversos lugares incluidos en la campaña de monitoreo (influencia de la matriz); su concentración puede ser mayor o menor que la concentración en la muestra lavada y acondicionada, ejemplo de esto es el comportamiento del cobre en muestras de Tierra Amarilla (figura 13). Por otro lado, distintos elementos tampoco se comportarán de la misma forma, aunque se encuentren en la misma muestra. Esto se observa en la figura 14.

Con estos resultados, claramente no se puede establecer para este tipo de muestras de MPS algún protocolo único y aplicable a todas las muestras, puesto que como ya se describió, las observaciones experimentales demuestran gran variabilidad y alta dependencia de la matriz y la localización geográfica de las muestras. A pesar de lo anterior, las conclusiones generales obtenidas señalan que al menos hay que realizar los procedimientos del 4-7, señalados en la figura 12, para obtener un procedimiento uniforme para todas las muestras y evitar fundamentalmente el efecto de la humedad al medir las muestras con FRX, efecto descrito ampliamente en la literatura y que afecta las mediciones realizadas por esta técnica.

Los detalles del procedimiento final, utilizado en el presente proyecto, se encuentran en el capítulo V.2.1.

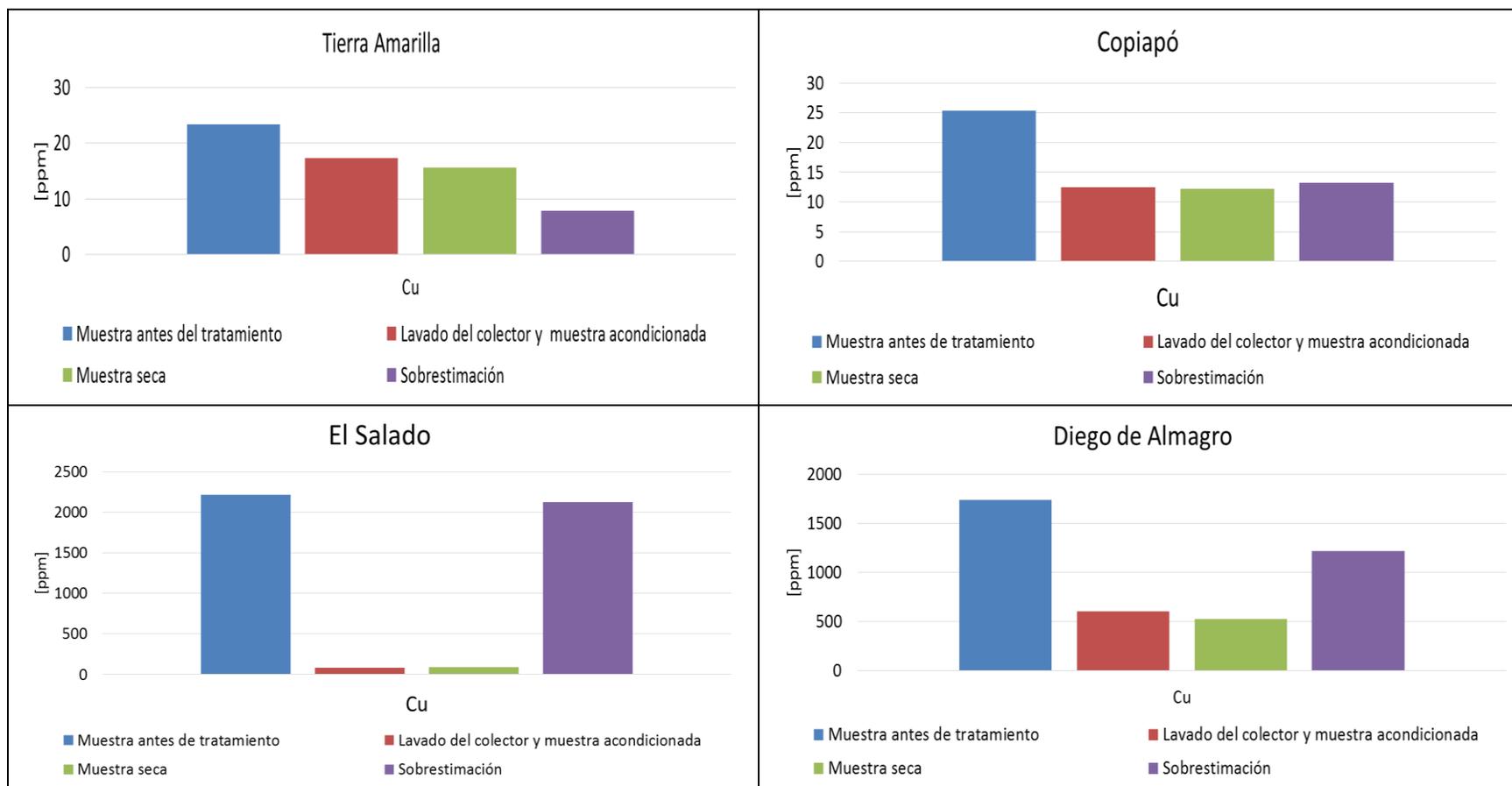


Figura 13. Influencia del lavado del colector y el secado de la muestra en la determinación de cobre en muestras provenientes de Tierra Amarilla, Copiapó, El Salado y Diego de Almagro.

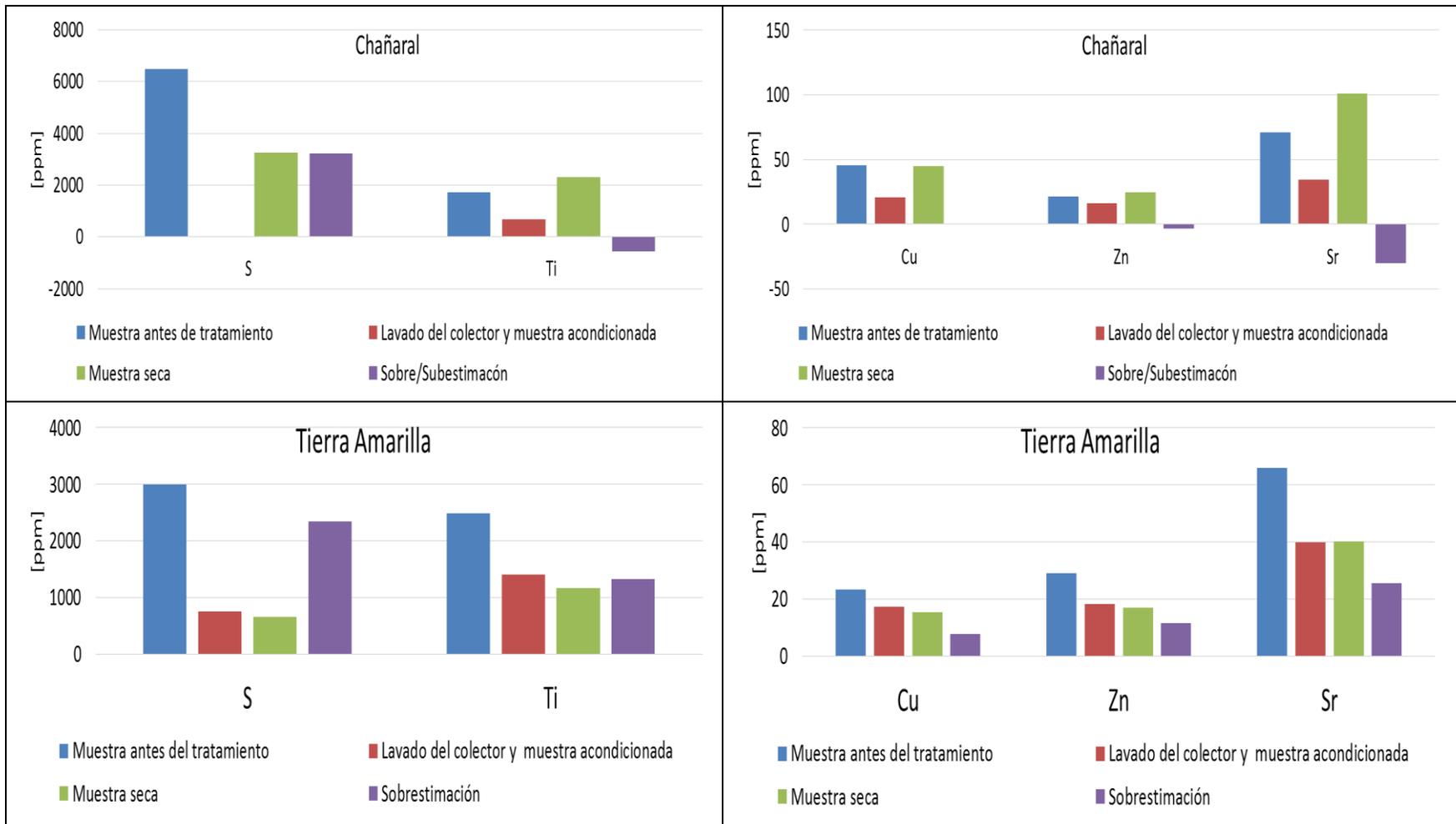


Figura 14. Influencia del lavado del colector y el secado de la muestra en la determinación de azufre, titanio, cobre, zinc y estroncio en muestras provenientes de Chañaral y Tierra Amarilla.

### III.2 Análisis de la Influencia del contenido de humedad y granulometría de muestras de suelo en la determinación de elementos utilizando fluorescencia de rayos X portátil.

Se buscó determinar cómo influye el contenido de humedad y la granulometría de muestras de suelo para detectar la concentración de elementos utilizando un equipo de fluorescencia XRF portátil.

El ensayo consistió en analizar el comportamiento de tres elementos representativos en distintos suelos de la región de Atacama. En resumen, se estudió el comportamiento de Cobre, Arsénico y Manganeso en suelos de Chañaral, Diego de Almagro, El Salado y Copiapó. El tratamiento que recibieron las muestras de suelo se detalla a continuación en la figura 15. La concentración de elementos se determinó directamente en terreno al momento de la toma de muestra y posteriormente en el laboratorio; con humedad, seca y seca tamizada (2mm).



Figura 15. Esquema del tratamiento que recibieron las muestras de suelo para evaluar el efecto de la humedad y la granulometría en la determinación de elementos con equipo XRF portátil.

Los resultados se presentan en la figura 16. En ellos no se evidencian tendencias claras en los resultados, siendo muy variables en cuanto al efecto de la humedad, la granulometría, el tipo de suelo (según ubicación geográfica) y del elemento. Por ejemplo, el contenido de humedad del suelo produce una sobrestimación de arsénico en el suelo de Chañaral y El Salado, sin embargo produce una subestimación de arsénico en el suelo de Diego de Almagro y Copiapó. Otro ejemplo es Manganeso que en el suelo de El Salado y Diego de Almagro produce una sobrestimación de este elemento, sin embargo en el suelo de Chañaral y Copiapó ocurre lo contrario manifestándose una subestimación, entre otros casos analizados. Dada la heterogeneidad que presentan los resultados, se establece como protocolo de medición, trabajar con muestras secas y tamizadas, al igual que en el caso anterior para las muestras de MPS.

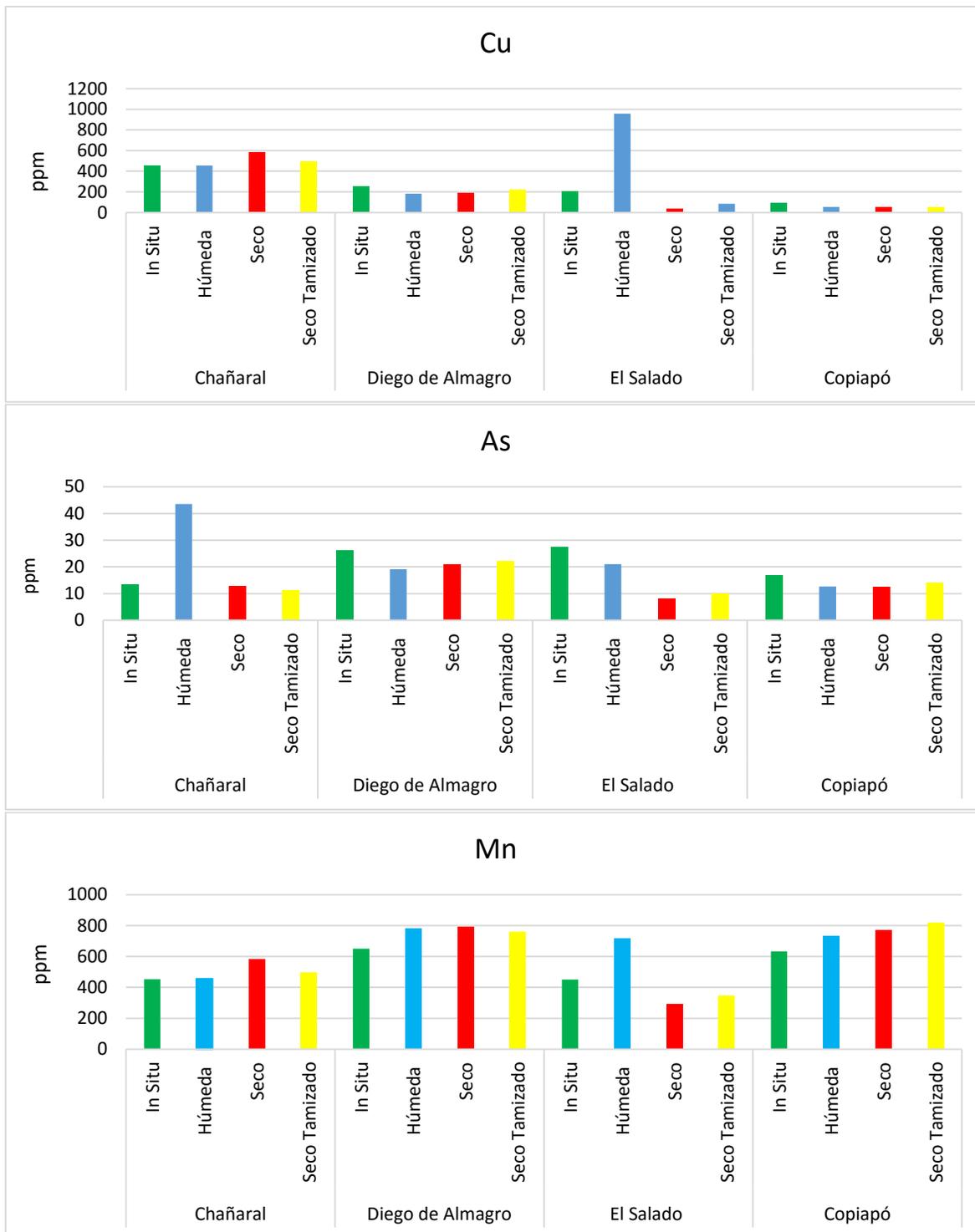


Figura 16. Influencia del contenido de humedad y granulometría en la determinación de Cobre, Arsénico y Manganeso en distintos suelos de la región de Atacama.

## IV. CAMPAÑAS DE MONITOREO

### IV.1 PRIMERA CAMPAÑA - ENERO 2015

Se coordinó con la SEREMI de Salud Atacama la visita de diversos puntos de interés en la Región, con el objetivo de interiorizarse en terreno de la situación regional y para evaluar posibles sitios donde instalar los equipos para realizar el monitoreo de la calidad del aire. Se realizaron las siguientes visitas:

Lunes 12 de Enero 2015:

17:00 hrs. Recorrido por el sector de Huasco y sus alrededores. Toma de muestras de suelo y monitoreo ambiental de aire con equipo Espectrómetro Laser de Aerosoles marca Grimm.



*Figura 17. Mapa de puntos visitados y monitoreados en Huasco*



*Figura 18. Visita de los alrededores de Huasco, búsqueda de sitio control.*



*Figura 19. Visita a un posible punto de emplazamiento de un CPDT. Compañía de bomberos, Huasco.*



*Figura 20. Visita a un posible punto de emplazamiento de un CPDT (muestras de MPS). Compañía de bomberos, Huasco.*



*Figura 21. Visita a los alrededores de la Termoelectrica Guacolda, Huasco*



*Figura 22. Monitoreo ambiental con equipo Espectrómetro Laser de Aerosoles, marca Grimm, en los alrededores de la empresa termoeléctrica Guacolda, Huasco.*



*Figura 23. Visita a un posible punto de emplazamiento de un CPDT. Consultorio, Huasco*

Martes 13 enero de 2015

08:30 - en adelante. Recorrido sector de Paipote y Tierra Amarilla. Toma de muestras de suelo y monitoreo ambiental de aire con equipo Espectrómetro Laser de Aerosoles marca Grimm.



Figura 24. Mapa de puntos visitados y monitoreados. Fundación ENAMI, Paipote



Figura 25. Visita a la Fundación ENAMI, Paipote



*Figura 26. Visita a la Fundación ENAMI, Paipote.*



*Figura 27. Toma de muestras de suelo en posible zona de emplazamiento en ENAMI, Paipote.*



*Figura 28. Monitoreo ambiental con equipo Espectrómetro Laser de Aerosoles, ENAMI, Paipote.*



*Figura 29. Visita a la Fundación ENAMI, sector Escorial, Paipote.*

12:30 - 13:30 hrs. Reunión en Gobierno Regional, División Análisis y Control de Gestión, Oficina Fomento Productivo y Empleo.

Durante el recorrido de reconocimiento de terreno, se hizo un alto para continuar las actividades programadas, esta vez se visitaron las oficinas del Gobierno Regional y se sostuvo una reunión de coordinación de proyecto entre el equipo del Gore, conformado por el Sr. William García, Sr. Nibaldo Guaita y la Sra. Paulina Veliz, junto con el equipo de la UTFSM conformado por el Prof. Dr. Francisco Cereceda, la Ing. Agr. Ximena Fadic y el Ing. Amb. Juan Pablo Muñoz. En esta reunión se trataron temas administrativos del proyecto.

13:30 - 15:00 hrs. Almuerzo

15:30 - 17:30 hrs. Visita Tierra Amarilla y sus alrededores. Toma de muestras de suelo y monitoreo ambiental de aire con equipo Espectrómetro Laser de Aerosoles marca Grimm



*Figura 30. Mapa de puntos visitados y monitoreados. Tierra Amarilla, Zona 1*



*Figura 31. Monitoreo ambiental con equipo Espectrómetro Laser de Aerosoles, Grimm, Tierra Amarilla.*



*Figura 32. Mapa de puntos visitados. Terreno propiedad de Enami, Tierra Amarilla, Zona 2*



*Figura 33. Visita a un posible punto de emplazamiento de un CPDT.  
Terreno propiedad de ENAMI, Tierra Amarilla*



*Figura 34. Mapa de puntos visitados y monitoreados.  
Escuela Marta Aguilar, Tierra Amarilla, Zona 3.*



*Figura 35. Visita a un posible punto de emplazamiento de un CPDT.  
Escuela Marta Aguilar, Tierra Amarilla.*



*Figura 36. Visita a un posible punto de emplazamiento de un CPDT.  
Escuela Marta Aguilar, Tierra Amarilla.*



*Figura 37. Visita a un posible punto de emplazamiento de un CPDT.  
Escuela Marta Aguilar, Tierra Amarilla.*

Los sitios de monitoreo fueron evaluados por los investigadores del CETAM, atendiendo a que fueran sitios seguros y con las condiciones ambientales óptimas para el monitoreo ambiental.

## IV.2 SEGUNDA Y TERCERA CAMPAÑA - ABRIL 2015 Y NOVIEMBRE 2015:

Entre los días 24 y 26 de Marzo de 2015, un fuerte temporal provocó el desbordamiento de los ríos Copiapó y Salado, de la quebrada de Paipote y de tranques de relaves mineros. Este inusual temporal provocó desbordes de causas de agua, provocando inundaciones a lo largo de toda la región, con las consiguientes consecuencias sobre la redistribución y desplazamiento de áridos, escoriales, estériles, entre otros pasivos ambientales mineros, hasta zonas pobladas de la región de Atacama.

El 25 de Marzo fue declarada alerta sanitaria para las comunas de Alto del Carmen, Copiapó, Diego de Almagro y Tierra Amarilla. Es por estos acontecimientos que el Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM) a solicitud también de la SEREMI de Salud de Atacama, Seremi de Medio Ambiente y de otras organizaciones involucradas en la contingencia del desastre por los aluviones, sugirieron realizar una solicitud de extensión geográfica del proyecto en cuestión. Esta solicitud se propuso al Sr. Nibaldo Guaita, encargado del Área de Fomento Productivo del GORE Atacama, para ampliar la zona de monitoreo de calidad de aire a las localidades más afectadas por dichas inundaciones. Específicamente se propuso monitorear en Diego de Almagro, Chañaral, El Salado, Tierra Amarilla, Copiapó y Paipote. Para ello se implementó una campaña de reconocimiento en terreno en las localidades mencionadas, donde se instalaron colectores de deposición total (CPDTs), se realizó monitoreo activo de material particulado en suspensión para caracterizarlo de acuerdo al tamaño de partícula y también se tomaron muestras de suelo para su análisis de elementos in situ y posteriormente en laboratorio. Los CPDTs colectaron semanalmente el material particulado sedimentable presente en la atmosfera para evaluar su evolución en el tiempo. Este monitoreo se extendió ininterrumpidamente durante 35 semanas. Posteriormente, las muestras recolectadas fueron analizadas en los laboratorios del CETAM para su caracterización química.

La tercera campaña de monitoreo se realizó la segunda semana de noviembre y consistió en recorrer los mismos seis sitios donde se encontraban instalados los colectores de CPDT para realizar nuevamente monitoreo de material particulado en suspensión y muestras de suelo. Estas muestras servirían para evaluar la evolución de la situación antes descrita y así poder establecer un nivel de comparación con la situación inicial del desastre.

La ubicación de los sitios seleccionados, donde se instalaron los colectores CPDTs durante las 35 semanas, y se tomaron muestras de suelo y monitoreo de aerosoles en abril y noviembre, se muestran en las siguientes figuras 38 y 39:



Estación SGS – ENAMI  
(al lado de la comisaria de Paipote)



Estación SGS – ENAMI  
Calle Miguel Lemeur S/Nº Copiapó



27°24'49.33"S      70°16'16.01"O

PAIPOTE



27°28'32.19"S      70°15'56.75"O

TIERRA AMARILLA

Figura 38. Localización de los Colectores CPDT en el Valle del Copiapó.

		
<p>Estación SGS – Codelco. Población Aeropuerto, calle Antuco Nº1321 Hospital de Chañaral (Patio Trasero)</p>	<p>Colegio Pedro Lujan (patio interior sector residencia de profesores)</p>	<p>Hospital Florencio Vargas Díaz (patio interior)</p>
		
<p>26°20'8.06"S 70°36'53.37"O 26°20'48.80"S 70°37'3.82"O</p>	<p>26°25'29.61"S 70°19'15.15"O</p>	<p>26°23'31.94"S 70° 3'9.28"O</p>
<p>CHAÑARAL</p>	<p>EL SALADO</p>	<p>DIEGO DE ALMAGRO</p>

Figura 39. Localización de los Colectores CPDT en Valle de El Salado.

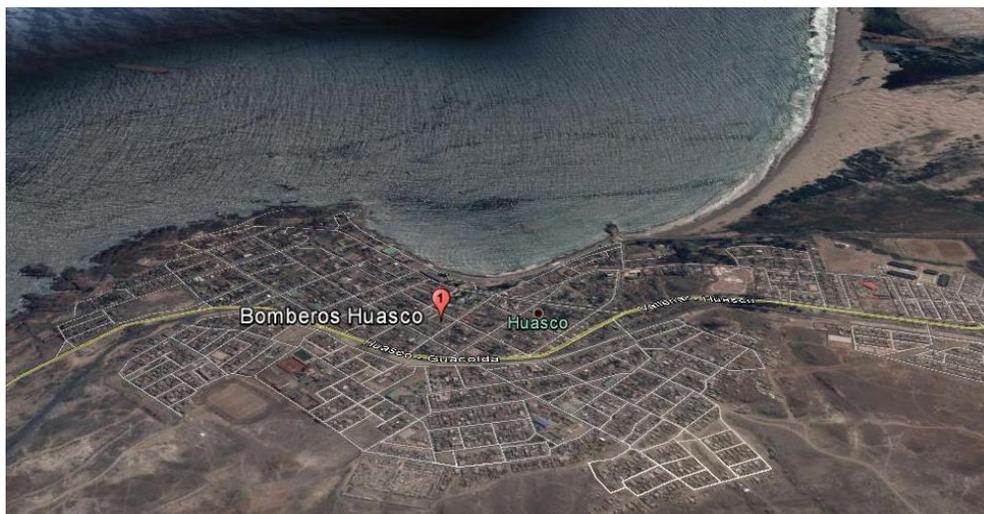
### IV.3 CUARTA CAMPAÑA – HUASCO - ABRIL 2016:

Miembros del Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM) viajaron a la Región de Atacama para continuar con las investigaciones y realizar la campaña de monitoreo de material particulado en suspensión y suelos en la zona de Huasco. Esta actividad se realizó entre los días 4 - 6 de abril del 2016. Se instalaron Colectores de Deposición Total para toma de muestras de material particulado sedimentable y Espectrómetro Laser de Aerosoles para monitoreo en línea de la concentración y distribución por tamaños del material particulado en suspensión en la Estación de Bomberos de Huasco (Figura 40).



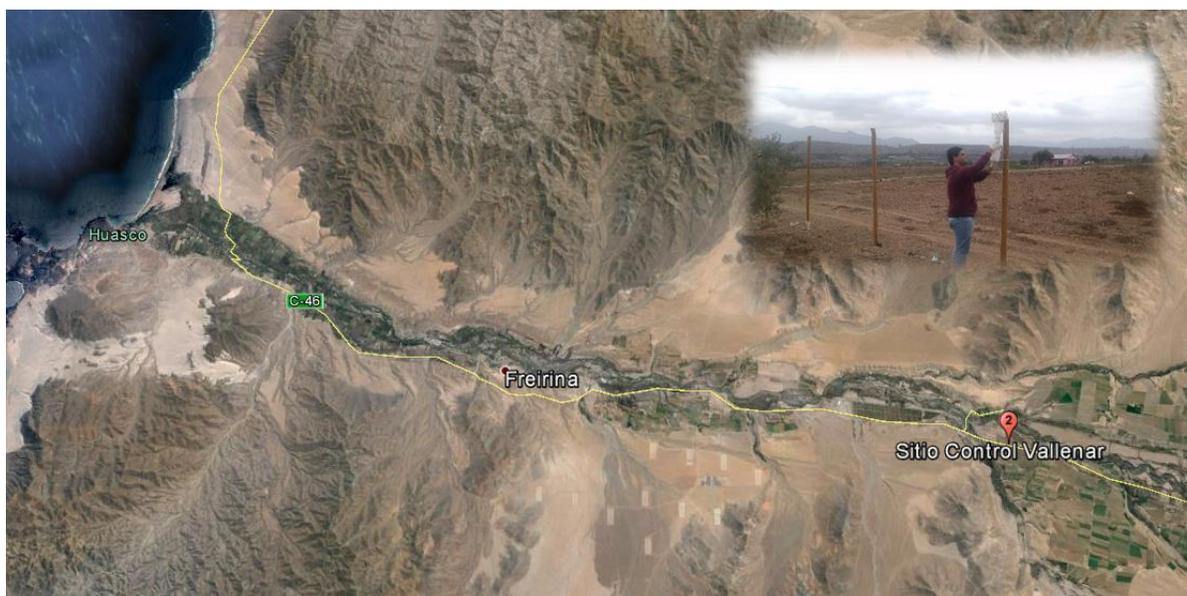
*Figura 40. Estación de monitoreo Bomberos Huasco.*

Las coordenadas de ubicación de la estación de monitoreo son  $28^{\circ}27'59.00''S$ ;  $71^{\circ}13'17.47''O$  (Figura 41).



*Figura 41. Ubicación estación de Bomberos Huasco*

Además, se realizó la búsqueda de un sitio control para el muestreo de material particulado sedimentable y monitoreo en tiempo real de concentración y distribución de material particulado, finalmente se seleccionó un sitio localizado 34 km al este de Huasco, en la comuna de Vallenar que corresponde a una parcela de olivos, las coordenadas exactas del sitio control son  $28^{\circ}32'8.05''S$ ;  $70^{\circ}54'22.46''O$  (Figura 42).



*Figura 42. Sitio Control Vallenar*

Una vez localizado el sitio control se retiró el espectrómetro laser de aerosoles de la estación de bomberos de Huasco y se instaló en el sitio control en conjunto con 2 colectores de deposición total (Figura 42).

Se realizó el muestreo de suelos en 4 sitios que corresponden a Huasco ciudad, sitio control, Huasco sur y cercano a planta de pellets CAP, la ubicación de los sitios de muestreo se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Sitios de muestreo

Sitio de muestreo	Coordenadas	Imagen
Huasco ciudad	28°27'48.22"S; 71°12'37.64"O	
Sitio Control	28°32'8.63"S; 70°54'20.78"O	
Huasco Sur	28°30'14.54"S; 71°15'23.30"O	
Huasco Planta Pellets	28°29'9.98"S; 71°14'21.41"O	

## V. RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO

### V.1 CARACTERIZACIÓN DE AEROSOLES EN LA REGIÓN DE ATACAMA

Durante el proyecto se realizó un monitoreo de aerosoles atmosféricos utilizando un equipo Espectrómetro Laser de Aerosoles marca Grimm modelo EDM 107, Alemania. Se trata de un espectrómetro de aerosoles portátil para la medición simultánea de material particulado fino MP10, MP2,5 y MP1 (Fig. 43). Las características técnicas de este equipo se describen en la tabla 5.1.



Figura 43: Equipo Grimm EDM 107.

Tabla 5.1. Características técnicas del equipo Grimm EDM 107 Monitor

Principio de medición	Dispersión de Luz
Fuente de luz	Laser de diodo
Rango de medición	De 0,25 a 32 micrones
Rango de concentración	De 1 a 2.000.000 de partículas/litro
Número de canales	31 rangos diferentes de tamaño de partículas
Rangos de masa	PM10 y PM2.5 y PM1
Reproducibilidad	3% en el rango máx.
Resultados de masa	simultáneo y en tiempo real
Presentación de los datos	de 6 segundos a 1 hora
Flujo de muestreo	1,2 litros/min.
Control de volumen	Automático
Fuente de alimentación	18 VDC o 220V/110V
Rango de temperatura	+ 4°C a + 40°C
Tamaño	24 x 12 x 6cm
Peso total	2,5 kg con batería de plomo (8h de uso)

Los datos registrados y mostrados en este capítulo del informe, corresponden a los resultados de un monitoreo exploratorio, lo que significa que fueron medidos para tener una visión rápida de la concentración instantánea de los contaminantes (PM) de aquel sitio y en períodos acotados de tiempo. Estos datos no representan la concentración promedio del PM en el lugar, ni tampoco determina tendencias o ciclicidad de la contaminación en esa zona debida a PM o a otro tipo de contaminantes atmosféricos.

### V.1.1 CAMPAÑA ENERO 2015

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas durante la primera campaña de monitoreo, los días 12 y 13 de enero del 2015, en las zonas de Huasco, Tierra Amarilla y Paipote (ver detalle de los lugares en el capítulo IV.1, pág: 45-55).

#### V.1.1.1 Huasco - Sector Termoeléctrica Gualcolda

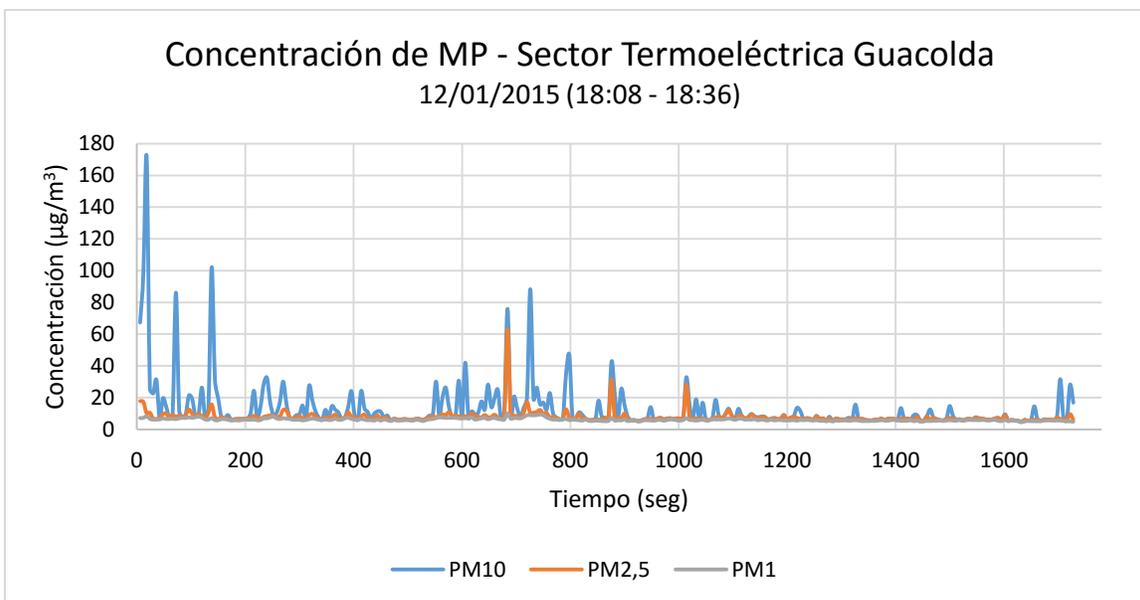


Figura 44. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en el sector termoeléctrica Guacolda, Huasco.

En términos de los resultados de la Figura 44, la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $13,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y  $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. Estos valores están muy por debajo de las normas respectivas de 24h, tanto para PM10 ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) como para PM2,5 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sin embargo, y tal como ya se explicó, estas mediciones no representan ni intentan caracterizar el comportamiento del PM en esta zona, sino solo pretenden tener en una primera aproximación de los niveles de este contaminante durante estas campañas exploratorias.

#### V.1.1.2 Paipote - Fundición de ENAMI Hernán Videla Lira.

En Paipote se encuentra ubicada la Fundición de ENAMI Hernán Videla Lira. Se realizó monitoreo de aerosoles atmosféricos en dos sectores de la fundición; en el sector de acopio de material de la fundición y en el sector escorial. Los resultados instantáneos se muestran en las figuras 45 y 46, respectivamente.

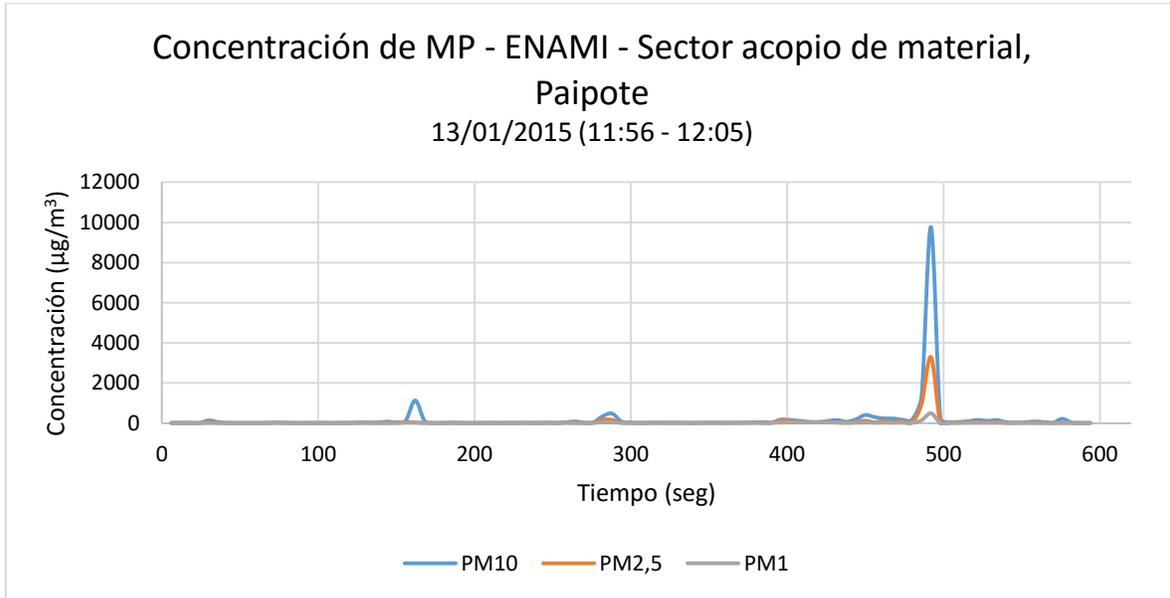


Figura 45. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en sector de acopio de material de ENAMI, Paipote

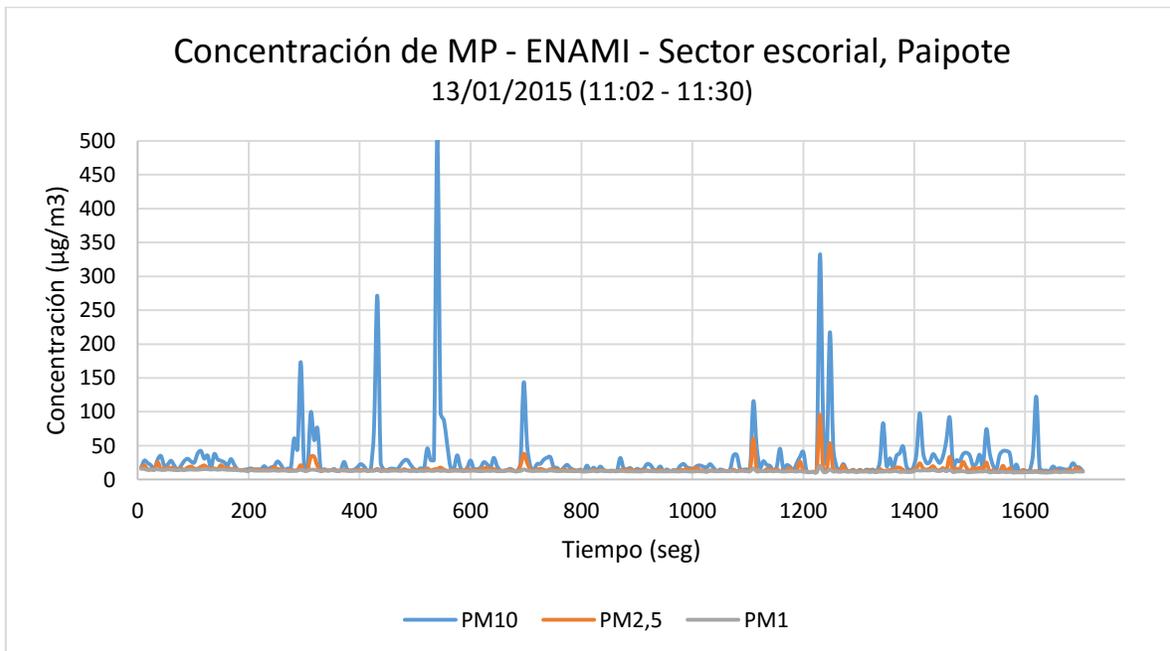


Figura 46. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 ENAMI sector escorial, Paipote

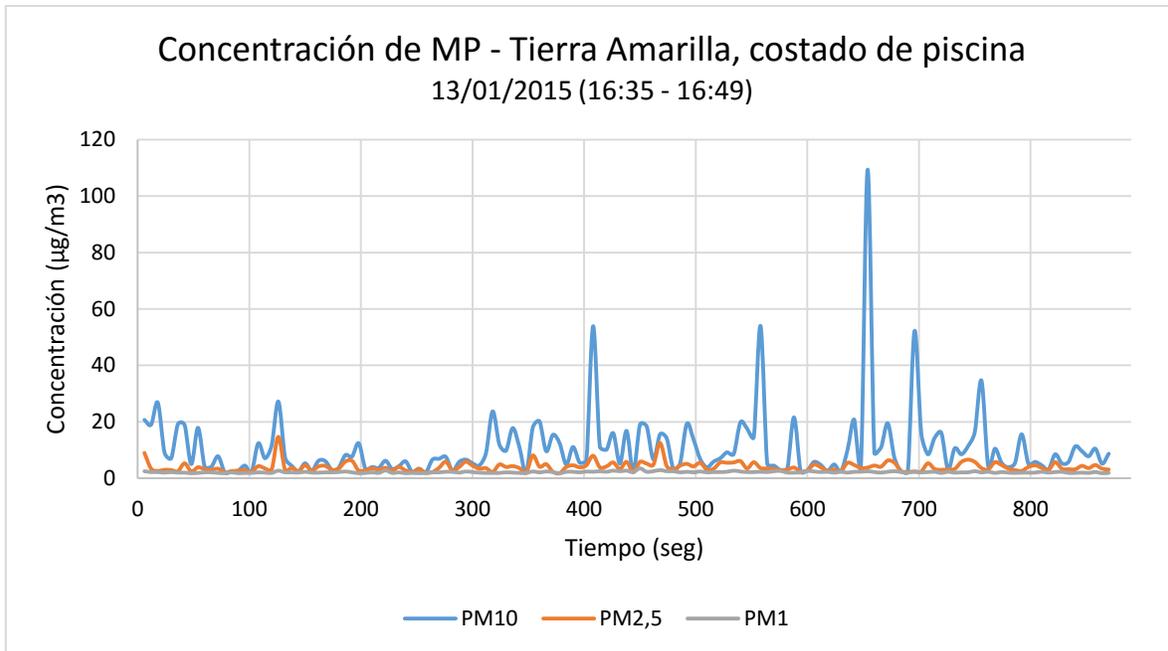
En el patio de acopio de materias de la fundición (fig. 45), la concentración promedio de aerosoles del período monitoreado, fue de  $190,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $69,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2.5 y  $19,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. Es importante considerar que los valores promedios anteriores se ven claramente influenciados por un pico que sobrepasó los  $9.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10, los  $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2.5 y los  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. No obstante, se decidió dejar ese valor que claramente se escapa a la media, ya que en terreno se apreció

que efectivamente las ráfagas de viento provocaban la resuspensión de las partículas más finas depositadas en el suelo lo cual fue ineludiblemente captado por el equipo de monitoreo, considerándose este un dato válido en este caso y en estas circunstancias. Nuevamente si bien en este caso los valores promedio del período de muestreo ( $\approx 30$  min) esta vez entregan valores muy por sobre la norma, ellos no representan ni intentan caracterizar el comportamiento del PM en esta zona, sino solo pretenden tener en una primera aproximación de los niveles de este contaminante durante estas campañas exploratorias. Sin embargo y dado los elevados valores medidos en estos lugares, deberían alertar a la empresa y las autoridades respecto de la necesidad de realizar un monitoreo sistemático que efectivamente permita caracterizar el comportamiento del PM en esta zona de estudio.

Por su parte, en el sector del escorial (Fig.46), la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM<sub>10</sub>,  $15,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM<sub>2,5</sub> y  $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM<sub>1</sub>, mostrando la gráfica de registros instantáneos un comportamiento más homogéneo que en el patio de acopio, durante el período medido. La explicación anterior respecto de las observaciones señaladas también aplica en este caso. Hay que tomar además en cuenta que tal como se aprecia en las Fig. 27-29 (pág.50), en este lugar con cierta regularidad durante el día se vierten residuos provenientes del horno de fundición (escoria) en estado casi líquido, generándose durante este proceso grandes cantidades de humos visibles y partículas, las cuales también debieran alertar a la empresa y las autoridades respecto de la necesidad de realizar un monitoreo sistemático que efectivamente permita caracterizar el comportamiento del PM en esta otra zona de estudio.

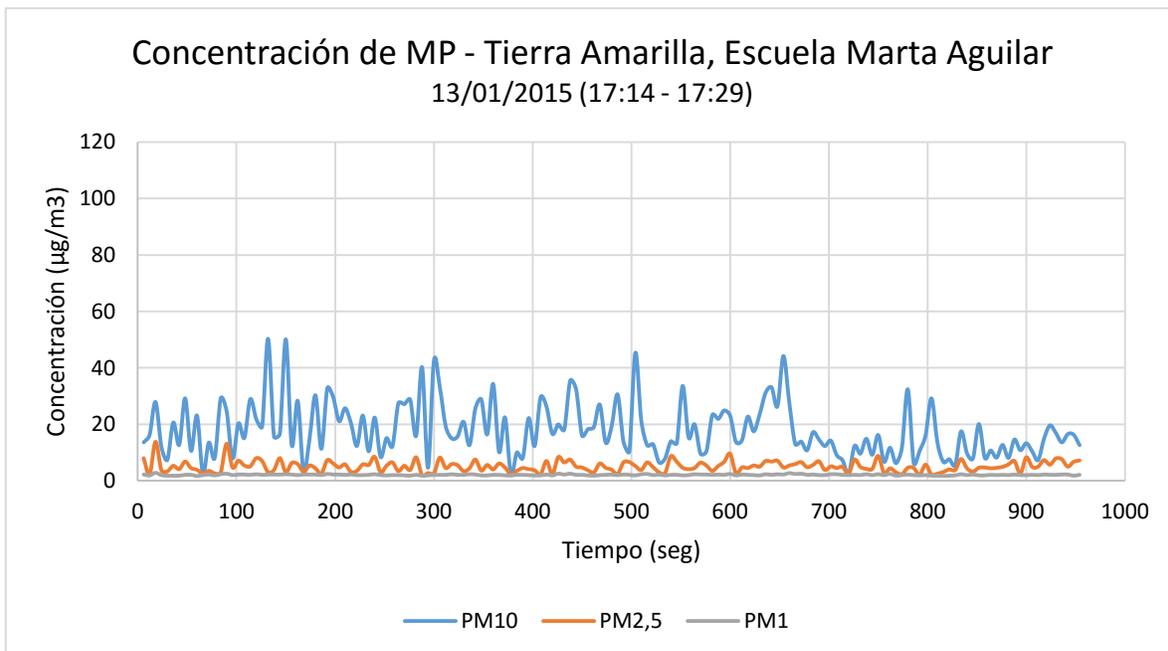
#### V.1.1.3 Tierra Amarilla - Piscina municipal y Escuela Marta Aguilar

El tercer lugar donde se realizó monitoreo de aerosoles, correspondió a la comuna de Tierra Amarilla. En esta comuna se eligieron dos lugares; a un costado de la piscina municipal y en el patio trasero de la Escuela Marta Aguilar. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 47 y 48.



*Figura 47. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Tierra Amarilla, al costado de piscina municipal.*

En términos de los resultados de la figura 47, la concentración promedio del período monitoreado alcanzó 10,6 µg/m<sup>3</sup> para el PM10; 4,0 µg/m<sup>3</sup> para el PM2,5 y 2,2 µg/m<sup>3</sup> para el PM1. La explicación anterior respecto de las observaciones señaladas y las precauciones en la interpretación de estos resultados de PM, también aplican en este caso.



*Figura 48. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en la escuela Marta Aguilar, Tierra Amarilla.*

En términos de los resultados de la figura 48, la concentración promedio del período monitoreado alcanzó 18,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10; 5,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y 2,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1.

En conclusión, los gráficos de todos los puntos monitoreados en la campaña de enero 2015 mostraron que el lugar con mayor concentración del PM10, PM2,5 y PM1, correspondió a las mediciones realizadas al interior de las instalaciones de la Fundición de ENAMI Hernán Videla Lira, estando en primer lugar el patio de acopio, seguido del sector del escorial. En tercer lugar, se ubican las mediciones realizadas en las cercanías de la Termoeléctrica Guacolda. Finalmente, se encuentran las mediciones realizadas en lugares poblados, es decir, los realizados en Tierra Amarilla, llamando la atención que la concentración de MP10 medida en la Escuela Marta Aguilar fue mayor a la medida a un costado de la piscina. Esto se aprecia claramente en la tabla 5.2 y la figura 49.

Tabla 5.2. Concentraciones de MP10, MP2.5 y MP1 promedio medidos durante la campaña de enero 2015.

	MP10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Paipote, Patio Acopio Fundición</b>	190,5	69,3	19,8
<b>Paipote, Escorial Fundición</b>	29,7	15,3	12,6
<b>Huasco, Sector Guacolda</b>	13,0	7,7	6,1
<b>Tierra Amarilla, Escuela</b>	18,0	5,1	2,1
<b>Tierra Amarilla, Piscina</b>	10,6	4,0	2,2

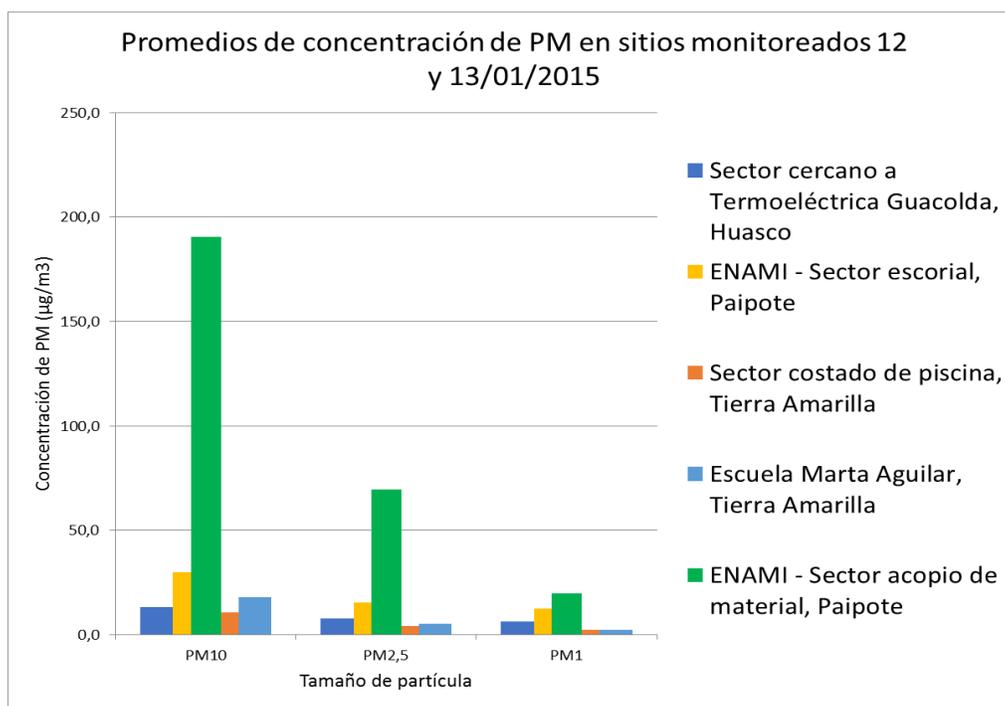


Figura 49. Comparación de promedios de concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en los diferentes puntos monitoreados.

## V.1.2 CAMPAÑA ABRIL 2015

La segunda visita a la Región de Atacama se realizó entre los días 8, 9 y 10 de Abril con el motivo de registrar en base al monitoreo de aerosoles atmosféricos y suelo, el nuevo panorama ambiental en el que se encontraba la Región de Atacama luego de los sucesos acontecidos en el mes de marzo, donde se produjeron fuertes lluvias y aluviones que afectaron a innumerables localidades y ciudades del norte de nuestro país.

En dicha visita se monitorearon los sectores de Paipote, Tierra Amarilla, Chañaral, El Salado Y Diego de Almagro. Los detalles sobre la ubicación georreferenciada de estos lugares se presentan en el capítulo IV.2 (pág: 56).

Los datos instantáneos registrados de las concentraciones de aerosoles atmosféricos se presentan a continuación en las figuras 50-54.

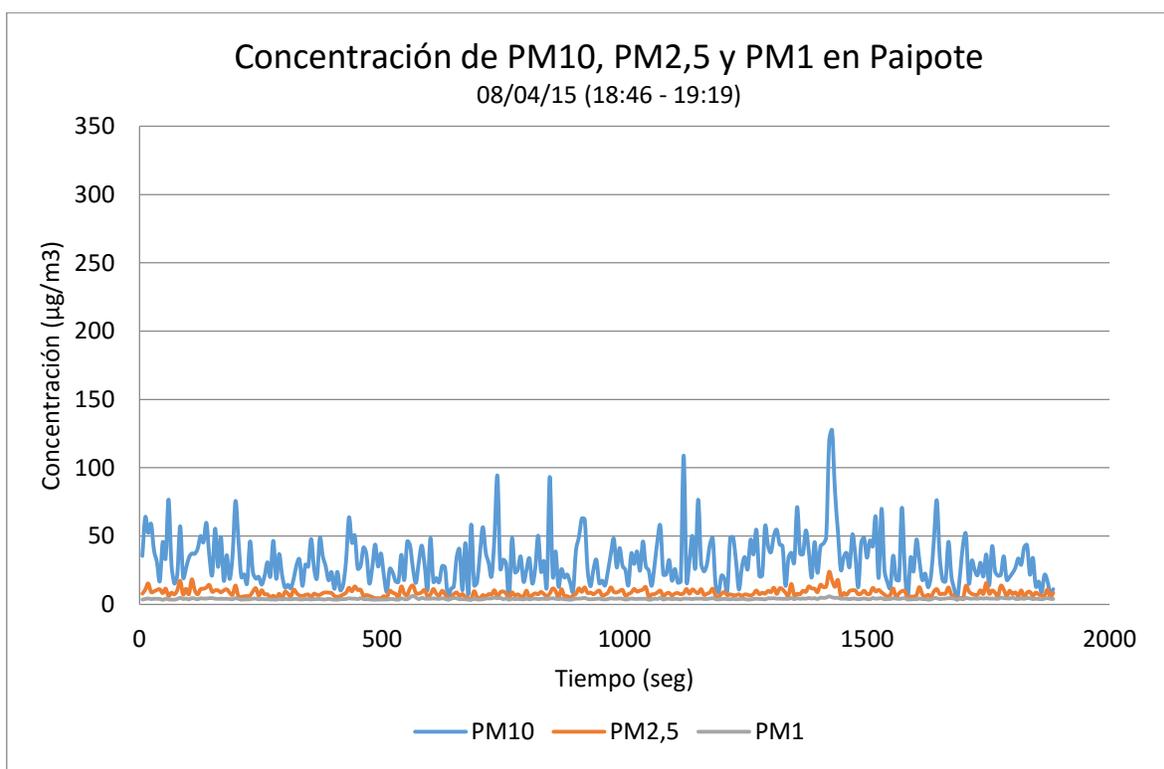
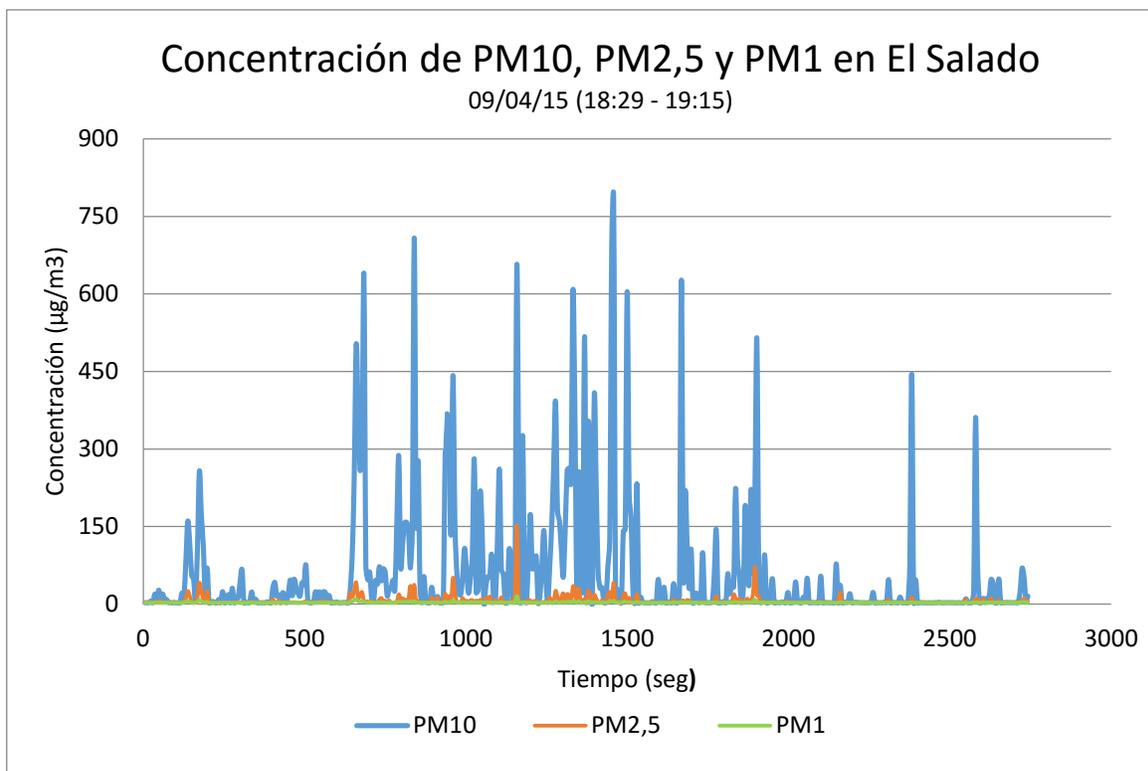


Figura 50. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Paipote

En términos de los resultados, la figura 50 muestra la concentración de PM del período monitoreado, registrándose en Paipote un promedio de 32,1 µg/m<sup>3</sup> para el PM10; 8,4 µg/m<sup>3</sup> para el PM2,5 y 4,0 µg/m<sup>3</sup> para el PM1.



*Figura 51. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en El Salado*

La figura 51 muestra la concentración de aerosoles medidas en El Salado para el período monitoreado, alcanzando un promedio de 62,5 µg/m<sup>3</sup> para el PM10; 6,5 µg/m<sup>3</sup> para el PM2,5 y 3,2 µg/m<sup>3</sup> para el PM1. Sin embargo, los resultados muestran picos máximos de PM10 que alcanzaron valores de hasta 800 µg/m<sup>3</sup> y de PM2,5 que alcanzaron valores sobre los 150 µg/m<sup>3</sup>, esto muy probablemente debido a las actividades de movimiento de tierra asociadas a las operaciones de recuperación de la infraestructura de la localidad de El Salado. Nuevamente, la explicación anterior, descrita en el punto V 1.1, respecto de las observaciones señaladas y las precauciones en la interpretación de estos resultados de PM, también aplican en este caso.

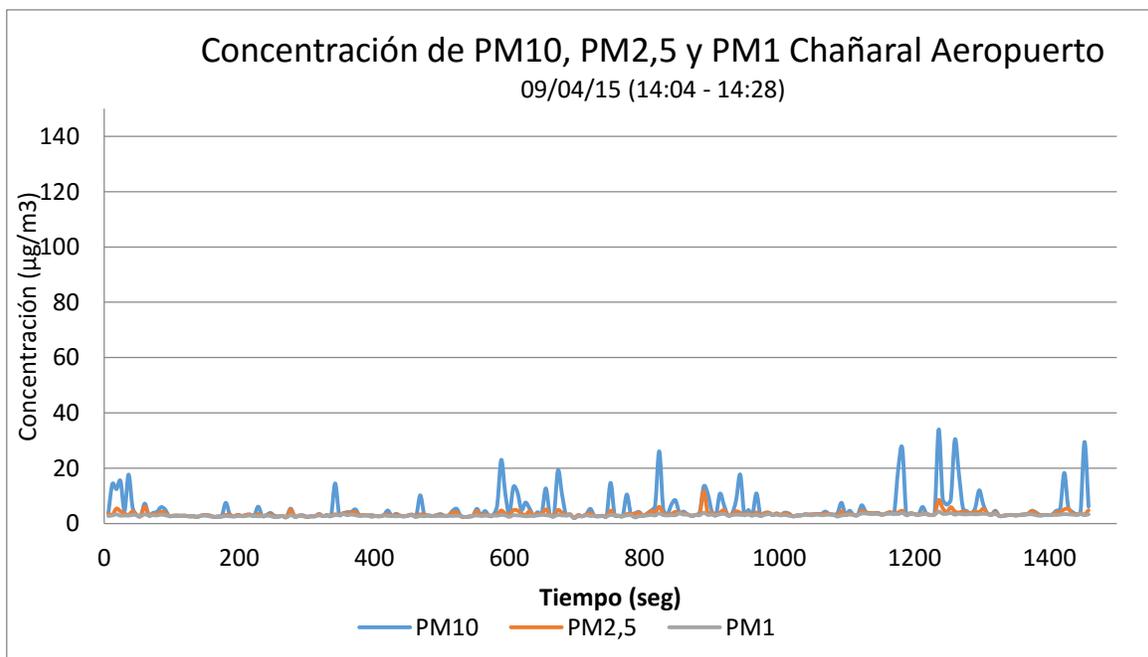


Figura 52. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Chañaral Aeropuerto

En el aeropuerto de Chañaral, la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y  $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1 (Fig. 52).

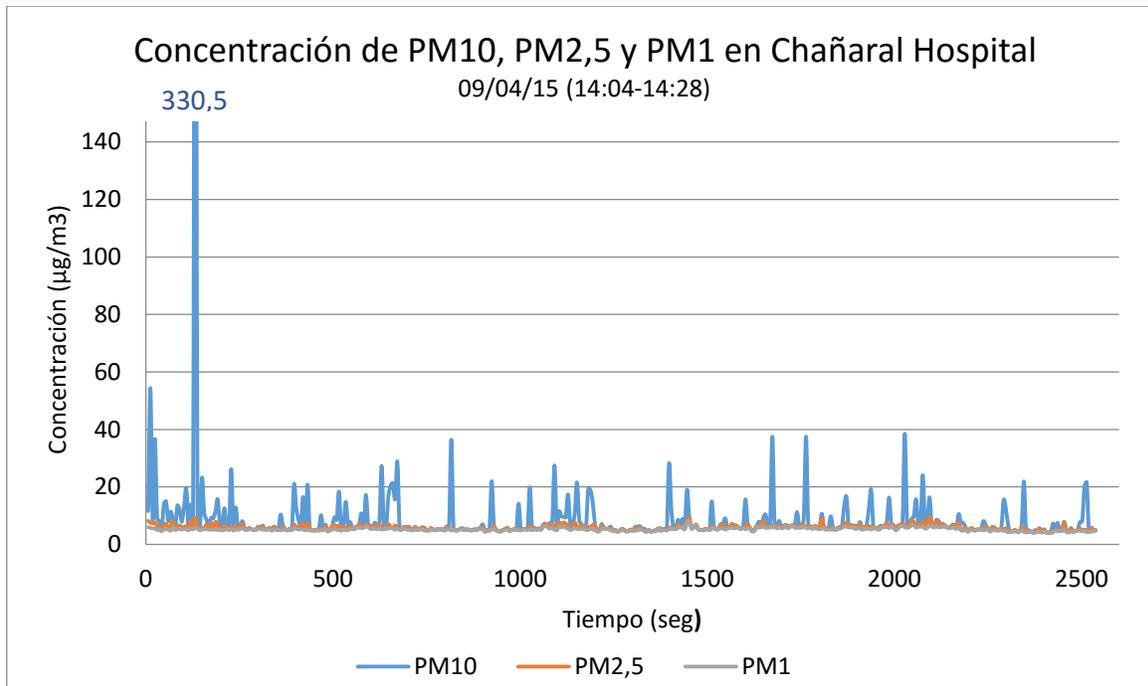


Figura 53. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Chañaral Hospital

En el hospital de Chañaral, la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y  $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1 (Fig. 53). Se

observa un pico de  $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10, que corresponde a ráfagas de viento que levantan PM de mayor tamaño afectando entonces al PM10.

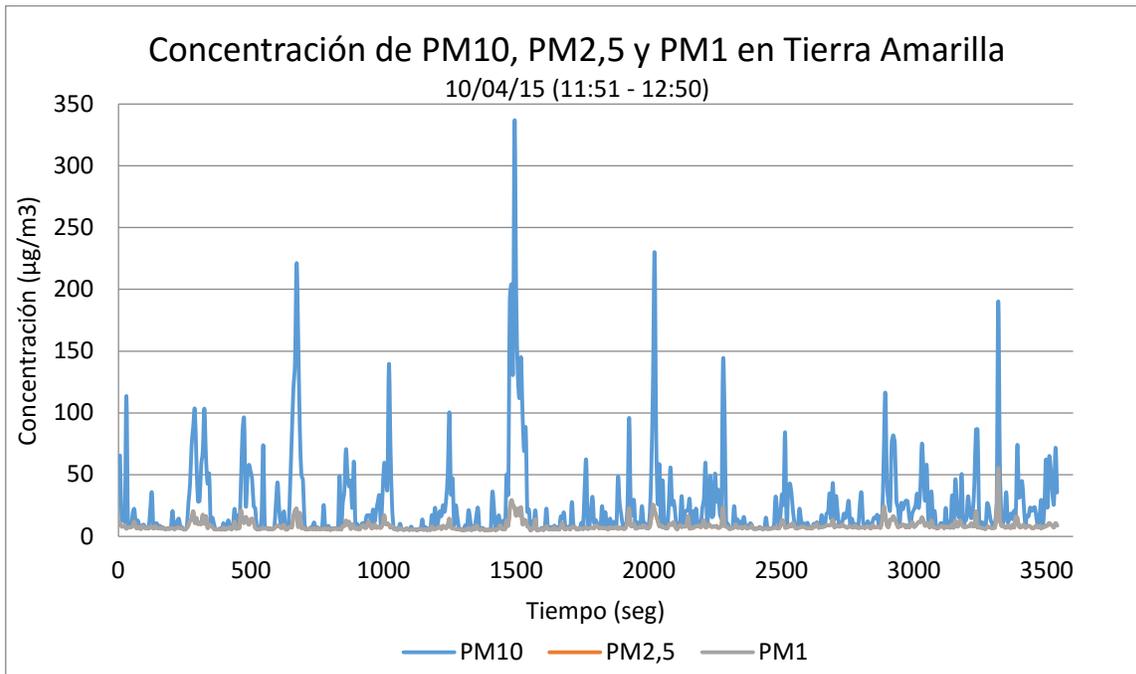


Figura 54. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Tierra Amarilla

En términos de los resultados de la tabla 5.3 y la figura 54, en Tierra Amarilla la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $21,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2.5 y  $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. Sin embargo y tal como se puede apreciar en la figura 54, existen valores muy altos de PM10 que superan los  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en momentos puntuales dentro del periodo monitoreado. También llama la atención también los altos valores de PM11 y PM2,5, que prácticamente siguen un mismo comportamiento y nivel, lo que es especialmente peligroso por ser la fracción más fina del MP; esto a pesar de las consideraciones respecto a la representatividad de los datos, debe de todos modos alertar a las autoridades y ameritan un monitoreo sistemático en esta localidad.

En conclusión, el sector de monitoreo que presenta menores valores promedio de material particulado en comparación con el resto de las estaciones es Chañaral Aeropuerto. Por el contrario, los valores promedio de concentración de PM más altos los presenta la estación El Salado en PM10 y Tierra Amarilla en PM1. En términos de PM2,5, Paipote y Tierra Amarilla presentan los valores de concentración promedio más altos, Paipote registra  $8,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Tierra Amarilla  $8,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La explicación anterior, descrita en el punto V.1.1, respecto de las observaciones señaladas y las precauciones en la interpretación de estos resultados de PM, también aplica en este caso.

Tabla 5.3. Concentraciones de MP10, MP2.5 y MP1 promedio medidos durante la campaña de abril 2015.

	MP10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>El Salado</b>	62,5	6,5	3,2
<b>Paipote, Estación SGS – ENAMI</b>	32,1	8,4	4,0
<b>Tierra Amarilla, Estación SGS – ENAMI</b>	21,2	8,4	6,4
<b>Chañaral Hospital</b>	8,9	5,8	5,3
<b>Chañaral Aeropuerto</b>	5,3	3,5	2,9

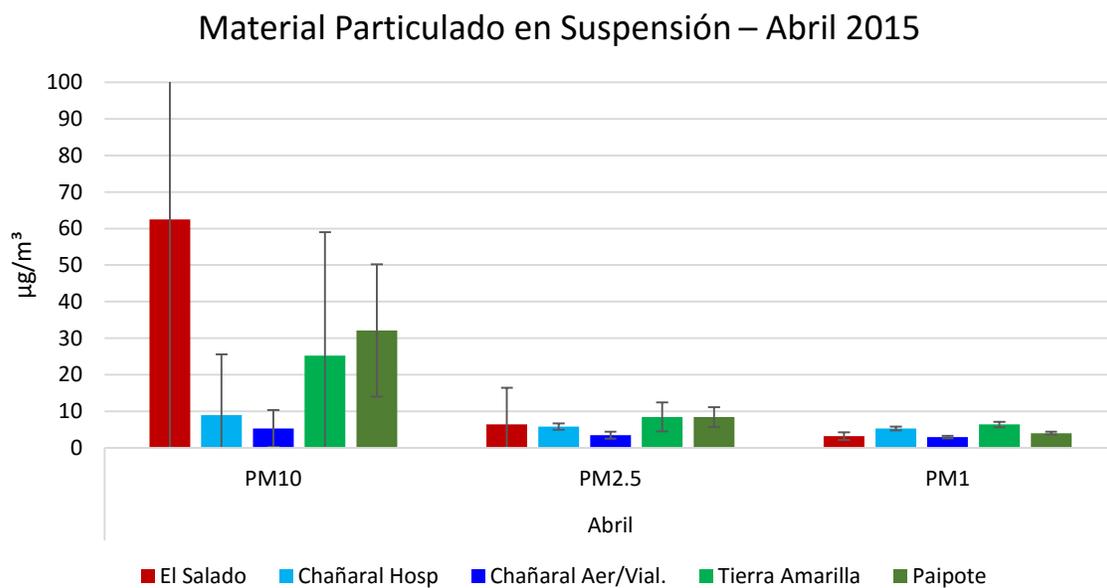


Figura 55. Concentraciones de MP10, MP2,5 y MP1 promedio, campaña abril 2015.

### V.1.3 CAMPAÑA NOVIEMBRE 2015

A continuación, se presentan los resultados de la campaña de aerosoles atmosférico realizada durante la tercera visita a la Región de Atacama, la que tuvo lugar entre los días 16 y 19 de Noviembre del 2015, con el motivo de continuar las investigaciones en la zona y monitorear el material particulado en suspensión en Paipote, Tierra Amarilla, Diego de Almagro, El Salado y Chañaral. Los detalles sobre la ubicación georreferenciada de estos lugares se presentan en el capítulo IV.2.

Los datos instantáneos registrados de las concentraciones de aerosoles atmosféricos se presentan a continuación en las figuras 56-62. En Chañaral Hospital (Fig. 56), la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $14,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10,  $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. Los valores máximos registrados correspondieron a  $62,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10,  $19,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $14,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. La explicación anterior, descrita en el punto V.1.1, respecto de las observaciones señaladas y las precauciones en la interpretación de estos resultados de PM, también aplica en este caso.

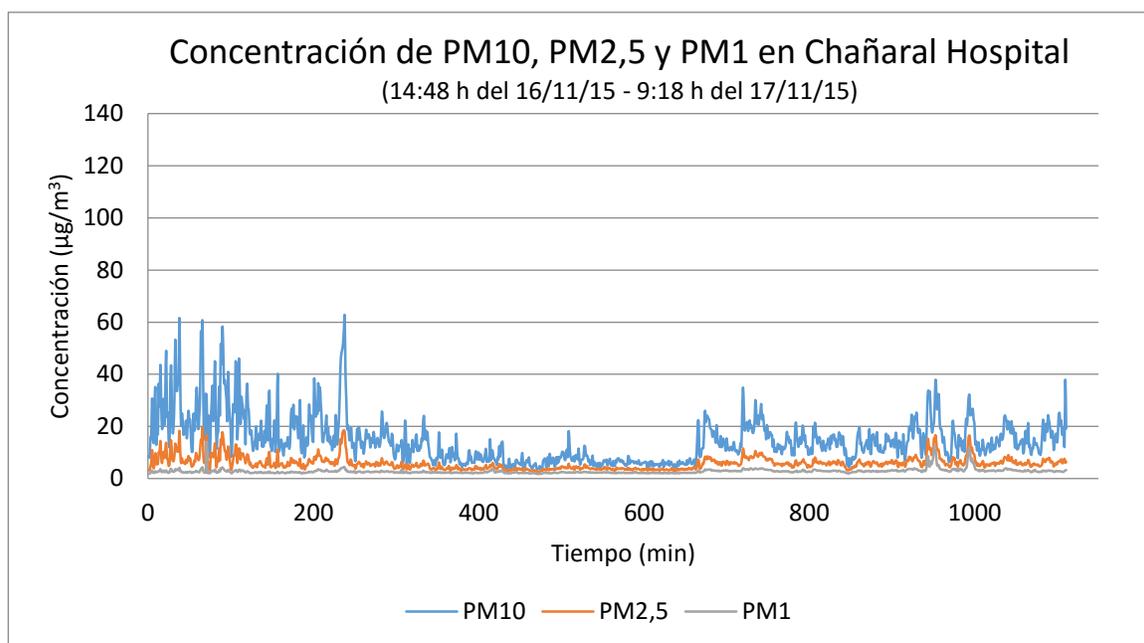
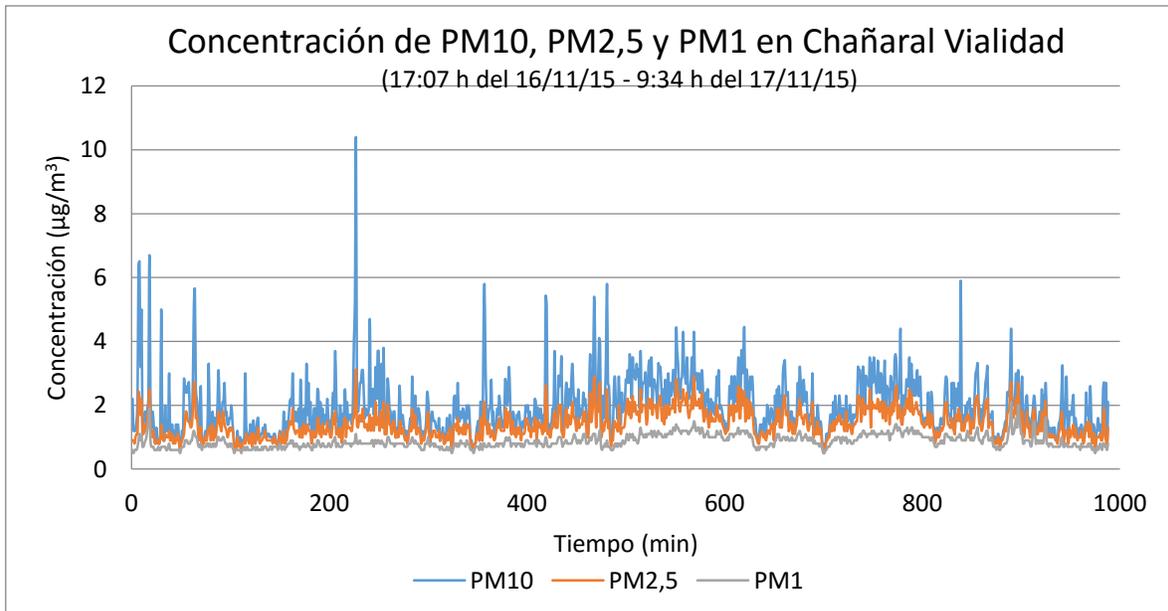


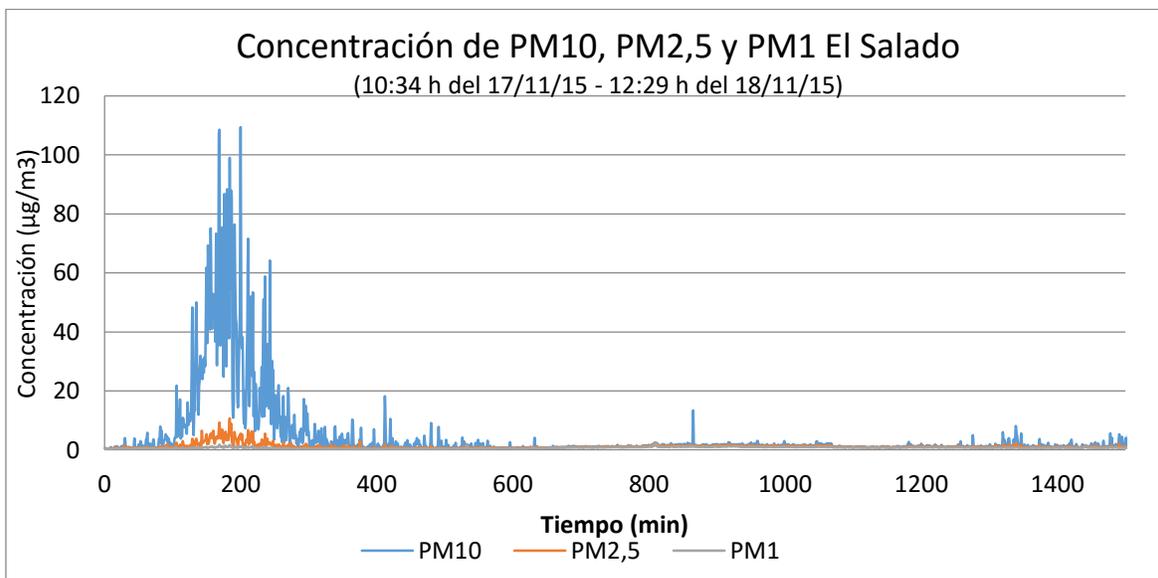
Figura 56. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Chañaral Hospital

En Chañaral Vialidad (Fig. 57) la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10,  $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. Los valores máximos registrados correspondieron a  $10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10,  $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1.



*Figura 57. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Chañaral Vialidad*

En el Salado (Fig. 58) la concentración promedio del período monitoreado alcanzó 4,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10, 1,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y 0,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. Los valores máximos registrados correspondieron a 109,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10, 10,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y 2,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1.



*Figura 58. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en El Salado*

En Diego de Almagro (Fig. 59) la concentración promedio del período monitoreado alcanzó 14,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10, 4,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y 2,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. Los valores máximos registrados correspondieron a 121,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10, 24,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y 17,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1.

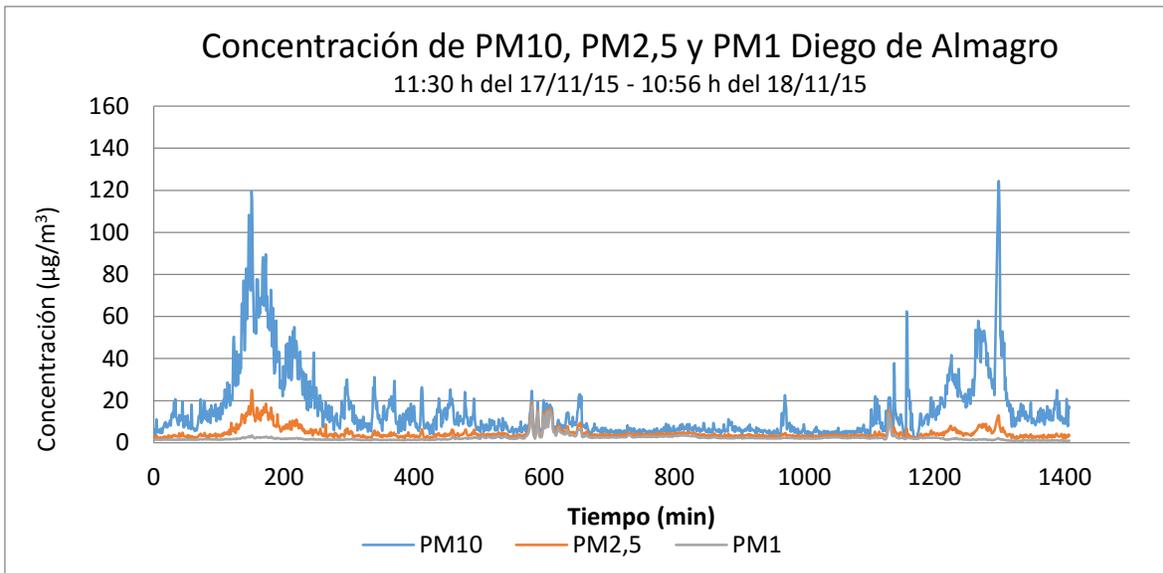


Figura 59. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Diego de Almagro

En Tierra Amarilla (Fig. 60) la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10,  $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. Los valores máximos registrados correspondieron a  $231,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10,  $39,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $14,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. Nuevamente llama la atención los altos valores registrados en algunos momentos del día para el PM en todas sus fracciones, insistiendo en la necesidad de realizar un monitoreo sistemático que permita verificar esta situación.

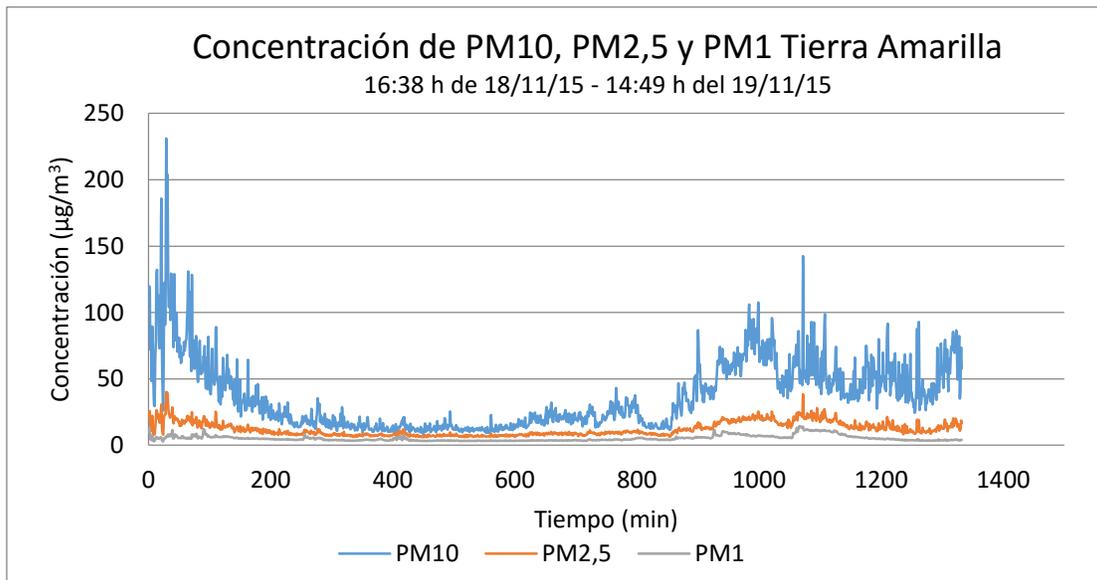


Figura 60. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Tierra Amarilla

En Paipote (Fig. 61), la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $13,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10,  $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y  $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. En términos de

concentraciones máximas, se observó un pico de  $175,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10,  $35,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y de  $9,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1.

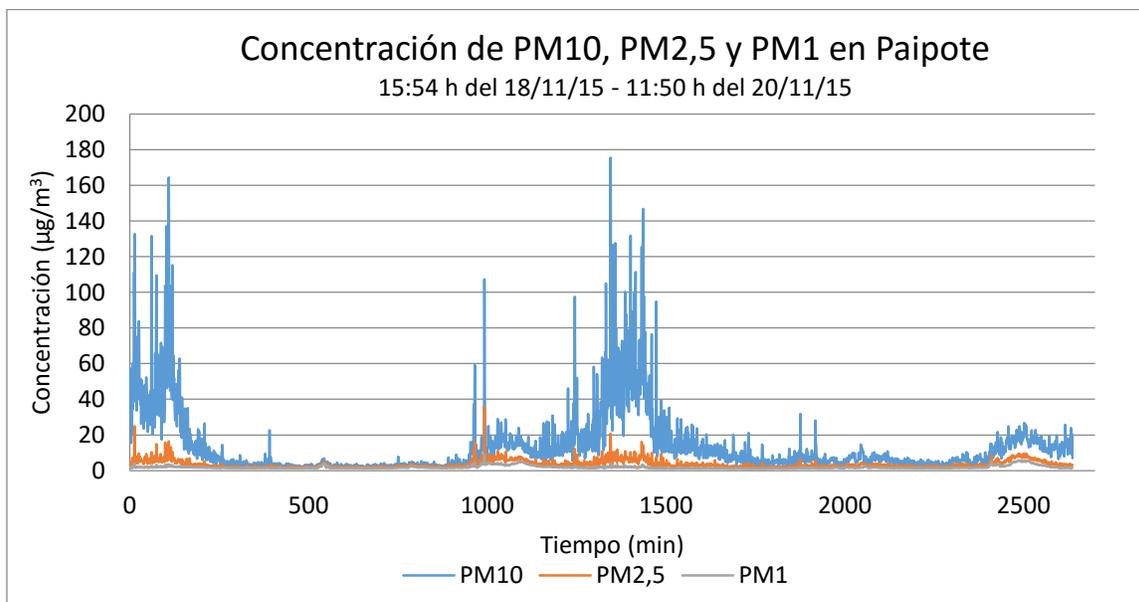


Figura 61. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Paipote

El monitoreo dentro de las instalaciones de la Fundición (Fig. 62), arrojó una concentración promedio del período monitoreado de  $80,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. Se observa que la distribución de la concentración durante el día es muy irregular, mostrando en horas de la mañana picos de hasta  $1.883,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10,  $320,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2,5 y de  $86,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1, valores excesivamente altos y que son coincidentes con las horas de máximo funcionamiento de la fundición. La explicación anterior, descrita en el punto V.1.1, respecto de las observaciones señaladas y las precauciones en la interpretación de estos resultados de PM, también aplica en este caso. Se hace nuevamente hincapié en alertar a las autoridades respecto de estos picos de altos valores de concentración de PM en todas sus fracciones, lo que amerita un estudio y monitoreo sistemático en este lugar industrial.

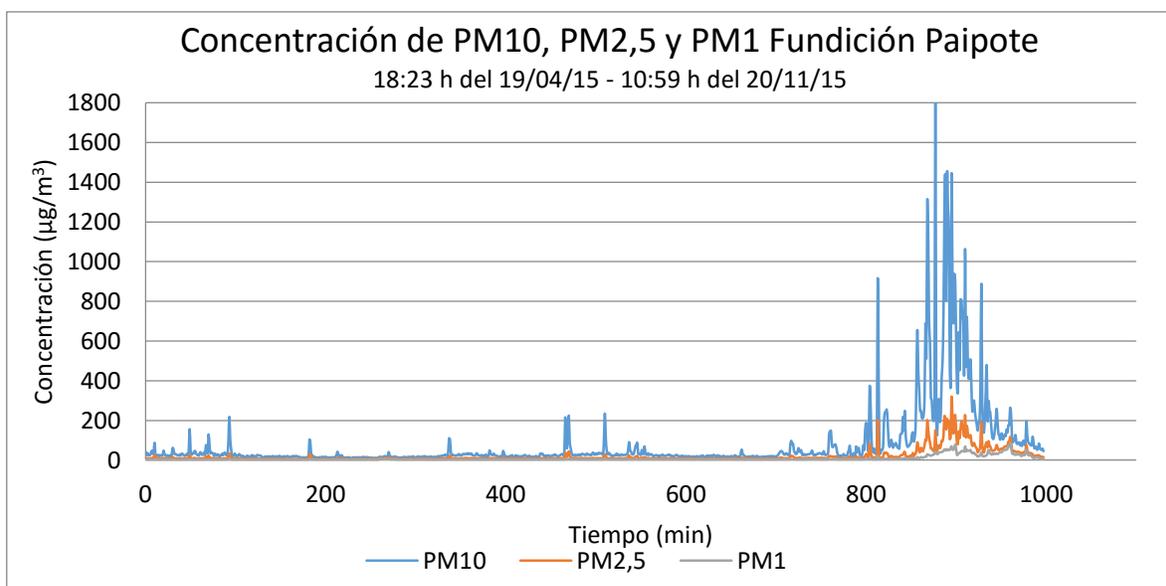


Figura 62. Concentración de MP10, MP2,5 y MP1 en Fundación Paipote

En conclusión, el sector de monitoreo que presenta menores valores promedio de PM10 en comparación con el resto de las estaciones es la localidad de Chañaral Vialidad, con un promedio de  $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El sector de monitoreo que presenta menores valores promedio de PM2,5 y PM1 en comparación con el resto de las estaciones es la localidad de El Salado, con un promedio de  $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Por el contrario, los valores promedio de concentración de material particulado más altos los presenta nuevamente el punto de monitoreo ubicado en terrenos de propiedad de la Fundación Hernán Videla Lira de Enami, en Paipote, alcanzando en promedio  $80,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1 y los valores máximos más altos en comparación al resto de las estaciones monitoreadas. El segundo punto de muestreo con los valores de material particulado más altos los presenta Tierra Amarilla alcanzando en promedio  $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y  $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. La gráfica comparativa de las concentraciones promedios registrada en los diversos puntos de monitoreo, se representan en la Tabla 5.4 y Figura 63.

Tabla 5.4. Concentraciones de MP10, MP2.5 y MP1 promedio medidos durante la campaña de noviembre 2015.

	MP10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Paipote, Fundación</b>	80,5	20,6	7,8
<b>Tierra Amarilla, Estación SGS – ENAMI</b>	36,7	12,0	5,1
<b>Chañaral Hospital</b>	14,7	5,8	2,8
<b>Diego de Almagro</b>	19,4	5,2	2,3
<b>Paipote (Estación SGS – ENAMI)</b>	13,5	3,6	1,9
<b>El Salado</b>	4,9	1,2	0,7
<b>Chañaral Vialidad</b>	2,0	1,4	0,9

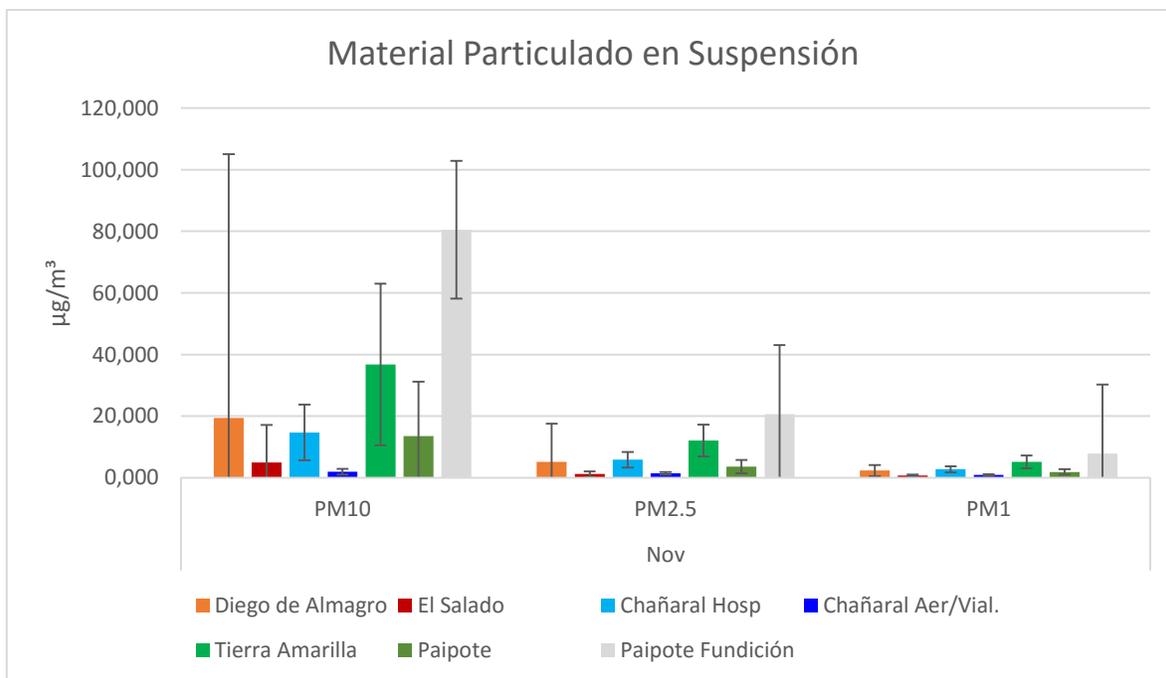


Figura 63. Promedios de concentración de PM en estaciones de monitoreo en noviembre 2015.

## V.1.4 CAMPAÑA ABRIL 2016

El monitoreo de aerosoles en Huasco se inició el día lunes 4 de Abril a las 17:58 horas, registrándose los datos de PM10, PM2.5 y PM1 cada 1 minuto. El monitoreo finalizó al día siguiente, día martes 5 de abril a las 13:09 horas.

Los resultados de concentración para cada uno de los diámetros de partículas se grafican a continuación en la figura 64.

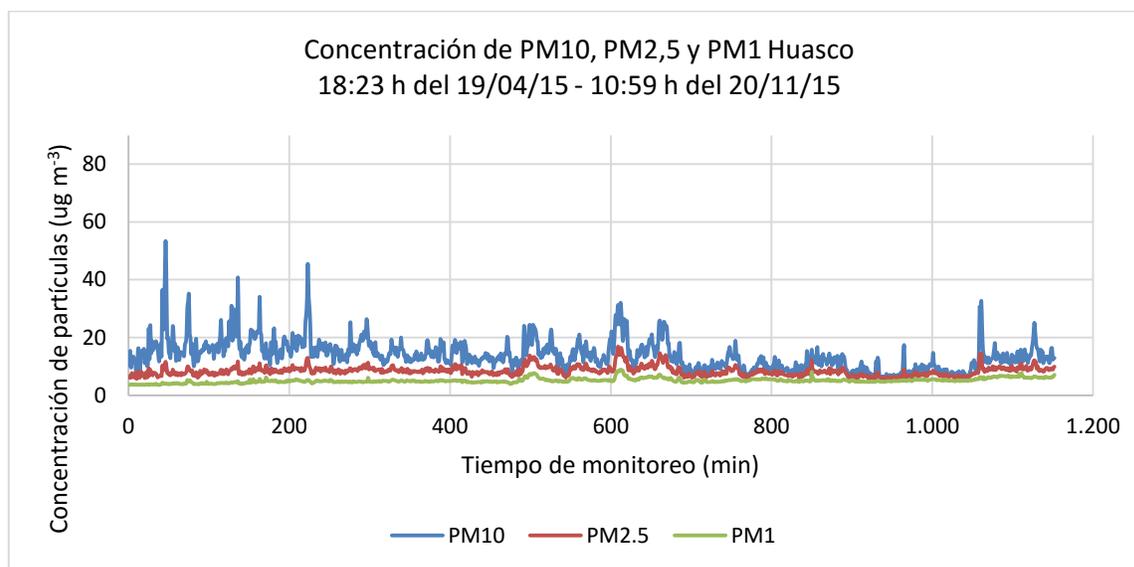


Figura 64. Concentración de aerosoles monitoreados en Huasco, estación de bomberos.

Como se aprecia en la figura 64, la concentración de PM10 en Huasco se inicia con mayores fluctuaciones en las primeras horas del monitoreo, con picos que alcanzan 40-50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , tendiendo a estabilizarse y mantenerse bajo los 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante la madrugada y las primeras horas de la mañana. La concentración promedio de PM10 para el período monitoreado fue de 13,85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Fig. 67). Por su parte, las concentraciones de PM 2.5 registradas son menores y menos fluctuantes que para PM10 y se sitúan en general en torno a los 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor promedio de 8,38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el período. Comportamiento similar tuvo el PM1, con un valor promedio de 5,11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Fig. 64 y 67).

El monitoreo de aerosoles en el Sitio Control se realizó en un huerto de olivos ubicado camino a Vallenar (ver detalles en capítulo IV.3, pág. 59). El monitoreo se inició el día martes 5 de Abril a las 16:59 horas, registrándose los datos de PM10, PM2.5 y PM1 cada 1 minuto. El monitoreo finalizó al día siguiente, día miércoles 6 de abril a las 14:01 horas.

Los resultados de concentración para cada uno de los diámetros de partículas se grafican a continuación en las figuras 65 y 66.

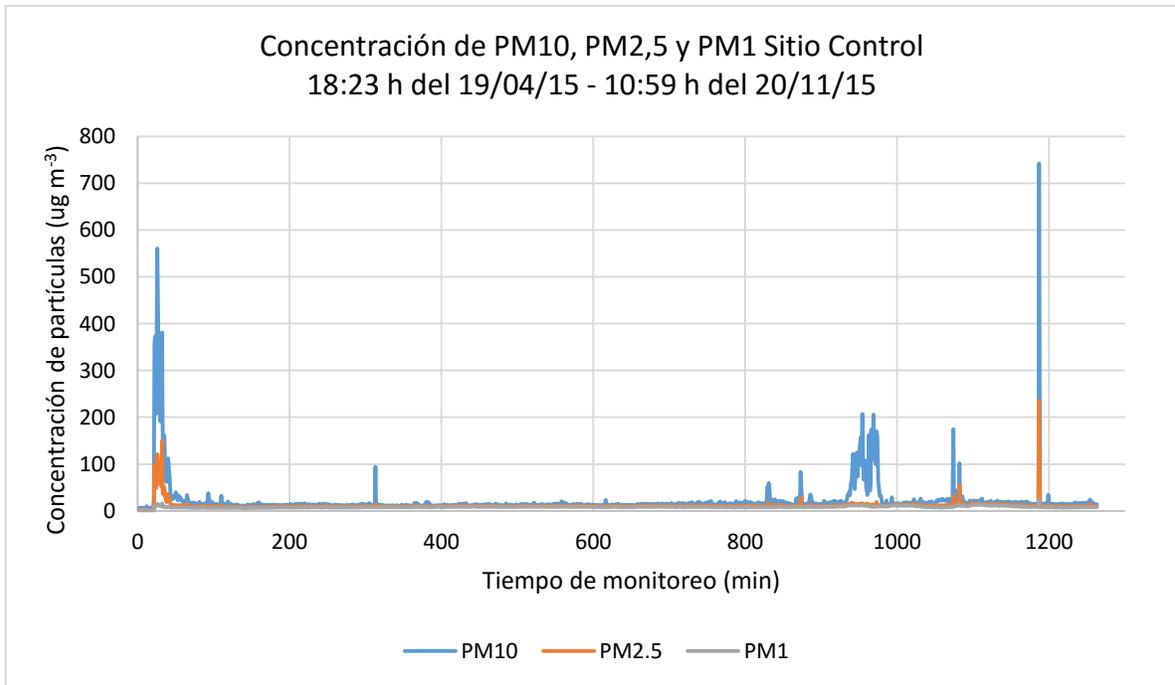


Figura 65. Concentración de aerosoles monitoreados en el Sitio Control (rural), huerto de olivos camino a Vallenar.

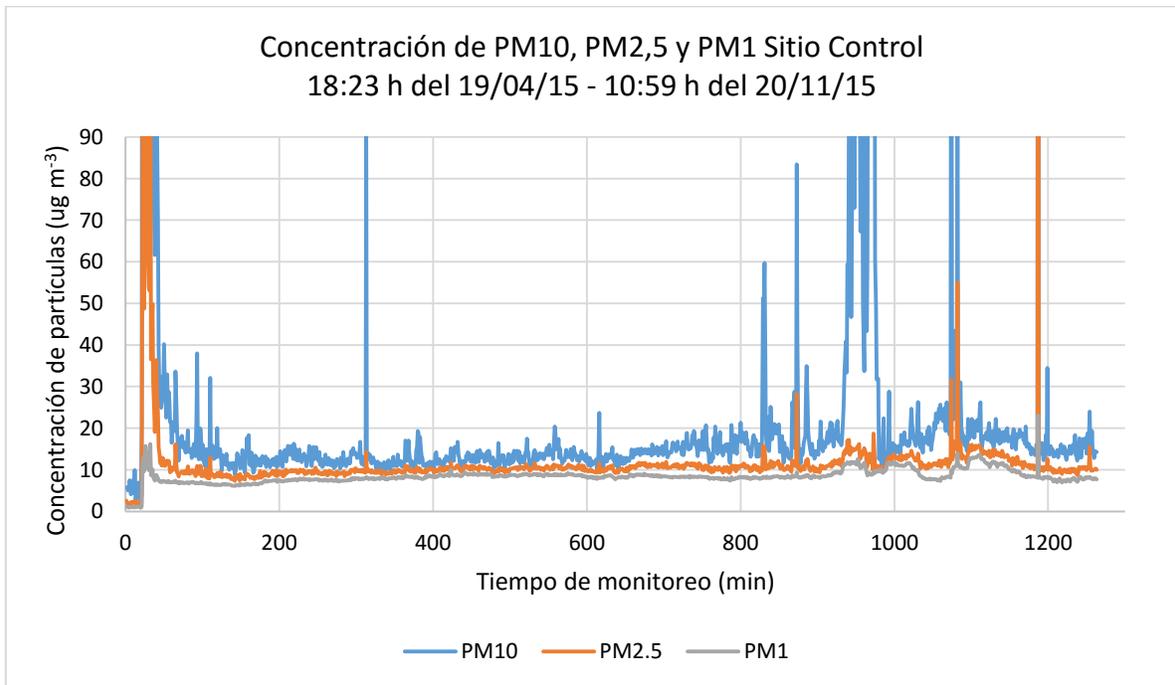


Figura 66. Detalle (aumento de la escala) de la concentración de aerosoles monitoreados en Sitio Control (rural), huerto de olivos camino a Vallenar.

Como se aprecia en las figuras 65 y 66, la concentración de PM10 se inicia bajo los  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero rápidamente sufre un alza que sobrepasa los  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  transcurridos aproximadamente 100 minutos de monitoreo. Esta alza inicial, aunque a una escala menor de concentración, también afectó los registros de PM2.5. Para PM10 se registraron nuevamente algunos picos aislados durante el período de monitoreo, los que fueron más frecuentes durante las últimas horas del monitoreo, correspondientes a la mañana. Los registros más estables se sitúan mayormente bajo los  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este comportamiento se traduce en que el promedio de concentración del período para PM10 alcance  $22,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $11,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2.5 (Tabla 5.5 y Fig. 67). Probablemente por ser un lugar rural y abierto, en condición de valle, se vea influenciado por fluctuaciones locales de corrientes de aire, las que levantan partículas de suelo, afectando mayormente los registros de las partículas de mayor tamaño, en este caso PM10. De la misma manera, la concentración promedio del período monitoreado alcanzó  $8,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1 (Fig. 67). Al comparar los niveles de concentración de material particulado (PM) para las distintas fracciones monitoreadas, se puede evidenciar que, aunque el sitio control corresponde a un lugar rural sin cercanía de actividades industriales importantes, está fuertemente afectado por el viento.

Tabla 5.5 Concentraciones de MP10, MP2.5 y MP1 promedio medidos durante la campaña de abril 2016.

	MP10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Huasco, Estación de Bomberos</b>	13,9	8,4	5,11
<b>Sitio Control, Camino a Vallenar</b>	22,2	11,6	8,4

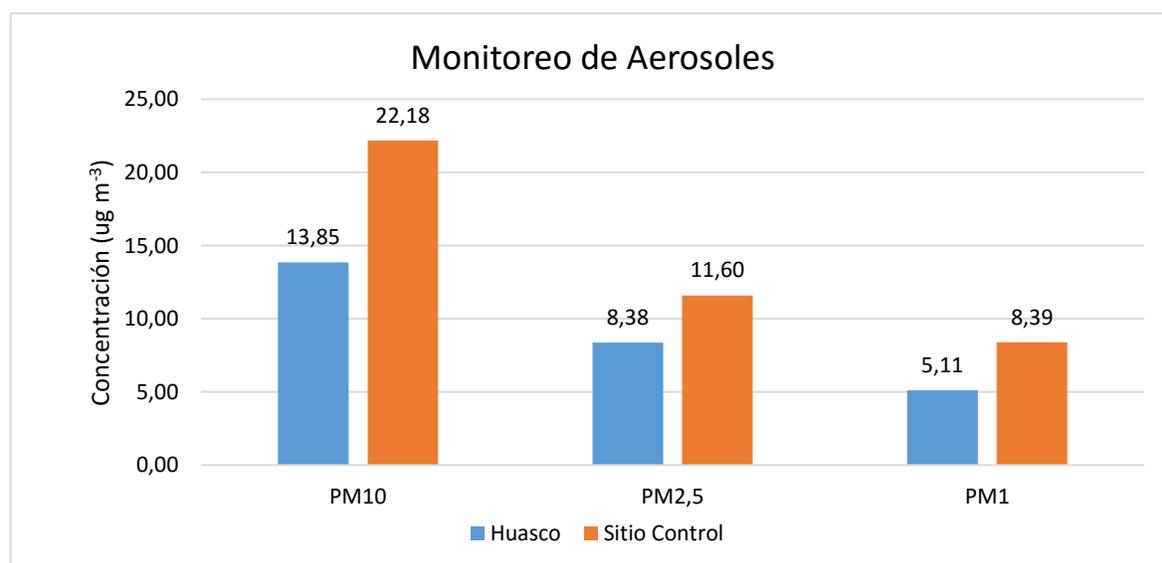


Figura 67. Concentraciones promedio de la concentración de aerosoles monitoreados en Huasco y en el Sitio Control (rural), correspondiente a un huerto de olivos camino a Vallenar.

Siendo el desierto un lugar eminentemente rico en PM, sobre todo proveniente de la resuspensión de material sólido del suelo, es el contenido químico del PM el que define finalmente el origen del mismo (natural v/s antropogénico) y no necesariamente los niveles de la concentración del PM. Sería interesante, entonces, considerar la realización de la especiación química del PM en suspensión ( $PM < 10 \mu m$ ) en estudios futuros, además del parámetro de concentración para todas las fracciones del PM, incluido el MPS considerado en este estudio. El presente proyecto sólo ha considerado la especiación química del material particulado sedimentable (MPS) o deposición atmosférica.

## V.2 EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PRESENCIA DE ELEMENTOS EN LA REGIÓN DE ATACAMA

### V.2.1 Metodologías utilizadas

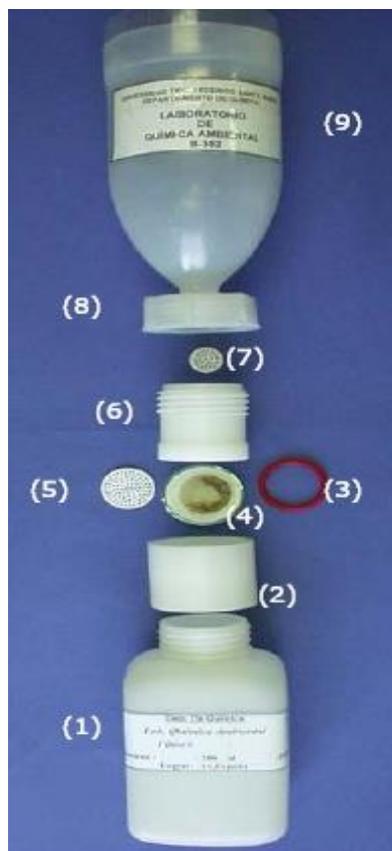
#### V.2.1.1 Metodología para la recolección de Material Particulado Sedimentable (MPS)

Luego de la definición de los sitios de muestreo, detallada en el capítulo IV del presente informe (pág. 45), se procedió a la instalación de 2 colectores pasivos de deposición total (CPDT), por punto de muestreo; uno equipado con un filtro de poliamida para el análisis de iones y el otro equipado con un filtro de cuarzo para la determinación de elementos en material particulado sedimentable.

Los colectores pasivos de deposición total (CPDT) utilizados fueron del tipo Forschungszentrum Jülich de procedencia alemana, modificados en el laboratorio de Química Ambiental de la UTFSM, los cuales cumplen con especificaciones del “National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network” (NADP/NTN), USA. Sus características se detallan en la Fig. 68.

Los colectores CPDT fueron equipados con sus respectivos filtros y fueron reemplazados cada 7 días (monitoreo semana). Personal capacitado y dedicado a esta labor fue designado para llevar a cabo esta tarea oportunamente en cada estación de monitoreo, tanto para el monitoreo semanal como para el seguimiento de eventos específicos. Esta actividad requirió de una sincronización con las actividades de laboratorio, asociadas a los procedimientos de limpieza y pre-acondicionamiento de materiales de muestreo, destinadas a preparar el nuevo período de muestreo. Una vez que los colectores fueron retirados de cada estación de monitoreo, éstos fueron tapados con película plástica para proteger la muestra de cualquier contaminante externo que ingrese por ejemplo al embudo colector y altere los resultados.

- (1) Botella receptora de polietileno.
- (2) Contenedor de polipropileno para filtro de teflón.
- (3) O-ring.
- (4) Filtro (0,45  $\mu\text{m}$  diámetro de poro)
- (5) Porta filtro de teflón de 40 mm de diámetro (0,5 mm de diámetro de poro).
- (6) Adaptador de polipropileno.
- (7) Filtro de teflón de 25 mm de diámetro (0,5 mm diámetro de poro).
- (8) Anillo de polietileno.
- (9) Embudo colector de polietileno de 11,5 cm de diámetro y 30 cm de altura.



*Figura 68: Colector pasivo de Deposición Total (CPDT).*

Para obtener óptimos resultados en los análisis de las muestras se debió seguir un estricto protocolo de preparación y lavado de los colectores CPDT antes de ser puestos en las respectivas estaciones, el cual se describe a continuación:

Todas las partes del colector deben ser lavadas exhaustivamente; para ello fueron dejadas en una solución de detergente libre de fosfato (Extran, Merck) por al menos 24 horas, posteriormente las piezas se enjuagaron con agua potable de manera abundante, y luego con agua milli-Q de calidad HPLC. Finalmente, el embudo colector se lavó con n-hexano (calidad HPLC, Fisher Sci.) y el resto de las partes con acetona (calidad HPLC, Fisher Sci.). El secado se realizó bajo campana de extracción. En paralelo, los filtros fueron acondicionados por 24 horas en una sala con temperatura y humedad relativa del aire controlada (25°C y 50% HR), donde fueron pesados en una balanza analítica digital de 0,01 mg de incerteza, que cuenta con eliminador de estática para evitar errores asociados a este fenómeno durante el pesado. Finalizado este proceso los colectores fueron armados, con su filtro correspondiente, y debidamente identificados indicando el número de filtro, periodo de monitoreo y estación en las que debían ser ubicados. Se protegió el colector con film plástico para evitar su contaminación durante su traslado hasta su destino y colocación en la estación de monitoreo correspondiente.

## V.2.1.2 Metodología para la determinación de elementos en Material Particulado Sedimentable (MPS)

A continuación se describe la metodología utilizada para la determinación de la concentración de elementos presentes en el MPS recolectado semanalmente en los colectores pasivos.

### **Lavado del CPDT y separación del filtro conteniendo la muestra de MPS**

Una vez llegado el colector de MPS (CDPT) al laboratorio, se procedió a lavar el embudo cuidadosamente para arrastrar todo el material particulado sedimentable que se encuentra adherido en sus paredes internas. Para ello se utilizó 200 ml de agua MilliQ, la cual se aplicó en forma de espiral, comenzando por la parte alta del embudo colector, hasta remover y arrastrar todo el material presente hacia el filtro, ubicado en su base.

Una vez escurrido todo el líquido del filtro, se separaron las partes que componen el CDPT; el embudo colector, las coplas de unión y el anillo porta filtro, desde donde se retiró cuidadosamente el filtro de cuarzo con una pinza de teflón y se ubicó en una placa Petri, debidamente identificada.

### **Acondicionamiento y pesaje del filtro para cálculo de la cantidad de MPS recolectado**

La placa Petri que contiene el filtro de cuarzo con la muestra de MPS es llevada a un ambiente controlado, a 25°C y 50% de humedad relativa, para su acondicionamiento y ambientación. Se mantiene bajo estas condiciones por 24 horas, con el fin de secar el filtro e igualar las condiciones bajo las cuales el filtro limpio fue pesado y así calcular de manera gravimétrica el MPS recolectado.

### **Secado del filtro en estufa y medición de elementos**

Finalmente el filtro se lleva a secado en estufa a 50°C por 24h hasta peso constante, para eliminar la humedad y asegurar una medición sin interferencias debido a la presencia de agua, estandarizando así, las condiciones de medición de elementos en MPS.

Una vez enfriado el filtro conteniendo la muestra de MPS, se procedió a realizar su análisis utilizando un equipo portátil de fluorescencia de rayos X (Titán S1 de Bruker, Alemania). Se realizan 5 mediciones aleatorias en distintas partes del filtro por cada filtro obtenido, identificadas con nombre, fecha y número de medición en las celdas que arroja la pantalla del instrumento portátil.

### V.2.1.3 Metodología para la Determinación de Elementos en Muestras de Suelo

#### **Muestreo de suelos**

En los sitios de interés para el presente estudio, detallados en el capítulo IV de este informe, se procedió a tomar muestras de suelo. Para ello se demarcó un área de 1 m<sup>2</sup> y en ella se recolectó los primeros 5 cm de suelo, separando previamente restos de vegetales que se pudiesen encontrar en la superficie.

Se utilizó sólo material plástico, para evitar contaminación por metales en la muestra recolectada.

#### **Tratamiento de las muestras de suelo**

Una vez en el laboratorio, las muestras de suelo fueron puestas en recipientes de vidrio borosilicato para posteriormente ser secadas en estufa con temperatura controlada a 40°C por 72 hrs. Posteriormente, las muestras se tamizaron, utilizando un bastidor certificado, equipado con malla plástica de 2 mm.

#### **Medición de elementos en muestras de suelo**

Muestras de suelo ya secas y tamizadas fueron analizadas para determinar su concentración de elementos mediante la utilización del equipo portátil de fluorescencia de rayos X (Titán S1 de Bruker). Se realizan 5 mediciones aleatorias por muestra de suelo, debidamente identificadas por lugar, fecha y número de medición, utilizando los recipientes especiales que indica el fabricante del equipo para análisis de suelos.

### V.2.1.4 Verificación de los Resultados y Límites de Detección de la Técnica

Para verificar el correcto funcionamiento del equipo portátil de medición de elementos por fluorescencia de rayos X, de manera rutinaria antes del análisis de cada muestra, se realizó una verificación de su funcionamiento analizando una muestra de referencia correspondiente a suelo CS-M2 (Bruker, Alemania) que tiene certificada la concentración de 8 elementos (tabla 5.6 A). El certificado de la muestra CS-M2 entrega, para cada uno de los 8 elementos, la concentración promedio, desviación estándar y los límites máximos y mínimos de aceptación de la medición.

Tabla 5.6 A. Concentraciones de referencia de muestra de suelo CS-M2 Bruker para verificación de funcionamiento de equipo de fluorescencia de rayos X portátil, equipo S1 Titan 600-800.

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb
<b>Concentración Promedio (% P/P)</b>	12,4067	71,2919	4,8450	0,0981	1,6287	0,0036	0,0206	0,0783
<b>Desviación Estándar (% P/P)</b>	0,2116	0,6534	0,0418	0,0041	0.0121	0,0007	0,0006	0,0024
<b>Límite mínimo de aceptación (% P/P)</b>	11,3485	68,0247	4,6359	0,0570	1,5682	0,0000	0,0143	0,0539
<b>Límite máximo de aceptación (% P/P)</b>	13,4649	74,5591	5,0541	0,1393	1,6892	0,0106	0,0269	0,1027
<b>Parámetros de medición:</b>								
Aplicación: GeoChem o Soil								
Método: GeoChem Trace o Soil								
Configuración: Phase 1:30 Segundos, Phase 2: 30 segundos								

El límite de detección de cualquier técnica analítica está definido como aquella concentración que proporciona una señal en el instrumento significativamente diferente de la señal de una muestra en blanco (o señal de fondo). En el caso de la medición de elementos utilizando el equipo de fluorescencia de rayos X S1 TITAN 600-800 (Bruker, Alemania), los límites de detección fueron obtenidos midiendo una muestra blanco sobre una matriz de SiO<sub>2</sub>. En la tabla 5.6 B se observan los límites de detección obtenidos.

Tabla 5.6 B. Límite de detección de la técnica de análisis utilizada (fluorescencia de rayos X portátil, equipo S1 Titan 600-800, Geochem Trace Calibration).

Elemento	Límite de Detección (ppm)	Elemento	Límite de Detección (ppm)	Elemento	Límite de Detección (ppm)
<b>Mg</b>	<7000	<b>Cu</b>	5	<b>Sb</b>	30
<b>Al</b>	960	<b>Zn</b>	3	<b>Ba</b>	188,4
<b>Si</b>	500	<b>As</b>	3	<b>La</b>	166,53
<b>P</b>	90	<b>Se</b>	3	<b>Ce</b>	35
<b>S</b>	80	<b>Rb</b>	3	<b>Hf</b>	6
<b>Cl</b>	135	<b>Sr</b>	4	<b>Ta</b>	4
<b>K</b>	41	<b>Y</b>	4	<b>W</b>	6
<b>Ca</b>	37	<b>Zr</b>	3	<b>Pt</b>	6,8
<b>Ti</b>	20	<b>Nb</b>	2	<b>Au</b>	6,6
<b>V</b>	8	<b>Mo</b>	6	<b>Hg</b>	6
<b>Cr</b>	19	<b>Rh</b>	15	<b>Tl</b>	5
<b>Mn</b>	18	<b>Pd</b>	29	<b>Pb</b>	11
<b>Fe</b>	13	<b>Ag</b>	10	<b>Bi</b>	12
<b>Co</b>	5	<b>Cd</b>	19	<b>Th</b>	17
<b>Ni</b>	5	<b>Sn</b>	20	<b>U</b>	53

En el anexo se presentan los certificados de análisis de la muestra de suelo de referencia (CS-M2) y el certificado de los límites de detección obtenidos en el ensayo en blanco con matriz de SiO<sub>2</sub>.

## V.2.2 Resultados de Concentración de Elementos en MPS en la Campaña de Monitoreo Abril-Diciembre 2015.

### V.2.2.1 Variación temporal en la estación de Paipote

En la figura 69, se muestra la variación temporal para V, Mn, Cu, Zn contenidos en el MPS. Se pudo observar que V presentó su mayor concentración en primavera, las semanas del 1 de octubre (1.211 ppm), 8 de octubre (1.038 ppm) y 29 de octubre (500 ppm). En las 2 primeras semanas de la campaña, la concentración de V fue de 37 ppm y 61 ppm, respectivamente. Para el Mn, se pudo observar las mayores concentraciones en las 2 primeras semanas de campaña (276 y 349 ppm), seguido de la semana del 9 de julio, con 185 ppm. En el caso del Cu, las máximas concentración se registraron entre mediados de junio y mediados de agosto con valores entre 150 y 200 ppm, exceptuando la semana del 9 de Julio, con 610 ppm, el máximo valor registrado durante la campaña. En el caso particular del Zn, las mayores concentraciones se registraron el 1 de octubre (223 ppm), el 9 de julio (122 ppm) y el 8 de octubre (109 ppm). Durante las 2 primeras semanas de muestreo se observaron concentraciones de 60 y 54 ppm, respectivamente.

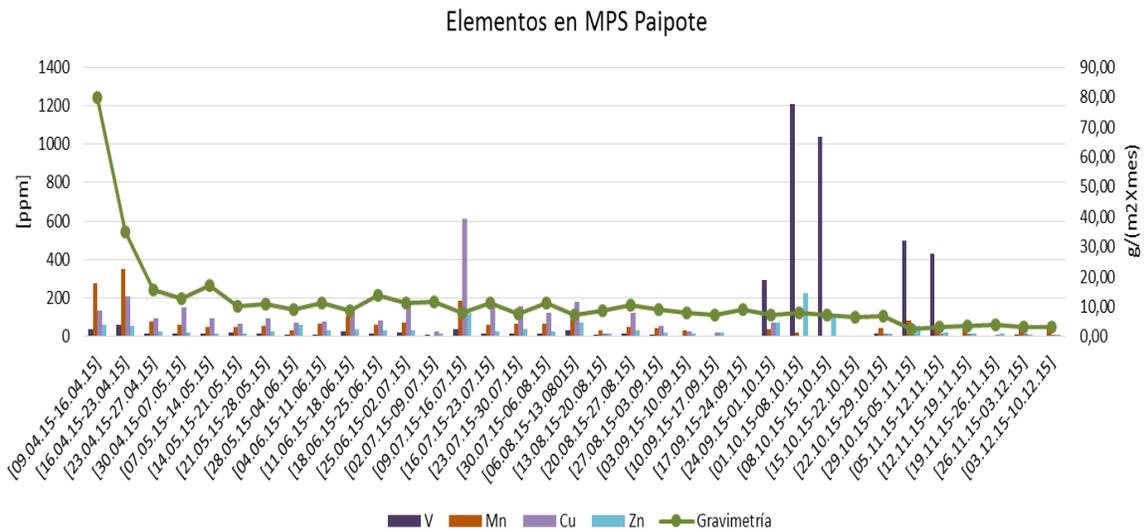


Figura 69. Variación temporal de V, Mn, Cu y Zn en el MPS en Paipote. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

En la figura 70 se presenta la variación temporal para los elementos As y Mo. As presentó niveles altos a inicios de primavera, las semanas del 24 de septiembre (42 ppm) y del 1 y 8 de octubre (58 y 42 ppm, respectivamente). El resto del período las concentraciones fueron del orden de los 10 ppm, cuando este elemento fue detectado. Por su parte Mo no presentó alzas de la magnitud del As, observándose concentraciones también en torno a los 10 ppm, con un máximo de 17 ppm la semana del 14 de mayo. Cabe mencionar que las fechas en las cuales se registraron máximos observados para As coinciden con las fechas con los máximos observados para V (Fig. 69) y Ti (Fig. 71).

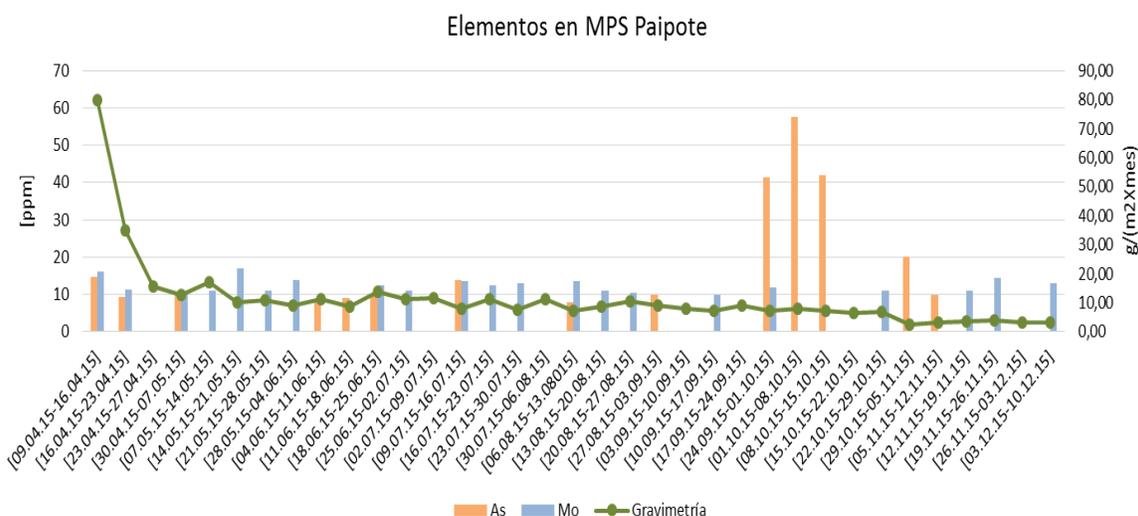


Figura 70. Variación temporal de los elementos As y Mo en el MPS en Paipote. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

Para los elementos S y Ti, la variación temporal se presenta en la figura 71. En el caso de S, se observó una alta variabilidad durante el período de monitoreo, con un valor máximo de 3.088 ppm (semana del 9 de julio). Las máximas concentraciones se registraron entre las semanas del 11 de junio y el 6 de agosto, y luego del 24 de septiembre al 8 de octubre, con valores entre 1.000 y 1.500 ppm de S. Los valores registrados las 2 primeras semanas de monitoreo fueron 309 y 1.036 ppm. Se puede observar que Ti presentó máximos de concentración en las mismas fechas que se observó máximos de concentración para V y As (Figs. 69 y 71), es decir, la semana de fines de septiembre e inicios de octubre, alcanzando valores de 15.232 y 12.217 ppm. Los valores registrados las 2 primeras semanas de monitoreo fueron de 1.351 y 2.198 ppm.

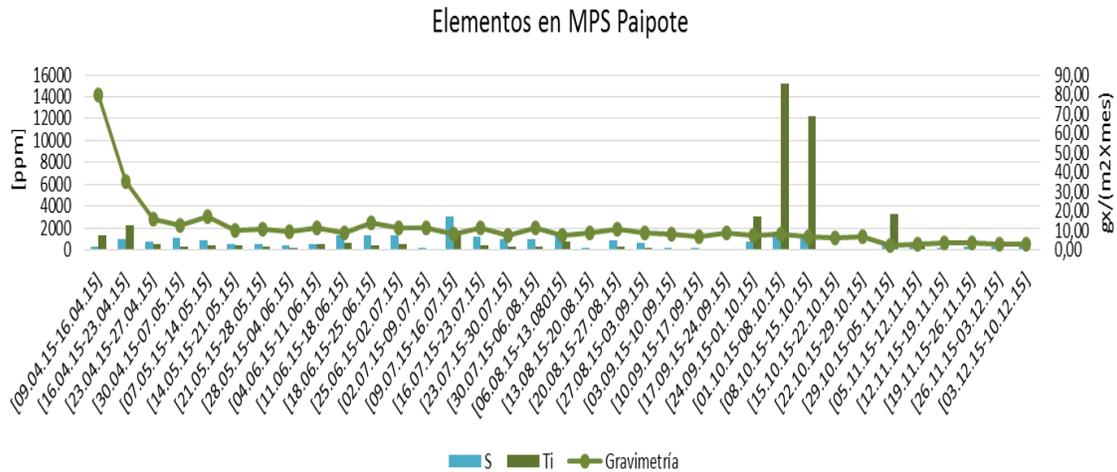


Figura 71. Variación temporal de los elementos S y Ti en el MPS en Paipote. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

A continuación, la tabla 5.7 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos y del MPS recolectados semanalmente en Paipote.

Tabla 5.7: Resumen estadístico de los datos obtenidos en Paipote para la concentración promedio de los elementos que se indican (ppm) y la cantidad promedio de MPS recolectada semanalmente ( $g/m^2$ ) durante la campaña. Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
V	140,49	306,02	8,00	1.211,20	28
Mn	79,55	72,64	20,02	349,20	28
Cu	98,83	112,06	12,75	610,00	31
Zn	42,02	42,38	10,25	223,80	33
As	18,83	16,02	8,00	57,60	14
Mo	12,39	1,85	10,00	17,00	21
S	792,14	615,34	151,00	3.087,60	32
Ti	1.405,27	3.297,41	51,15	15.231,97	33
MPS	11,42	13,15	2,57	79,77	35

### V.2.2.2 Variación temporal en la estación de Tierra Amarilla

En la figura 72 se presenta la variación temporal de la concentración en MPS para los siguientes elementos: V, Mn, Cu y Zn. Para V se pudo observar que su mayor concentración en el MPS se registró la semana del 17 de septiembre con 342 ppm. Durante las 2 primeras semanas de la campaña se registraron valores de 40 y 31 ppm, similares a los observados la semana del 9 de julio (33 ppm). El resto del período, la concentración estuvo en torno a 10 ppm o bajo este valor. El Mn registró sus mayores valores las 2 primeras semanas de monitoreo, alcanzando valores de 242 y 226 ppm. El tercer valor más alto fue el de la semana del 9 de julio, con 132 ppm. El resto del período, la concentración estuvo en torno a 50 ppm o bajo este valor. Con respecto a Cu, las mayores concentraciones se observaron en invierno, la semana del 9 de julio (244 ppm), el 20 de agosto (203 ppm) y el 2 de julio (155 ppm). Las 2 primeras semanas de campaña se registraron 118 y 92 ppm respectivamente. Para el caso de Zn, las mayores concentraciones se registraron el 9 de julio (70 ppm) y el 17 de septiembre (69 ppm), seguido por las concentraciones registradas las 2 primeras semanas, con 56 y 35 ppm respectivamente. El resto del período, las concentraciones estuvieron entre 10 y 20 ppm.

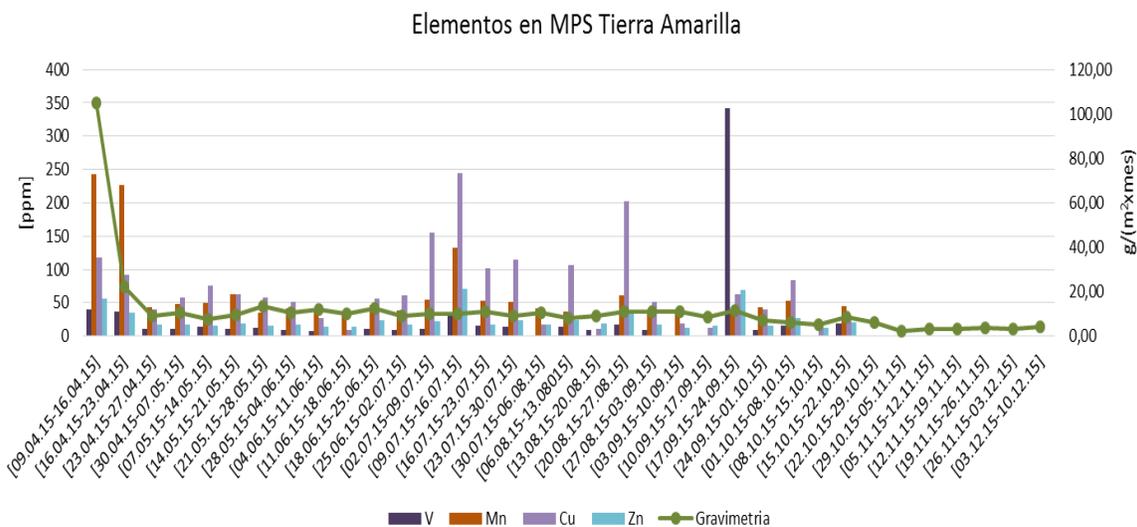


Figura 72. Variación temporal de los elementos V, Mn, Cu y Zn en el MPS Tierra Amarilla. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

En la figura 73, se presenta el comportamiento temporal que registran los elementos As y Mo contenidos en el MPS. En el caso del As, la mayor concentración se observó el 17 de septiembre (24,5 ppm) y durante las 2 primeras semanas de campaña (11 y 7 ppm). En la semana del 14 de mayo también se detectó una concentración de 7 ppm de As en el MPS. En el resto de las semanas, la concentración de As estuvo bajo el límite de detección de la técnica (<3 ppm). En el caso particular del Mo no se observa una tendencia en la concentración, mostrando a lo largo de la campaña distintos niveles de concentración, en torno a los 10 ppm, con un máximo de 16 ppm la semana del 4 de junio.

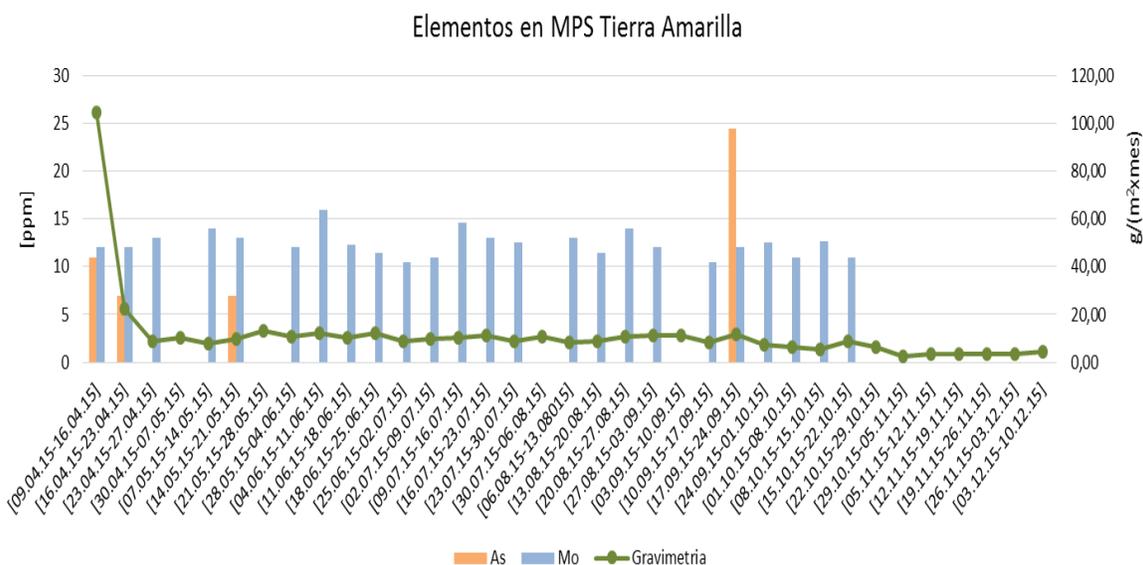


Figura 73. Variación temporal de los elementos As y Mo en el MPS Tierra Amarilla. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

La figura 74 exhibe el comportamiento temporal para los elementos S y Ti contenidos en el MPS. Para el S se puede observar que la concentración registrada en el MPS varía bastante en el período monitoreado, observándose las mayores concentraciones en el mes de julio (1.274 a 3.041 ppm), en abril, a inicios del monitoreo (1.131 y 949 ppm), y en la segunda y cuarta semana de agosto (1.219 y 2.617 ppm). Para el caso de Ti, su concentración llegó a niveles máximos la semana del 17 de Septiembre (3.850 ppm), aunque también se destacan las concentraciones observadas las dos primeras semanas de campaña (1.712 y 1.737 ppm).

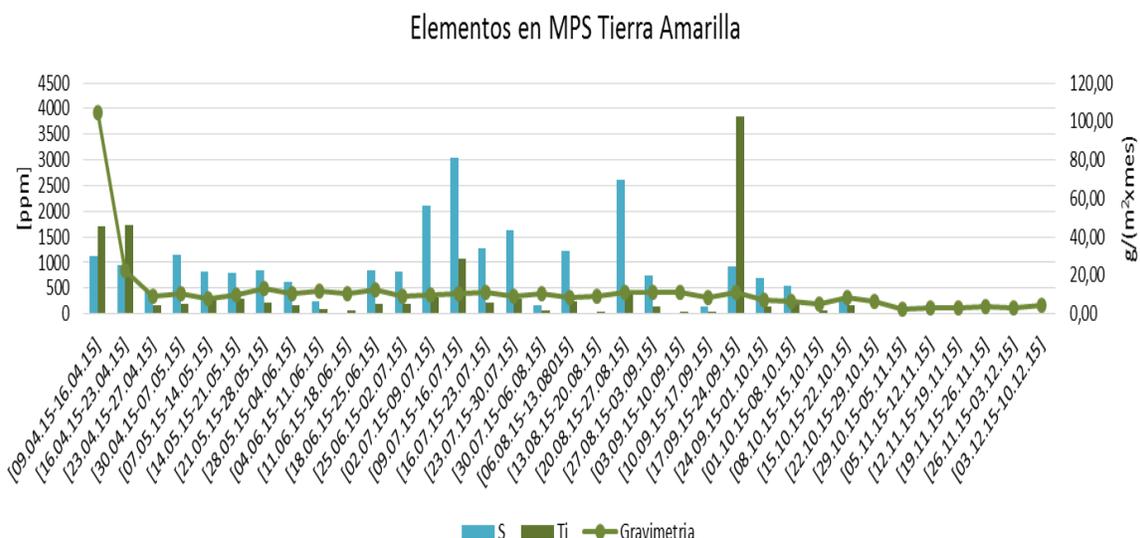


Figura 74. Variación temporal de los elementos S y Ti en el MPS Tierra Amarilla. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

A continuación, la tabla 5.8 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos y del promedio de MPS recolectados semanalmente en Tierra Amarilla.

Tabla 5.8: Resumen estadístico de los datos obtenidos en Tierra Amarilla para la promedio de la concentración de los elementos que se indican (ppm) y la cantidad promedio de MPS recolectada semanalmente ( $g/m^2$ ), durante toda la campaña. Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
V	29,80	68,58	8,00	341,75	23
Mn	63,36	54,96	33,11	242,40	25
Cu	70,37	57,24	10,00	243,80	28
Zn	24,34	15,55	12,40	70,40	28
As	12,38	8,30	7,00	24,50	4
Mo	12,40	1,32	10,50	16,00	24
S	1.001,45	727,81	132,00	3.040,80	24
Ti	451,51	797,29	51,75	3.849,70	28
MPS	11,63	16,64	2,38	104,84	35

### V.2.2.3 Variación temporal en la estación de Chañaral Hospital

La figura 75, presenta la variación temporal de la concentración de los elementos V, Mn, Cu y Zn contenidos en el MPS. En esta localidad los elementos en las 2 primeras semanas de campaña, a diferencia de las otras localidades mencionadas, presentaron una concentración mínima. Se destacan máximos puntuales para la concentración de Mn en las siguientes semanas; 29 de Octubre (2.891 ppm), 5 de Noviembre (656 ppm), 23 de Abril (298 ppm) y 4 de Junio (306 ppm). En el caso de V, presenta máximos la semana del 29 de Octubre (784 ppm), del 15 y del 8 de octubre (215 y 204 ppm) siendo los valores para el resto del período menores a 30 ppm, cuando fue detectado. Los mayores valores observados para Cu correspondieron a las semanas del 9 de julio (138 ppm), 20 de agosto (101 ppm) y 29 de octubre (80 ppm). En las dos primeras semanas de monitoreo los valores fueron de 12 y 13 ppm, respectivamente. Por último Zn también presentó su mayor valor la semana del 9 de julio, con 84 ppm, seguido por 77 ppm la semana del 27 de agosto y 68 ppm la semana del 29 de octubre. El resto del período monitoreado los valores estuvieron entre los 10 y 30 ppm, al igual que las primeras 2 semanas de monitoreo.

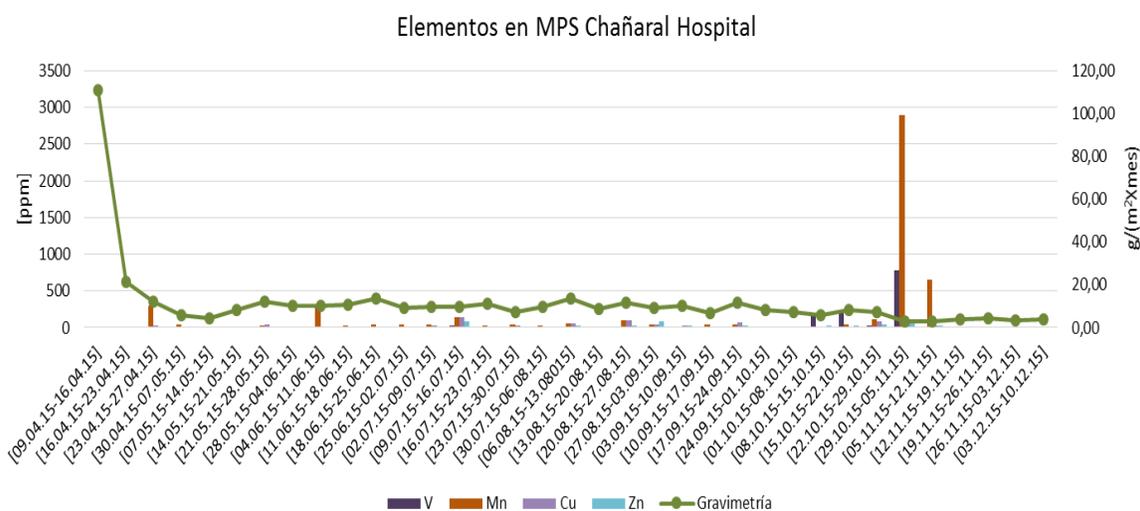


Figura 75. Variación temporal de los elementos V, Mn, Cu y Zn en el MPS. Chañaral Hospital. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

La figura 76, presenta el comportamiento a través de tiempo de campaña para los elementos As y Mo. Se pudo observar que As presentó máximos de concentración hacia finales de la campaña, las semanas del 29 de octubre (3.396 ppm) y del 5 de noviembre (490 ppm). El resto de la campaña los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección de la técnica (<3 ppm), salvo en dos semanas; la del 8 y la del 15 de octubre (18 y 13 ppm, respectivamente). En el caso de Mo, no registró máximos de concentración notorios como el As a lo largo de la campaña, sin embargo también fue la semana del 29 de Octubre la que registró la mayor concentración, con 16 ppm.

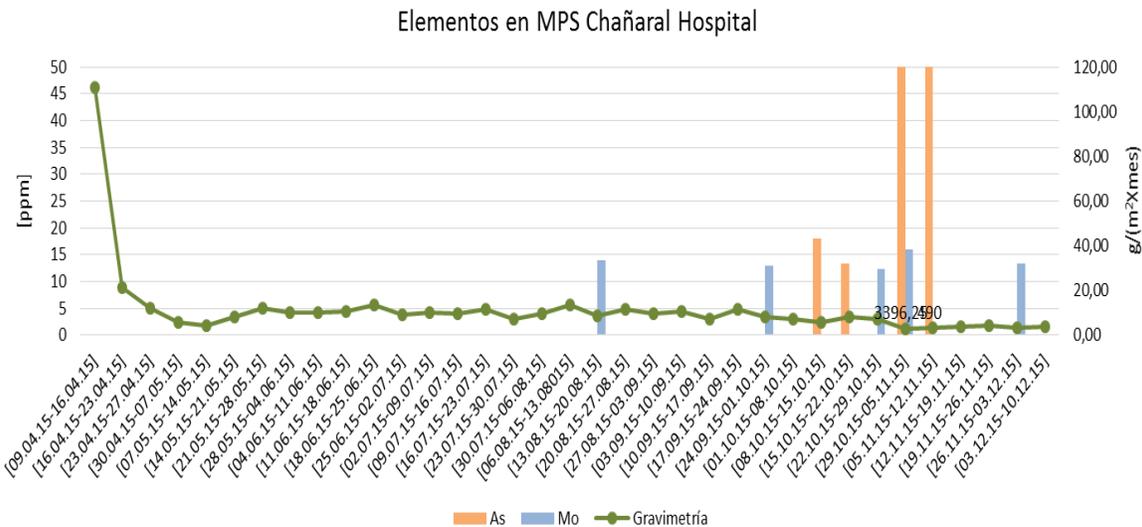


Figura 76. Variación temporal de los elementos As y Mo en el MPS. Chañaral Hospital. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

La figura 77 presenta la variación temporal para S y Ti contenidos en el MPS. Para S se pudo observar que su mayor concentración se registró en la semana del 22 de octubre (1.496 ppm), mientras que en las primeras semanas de campaña presentó concentraciones menores a 80 ppm en el MPS (bajo el límite de detección). Para el caso de Ti, las mayores concentraciones se registraron en la semana del 3 de septiembre, 8 y 15 de octubre, con 2.478, 2.391 y 1.834 ppm respectivamente.

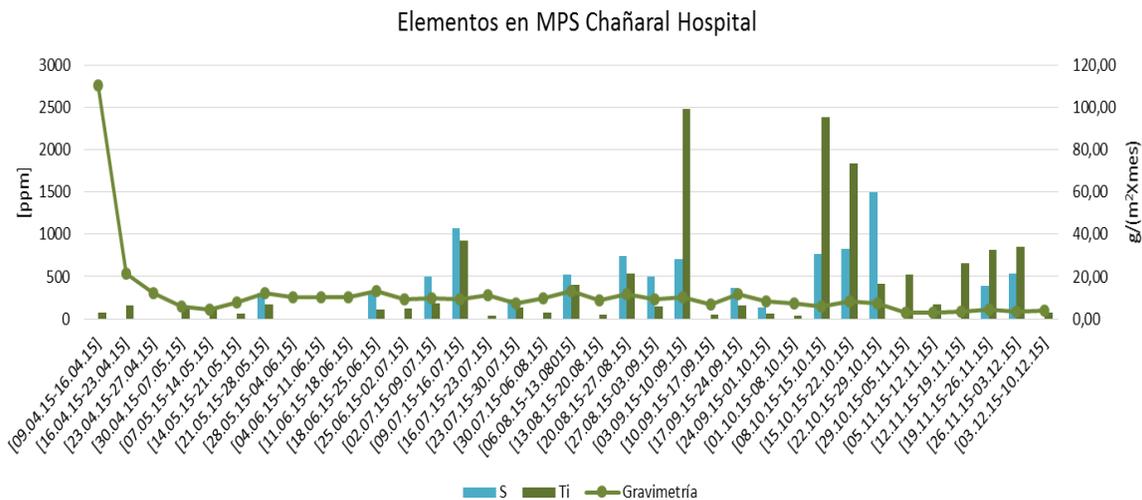


Figura 77. Variación temporal de los elementos S y Ti en el MPS. Chañaral Hospital. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

A continuación, la tabla 5.9 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos y del MPS recolectados semanalmente en Chañaral Hospital.

Tabla 5.9: Resumen estadístico de los datos obtenidos en Chañaral Hospital para el promedio de la concentración de los elementos que se indican (ppm) y la cantidad promedio de MPS recolectada semanalmente ( $\text{g/m}^2$ ). Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
V	121,56	232,88	9,60	784,00	11
Mn	240,41	625,51	25,50	2.892,00	21
Cu	33,57	32,16	10,4	138,00	29
Zn	24,86	18,91	11,67	84,40	30
As	979,38	1.626,69	13,25	3.396,25	4
Mo	13,73	1,40	12,33	12,33	5
S	588,31	345,26	45,00	1.495,75	16
Ti	450,63	652,80	35,19	2.478,30	31
MPS	11,59	17,65	2,83	110,74	35

### V.2.2.4 Variación temporal en la estación de Chañaral Aeropuerto

En la figura 78, se presenta la variación temporal que registraron los elementos V, Mn, Cu y Zn contenidos en el MPS a lo largo de la campaña. Con respecto al V, se pudo observar que la mayor concentración se registró en la semana del 15 de octubre (514 ppm), sin que en el resto del periodo de campaña se pudiera observar alguna tendencia particular en su concentración en el MPS. Con respecto a Mn las mayores concentraciones se observaron en las semanas del 29 de octubre (920 ppm), 12 de noviembre (745 ppm) y la semana del 19 de noviembre (381 ppm). Para Cu, la mayor concentración se registró en las semanas del 6 de agosto (130 ppm), 9 de julio (128 ppm) y 28 de mayo (70 ppm), y para el Zn, las mayores concentraciones se registraron en la semana del 9 de julio (79 ppm) y del 6 de agosto (50 ppm).

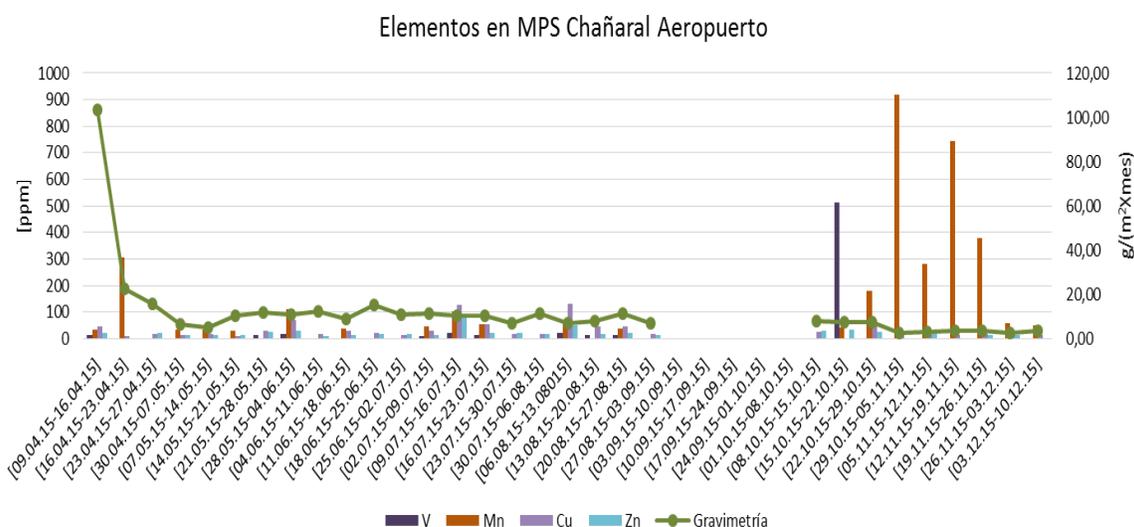


Figura 78. Variación temporal de los elementos V, Mn, Cu y Zn en el MPS. Chañaral Aeropuerto. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo periodo.

En la figura 79 se exhibe la variación temporal que presentaron los elementos As y Mo contenidos en MPS. Para el caso del As, sólo se observó concentraciones sobre el límite de detección de la técnica en dos semanas dentro de la campaña de monitoreo; la semana correspondiente al 15 de octubre (34,6 ppm) y la del 9 de julio (8 ppm). Con respecto a Mo, su mayor concentración se presentó en las semanas del 28 de Mayo, 11 de Junio y 13 de Agosto con valores de 15, 14 y 13 ppm respectivamente.

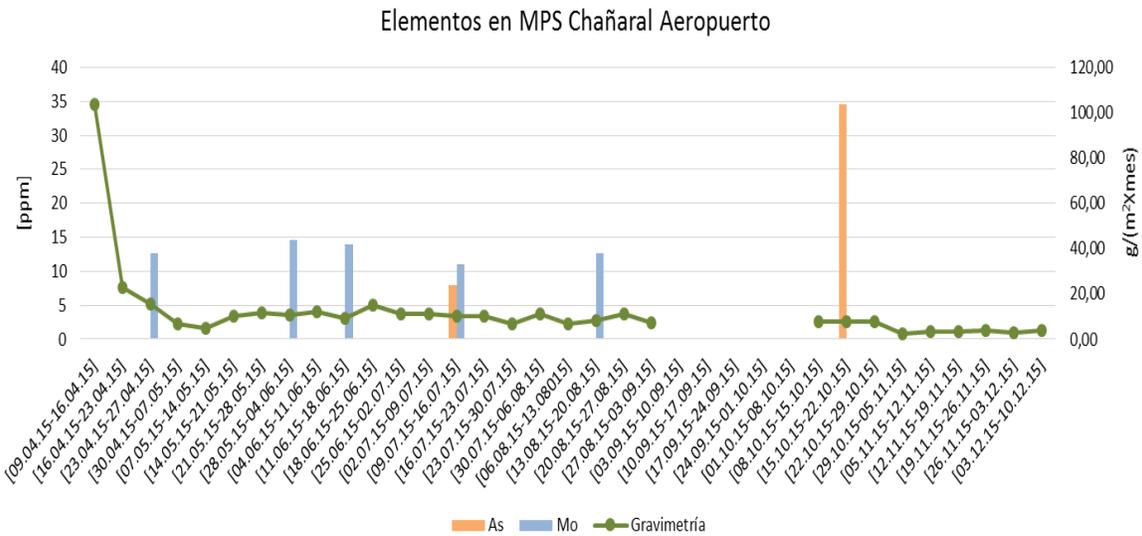


Figura 79. Variación temporal de los elementos As y Mo en el MPS. Chañaral Aeropuerto. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

En la figura 80, se exhibe la variación temporal que presentaron los elementos S y Ti contenidos en el MPS. Para el caso del S, las mayores concentraciones se observaron en las semanas correspondientes al 12 de noviembre (5.261 ppm), 29 de octubre (3.010 ppm) y 6 de agosto (1.325 ppm). Con respecto a Ti su mayor concentración, se presentó en la semana del 15 de octubre (3.624 ppm), 19 de noviembre (1.994 ppm) y 22 de octubre (1.491 ppm).

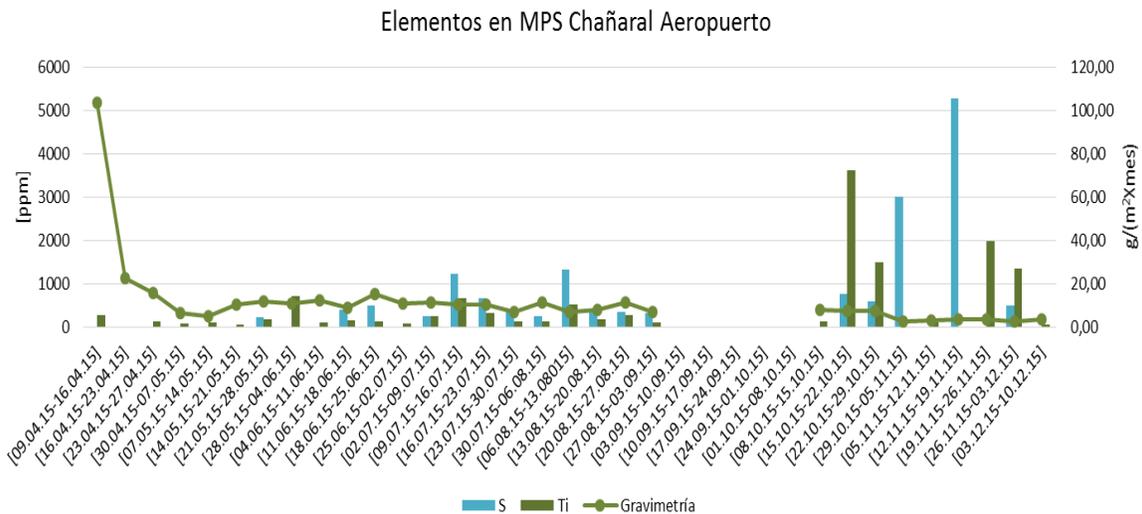


Figura 80. Variación temporal de los elementos S y Ti en el MPS. Chañaral Aeropuerto. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

A continuación, la tabla 5.10 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos y del MPS recolectados semanalmente en Chañaral Aeropuerto.

Tabla 5.10: Resumen estadístico de los datos obtenidos en Chañaral Aeropuerto para el promedio de la concentración de los elementos que se indican (ppm) y la cantidad promedio de MPS recolectada semanalmente ( $\text{g/m}^2$ ). Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
V	65,54	157,76	11,6	514,40	10
Mn	177,79	248,01	30,8	920,40	20
Cu	33,94	31,31	10,25	130,20	29
Zn	24,09	13,99	12,2	78,60	26
As	21,3	18,81	8,00	34,60	2
Mo	13,00	1,41	11,00	14,67	5
S	970,63	1.294,84	240,2	5.261,00	17
Ti	499,11	791,36	54,51	3.624,43	27
MPS	12,05	17,82	2,59	103,52	30

### V.2.2.5 Variación temporal en la estación de El Salado

En la figura 81, se muestra la variación temporal a lo largo de la campaña realizada para los elementos V, Mn, Cu y Zn contenidos el MPS en la localidad de El Salado. Para V las máximas concentraciones se observaron en las semanas del 1 de octubre (2.885 ppm), 24 de septiembre (1.466 ppm) y 15 de octubre (1.418 ppm). Para Mn se observan algunos máximos de concentración en forma dispersa a lo largo de la realización de la campaña, específicamente en las semanas del 9 de abril (411 ppm), 30 de abril (312 ppm), 13 de agosto (342 ppm). En el caso particular de Cu, sus mayores concentraciones se registraron en las semanas del 9 de abril (195 ppm) y 30 de abril (164 ppm). Para Zn su mayor concentración se registró la semana del 1 de octubre con 141 ppm.

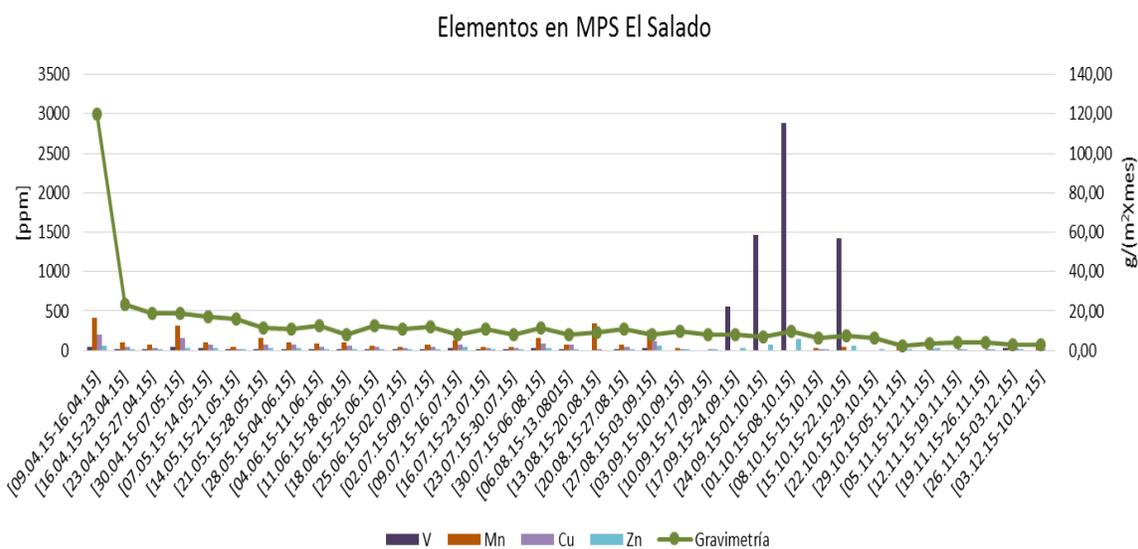
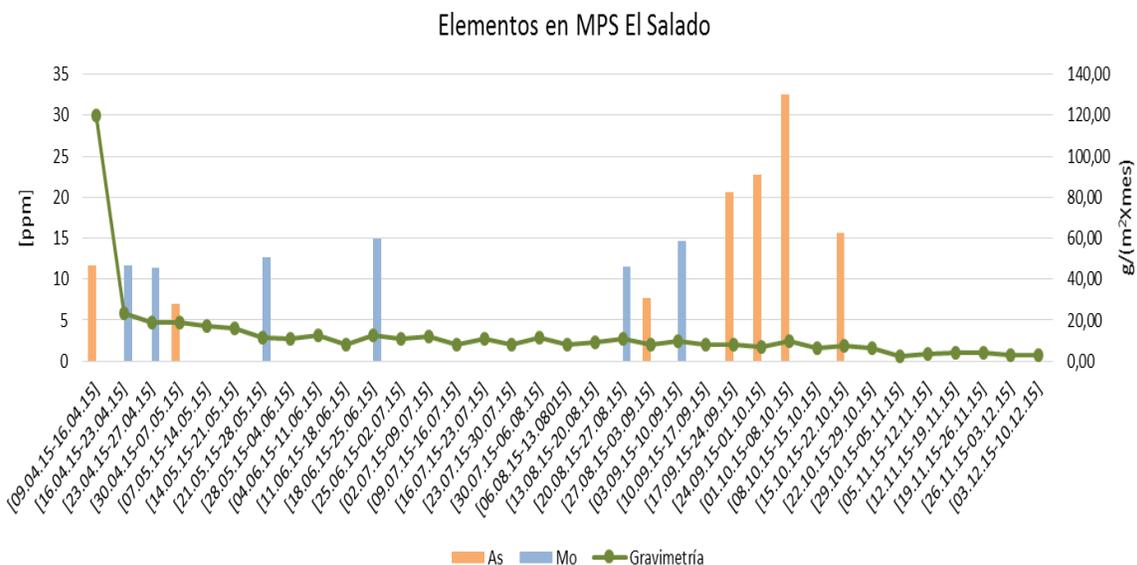


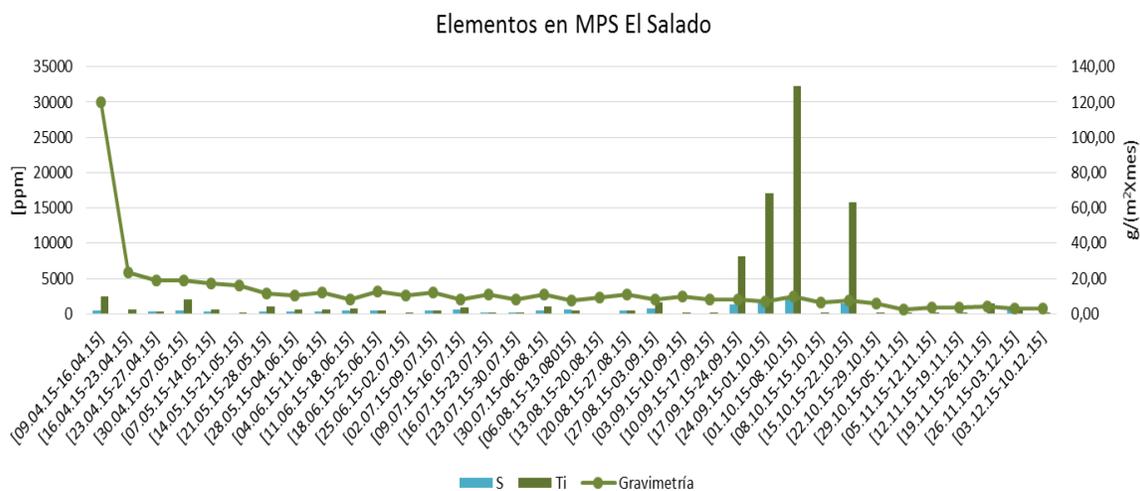
Figura 81. Variación temporal de los elementos V, Mn, Cu y Zn en el MPS. El Salado. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

En la figura 82, se muestra la variación temporal a lo largo de la campaña realizada para los elementos As y Mo contenidos en el MPS en la localidad de El Salado. Para el caso particular del elemento As, se observó máximos de concentración las semanas del 1 de octubre (33 ppm), 24 de septiembre (23 ppm) y 17 de septiembre (21 ppm). En el caso de Mo, los valores se mantuvieron bajo los 15 ppm durante todo el período monitoreado.



**Figura 82.** Variación temporal de los elementos As y Mo en el MPS. El Salado. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

La figura 83, muestra la variación temporal a lo largo de la campaña realizada para los elementos S y Ti contenidos en el MPS en la localidad de El Salado. Para S, las mayores concentraciones se registraron hacia finales del mes de septiembre y comienzo de octubre, con valores de 1.358, 1.641 y 1.979 ppm para las semanas del 17 y 24 de septiembre y del 1 de octubre, respectivamente. Para El caso de Ti del mismo modo, las mayores concentraciones en el MPS se registraron el mes de septiembre y octubre, alcanzando valores de 32.324, 17.099 y 15.785 ppm. Las concentraciones de los elementos mencionados no estuvieron asociados a un aumento de la cantidad de MPS.



**Figura 83.** Variación temporal de los elementos S y Ti en el MPS. El Salado La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

A continuación, la tabla 5.11 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos y del MPS recolectados semanalmente en El Salado.

Tabla 5.11: Resumen estadístico de los datos obtenidos en El Salado para el promedio de la concentración de los elementos que se indican (ppm) y la cantidad promedio de MPS recolectada semanalmente ( $\text{g/m}^2$ ). Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
V	271,81	675,50	11,20	2884,80	25
Mn	112,87	100,71	31,06	411,03	27
Cu	51,73	44,18	11,00	195,00	30
Zn	29,76	25,20	9,50	140,60	33
As	16,85	9,18	7,00	32,6	7
Mo	12,81	1,64	11,33	15,00	6
S	650,34	498,27	210,8	1.978,80	22
Ti	2.699,15	6.577,07	47,17	32.323,84	34
MPS	3,00	4,50	0,53	28,03	35

### V.2.2.6 Variación temporal en la estación de Diego de Almagro

En la figura 84, se muestra la variación temporal a lo largo de la campaña realizada para los elementos V, Mn, Cu y Zn contenidos en el MPS en la localidad de Diego de Almagro. Para el elemento V, las mayores concentraciones se registraron en el mes de septiembre y octubre, alcanzando el máximo valor registrado de 1.608 ppm, la semana del 24 de septiembre. Para Mn, la mayor concentración se registró en las 2 primeras semanas de campaña, con 235 y 242 ppm. A partir del mes de septiembre, Mn registró sus menores concentraciones. Para el elemento Cu, la mayor concentración se registró en la semana del 9 de abril (157 ppm), del 11 de junio (131 ppm) y del 4 de junio (110 ppm). A partir del mes de agosto las concentraciones para este elemento en el MPS, son mínimas comparadas con respecto a los primeros meses de campaña. Para el caso de Zn, la mayor concentración se registró en la semana del 24 de septiembre (273 ppm) y 9 de abril (108 ppm).

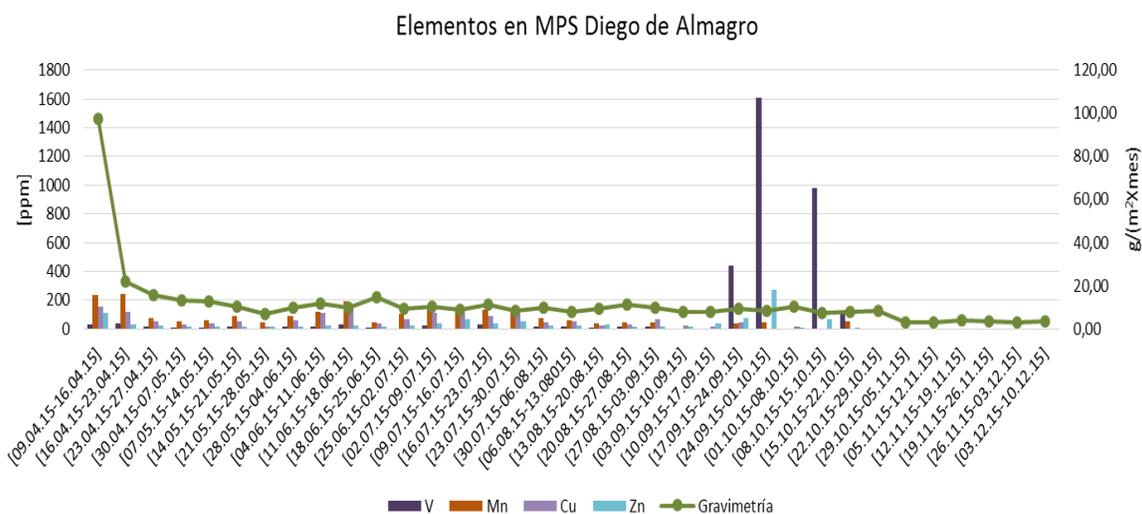


Figura 84. Variación temporal de los elementos V, Mn, Cu y Zn en el MPS. Diego de Almagro. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

En la figura 85, se muestra la variación temporal a lo largo de la campaña realizada para los elementos As y Mo contenido el MPS en la localidad de Diego de Almagro. Para el caso del As, las mayores concentraciones se registraron, al igual que en otras localidades, en el mes de septiembre y octubre, registrándose valores de 45 ppm la semana del 24 de septiembre, 27 ppm, la semana del 8 de octubre y de 19 ppm la semana del 15 de octubre. En el caso de Mo, las concentraciones registradas estuvieron bajo los 16 ppm.

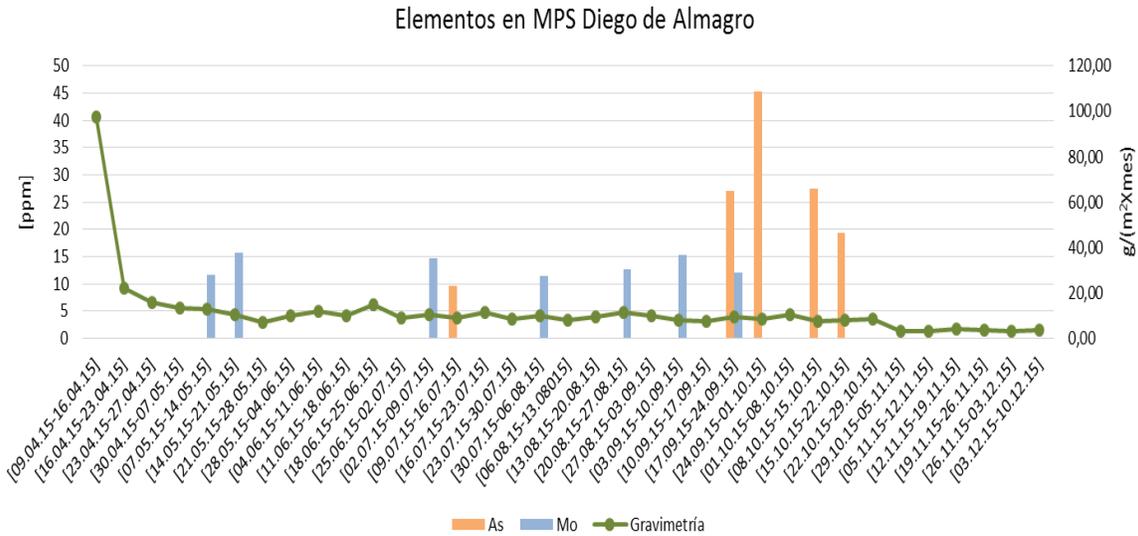


Figura 85 Variación temporal de los elementos As y Mo en el MPS. Diego de Almagro. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

La figura 86, muestra la variación temporal a lo largo de la campaña realizada para los elementos S y Ti contenidos el MPS en la localidad de Diego de Almagro. Para el elemento S, los máximos valores de concentración se observaron la semana del 24 de sept (1.630 ppm) y la semana del 8 de octubre (1.495 ppm). Para el elemento Ti las mayores concentraciones se registraron, en las mismas semanas que para As, es decir, el 24 de septiembre y el 8 de octubre, con valores que alcanzaron 18.143 ppm y 16.647 ppm respectivamente.

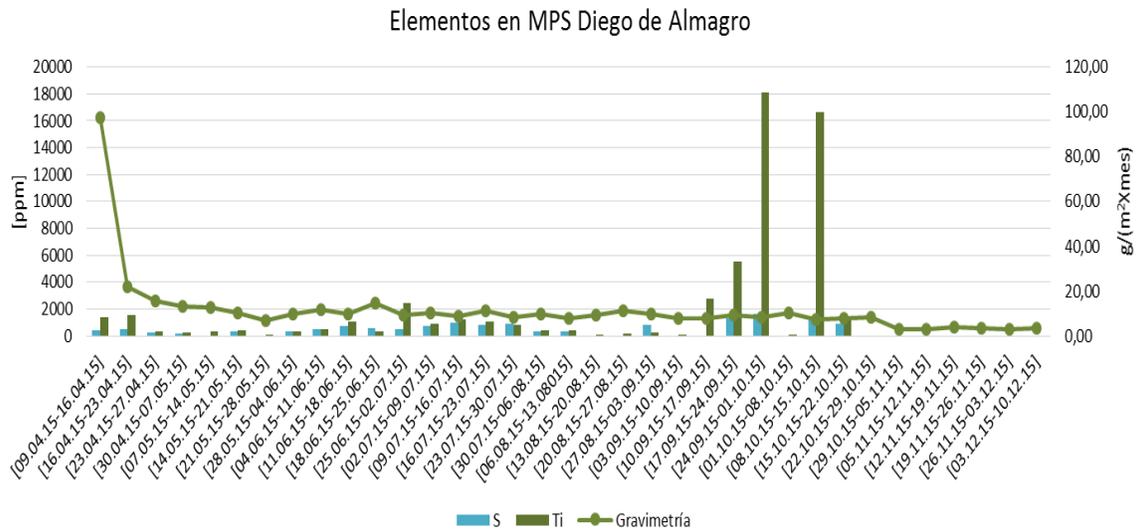


Figura 86. Variación temporal de los elementos S y Ti en el MPS. Diego de Almagro. La gravimetría corresponde a la cantidad de MPS depositado en el mismo período.

A continuación, la tabla 5.12 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos y del MPS recolectados semanalmente en Diego de Almagro.

Tabla 5.12: Resumen estadístico de los datos obtenidos en Diego de Almagro para el promedio de la concentración de los elementos que se indican (ppm) y la cantidad promedio de MPS recolectada semanalmente ( $g/m^2$ ). Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
V	165,19	398,93	10,20	1607,80	21
Mn	97,22	61,86	35,93	242,24	24
Cu	63,89	40,23	15,20	157	25
Zn	39,62	51,08	11,20	273	28
As	25,73	13,05	9,67	45,2	5
Mo	13,33	1,84	11,33	15,67	7
S	698,92	407,66	199,40	1.630,40	21
Ti	2.115,83	4.466,43	53,19	18.143,35	28
MPS	2,72	2,15	0,72	22,75	35

En las distintas estaciones de monitoreo, en el periodo de tiempo comprendido entre mediados de Septiembre y finales de Octubre inclusive el mes de Noviembre, los elementos Ti, As, V, Mn, Mo y S presentaron máximos de concentración en el MPS, en distinto grado entre las distintas localidades, probablemente debidos a fenómenos locales sin una explicación plausible en este momento con la información recopilada en este estudio.

### V.2.2.7 Análisis estadístico para los distintos elementos en el MPS

El análisis estadísticos para evaluar si existen diferencias en la concentración de cada uno de los elementos analizados entre las diferentes estaciones, se realizó aplicando el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, dado que la data no se ajustó a una distribución normal, según la Prueba de Kolmogorov-Smirnov. El test de Kruskal-Wallis compara las medianas de los datos en lugar de los promedios.

Este estudio arrojó como resultado que sólo el Mn presentó valores de concentración en el MPS más elevados y significativamente diferentes durante las 2 primeras semanas de la campaña, posterior al aluvión. Esta situación se dio en Tierra Amarilla, Paipote y Diego de Almagro. Un ejemplo de este análisis se representa en la fig. 87.

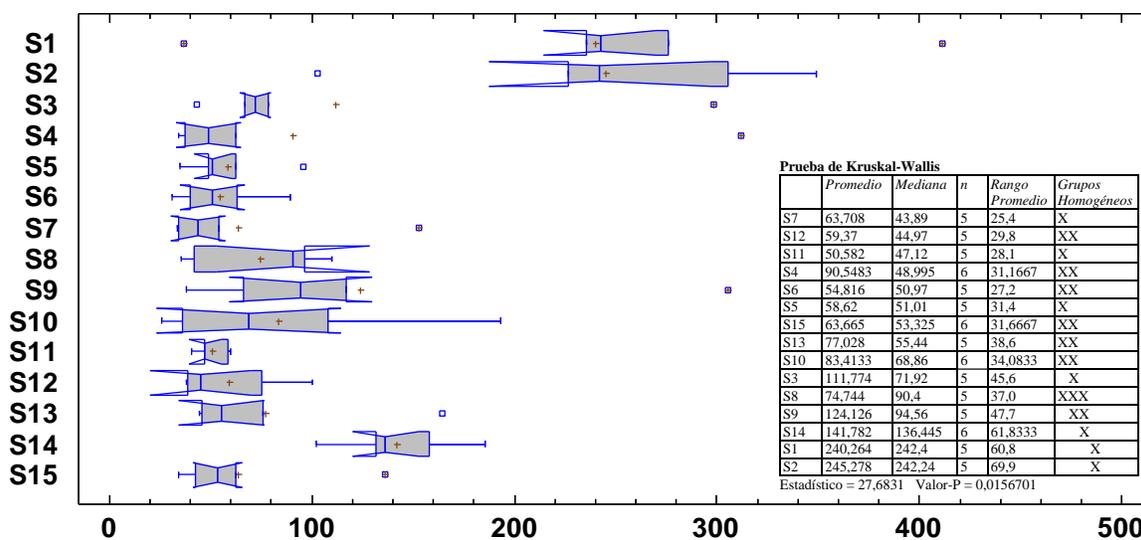
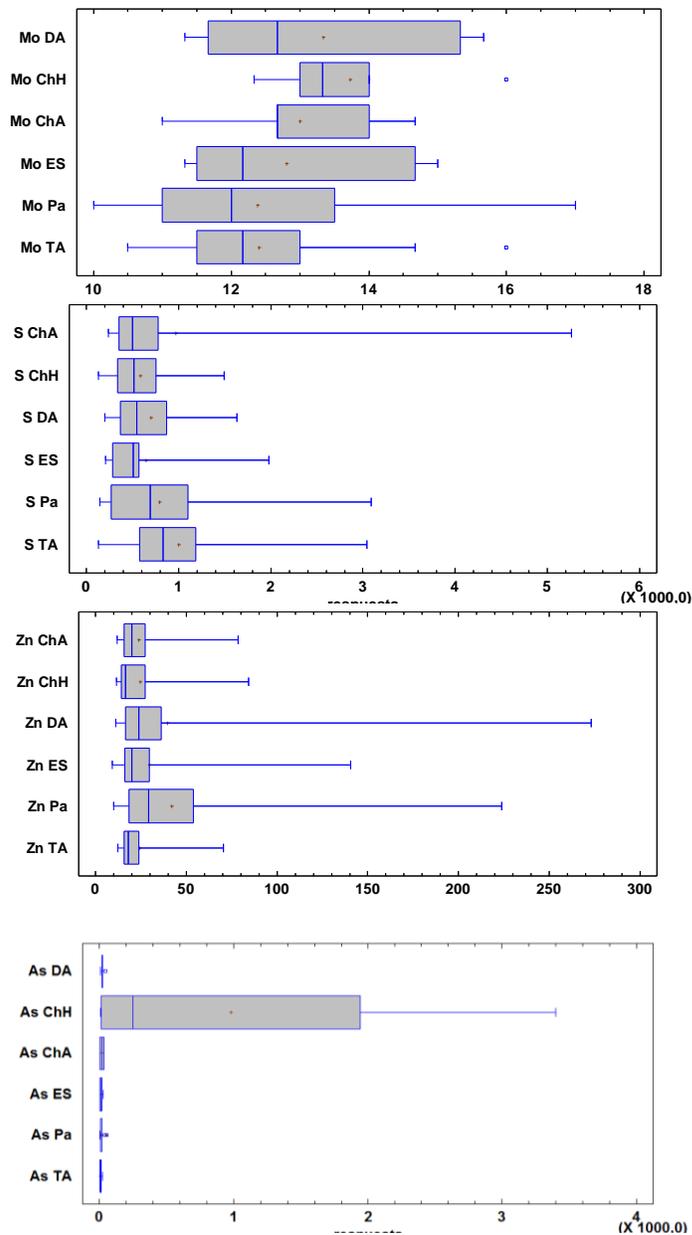


Figura 87. Gráfico de cajas y bigotes para la concentración de Mn en MPS (ppm) registrada en Tierra Amarilla durante la campaña de monitoreo.

Del mismo modo, se aplicaron los est estadístico descritos anteriormente, para verificar si hubo diferencia significativa en la concentración mediana de un elemento en particular entre las distintas estaciones de monitoreo. Los resultados obtenidos se describen a continuación.

Para los elementos Mo, S, Zn y As no se encontraron diferencias significativas en su concentración mediana entre las distintas estaciones, considerando todo el período de monitoreo (Fig. 88).



**Prueba de Kruskal-Wallis**

	Promedio	Mediana	n	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Mo ChA	13,002	12,67	5	40,3	X
Mo ChH	13,732	13,33	5	49,2	X
Mo DA	13,3343	12,67	7	41,7143	X
Mo ES	12,8067	12,17	6	36,6667	X
Mo Pa	12,3886	12,0	21	29,5714	X
Mo TA	12,4029	12,165	24	31,8958	X

Estadístico = 5,96462 Valor-P = 0,309677

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza

**Prueba de Kruskal-Wallis**

	Promedio	Mediana	n	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
S ChA	970,634	505,6	17	62,0	X
S ChH	588,305	513,9	16	57,4688	X
S DA	698,919	547,0	21	66,8571	X
S ES	650,344	508,7	22	58,9318	X
S Pa	792,138	697,2	32	67,5938	X
S TA	1001,45	834,9	24	80,875	X

Estadístico = 5,40652 Valor-P = 0,368305

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

**Prueba de Kruskal-Wallis**

	Promedio	Mediana	n	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Zn ChA	24,0865	20,075	26	83,3846	X
Zn TA	24,3357	18,0	28	80,3929	X
Zn ChH	24,864	16,55	30	72,7667	X
Zn ES	29,7606	20,0	33	91,1515	X
Zn DA	39,6161	23,8	28	98,3571	X
Zn Pa	42,0206	29,2	33	108,091	X

Estadístico = 9,56274 Valor-P = 0,0886165

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

**Prueba de Kruskal-Wallis**

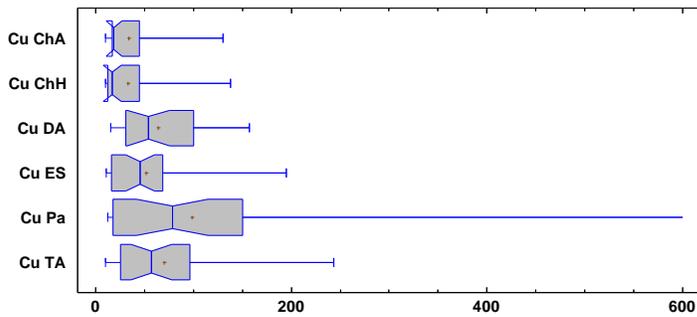
	Promedio	Mediana	n	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
As TA	12,375	9,0	4	11,25	X
As Pa	18,8286	10,0	14	16,7857	X
As ES	16,85	15,6	7	17,1429	X
As ChA	21,3	21,3	2	18,0	X
As DA	25,734	27,0	5	24,2	X
As ChH	979,375	254,0	4	27,25	X

Estadístico = 6,6182 Valor-P = 0,250618

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Figura 88. Gráfico de cajas y bigotes y tabla de la Prueba de Kruskal-Wallis para Mo, S, Zn y As. Donde DA=Diego de Almagro, ChH=Chañaral Hospital, ChA=Chañaral Aeropuerto, ES=El Salado, Pa=Paipote, TA=Tierra Amarilla.

En la figura 89 se presentan los resultados del análisis estadístico para Cu. Las menores concentraciones de Cu durante el período de monitoreo se presentaron en la estación de Chañaral Aeropuerto y en Chañaral Hospital, donde sus medianas difieren estadísticamente con las del resto de las estaciones de monitoreo.



**Prueba de Kruskal-Wallis**

	Promedio	Mediana	n	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Cu ChH	33,5707	17,0	29	58,569	X
Cu ChA	33,9424	19,0	29	64,069	X
Cu ES	51,7277	45,6	30	84,4833	X
Cu DA	63,8948	54,0	25	103,58	X
Cu TA	70,3732	57,475	28	100,696	X
Cu Pa	98,8345	78,4	31	108,968	X

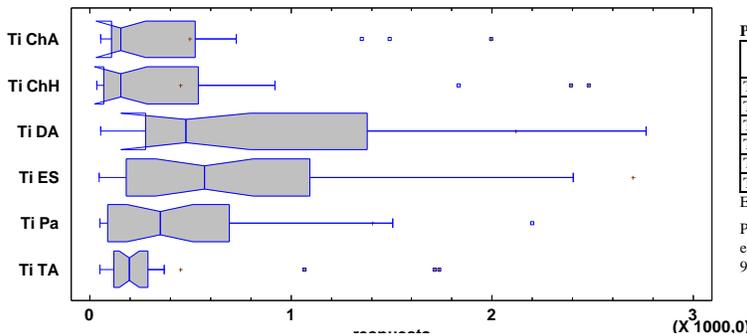
Estadístico = 26,5862 Valor-P = 0,0000686635

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Figura 89. Gráfico de cajas y bigotes y tabla de la Prueba de Kruskal-Wallis para Cu.

Donde DA=Diego de Almagro, ChH=Chañaral Hospital, ChA=Chañaral Aeropuerto, ES=El Salado, Pa=Paipote, TA=Tierra Amarilla.

En relación al análisis estadístico de los elementos Ti y V (Fig. 90), se observó que ambos elementos obtuvieron su mayor valor de concentración en El Salado. Para Ti, el análisis estadístico arrojó que la concentración mediana de esta estación fue significativamente diferente con las obtenidas en las estaciones de Tierra Amarilla, Chañaral Hospital y Chañaral Aeropuerto. Por su parte la concentración mediana de V, también fue mayor en El Salado, pero sólo estadísticamente diferente con la obtenida en Tierra Amarilla.

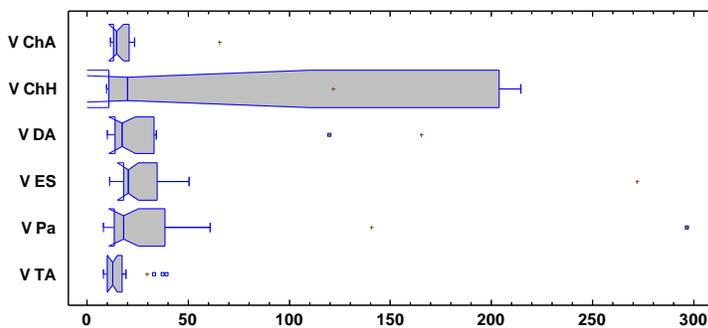


**Prueba de Kruskal-Wallis**

	Promedio	Mediana	n	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Ti ChH	450,626	153,7	31	72,6452	X
Ti ChA	499,11	153,94	27	78,1667	X
Ti TA	451,51	198,225	28	73,7857	X
Ti Pa	1405,27	350,06	33	94,5606	XX
Ti DA	2115,83	476,445	28	116,571	XX
Ti ES	2699,16	569,35	34	107,588	X

Estadístico = 18,6769 Valor-P = 0,00220744

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



**Prueba de Kruskal-Wallis**

	Promedio	Mediana	n	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
V TA	29,8017	12,6	23	39,087	X
V ChA	65,54	14,535	10	52,05	XX
V DA	165,194	17,25	21	65,1667	XX
V Pa	140,486	18,225	28	62,0	XX
V ChH	121,559	20,0	11	61,9091	XX
V ES	271,814	20,33	25	72,64	X

Estadístico = 13,1356 Valor-P = 0,022141

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Figura 90. Gráfico de cajas y bigotes y tabla de la Prueba de Kruskal-Wallis para Ti y V. Donde DA=Diego de Almagro, ChH=Chañaral Hospital, ChA=Chañaral Aeropuerto, ES=El Salado, Pa=Paipote, TA=Tierra Amarilla.

En el caso de Mn (Fig. 91), las mayores concentraciones medianas se observaron en las estaciones de Diego de Almagro, El Salado y Chañaral Hospital, las que sólo difirieron estadísticamente de la observada en Tierra Amarilla.

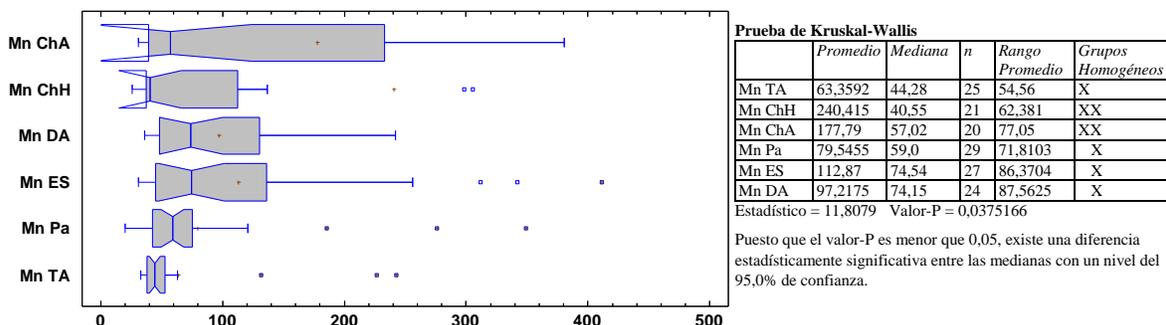


Figura 91. Gráfico de cajas y bigotes y tabla de la Prueba de Kruskal-Wallis para Mn. Donde DA=Diego de Almagro, ChH=Chañaral Hospital, ChA=Chañaral Aeropuerto, ES=El Salado, Pa=Paipote, TA=Tierra Amarilla.

Si bien es cierto durante las 2 primeras semanas la concentración promedio de los elementos presentes en el MPS no se diferenció mayormente entre las estaciones, salvo para el Mn, es necesario destacar que la gran cantidad de MPS depositado en la zona de estudio sí fue significativamente mayor, en todas las estaciones, durante las 2 primeras semanas en comparación del resto de la campaña. Esto inevitablemente se tradujo en una mayor exposición de las personas a los elementos contenidos en el material particulado sedimentable depositado en la zona de estudio (Fig. 92 y tabla 5.13).

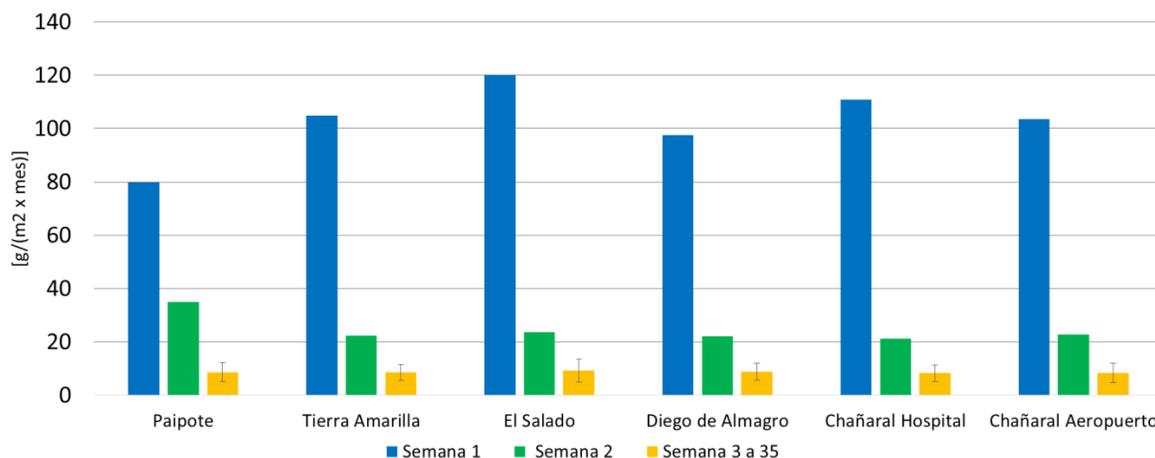


Figura 92. Comparación de flujos de MPS recolectado en las primeras dos semanas de campaña de monitoreo y el promedio del resto del período. Expresado como flujo de MPS mensual.

Tabla 5.13. Flujo de MPS recolectado semanalmente, expresado como flujo mensual.

Flujo material particulado Deposición Seca [(g/m <sup>2</sup> ) x mes]				
Estación	Semana 1	Semana 2	Promedio Semana 3 a 35	Desv. Estándar Semana 3 a 35
<b>Paipote</b>	79,78	35,03	8,63	3,53
<b>Tierra Amarilla</b>	104,84	22,43	8,48	3,02
<b>El Salado</b>	120,11	23,65	9,28	4,32
<b>Diego de Almagro</b>	97,51	22,00	8,76	3,24
<b>Chañaral Hospital</b>	110,74	21,23	8,30	3,11
<b>Chañaral Aeropuerto</b>	103,52	22,76	8,39	3,62

Lo anteriormente descrito queda en evidencia al expresar la cantidad de MPS en toneladas de polvo depositada por kilómetro cuadrado y por día. Durante la primera semana de realización del presente estudio, en la localidad del El Salado, se depositaron 4 ton/km<sup>2</sup> por día, en Chañaral se depositaron con 3,45 ton/Km<sup>2</sup>, en Tierra Amarilla con 3,69 ton/ Km<sup>2</sup>, en Paipote 2,66 ton/Km<sup>2</sup> y finalmente en Diego de Almagro se depositaron 3,25 ton/ Km<sup>2</sup>. Estos datos entregan, la magnitud de la cantidad de MPS, es decir de material sólido que se depositó vía atmosférica diariamente en promedio por cada sector geográfico medido, posibilitando estimar la carga diaria, tanto de este contaminante, como de los metales pesados que estarían recibiendo la región, sus ecosistemas y los habitantes.

### V.2.2.8 Acumulación de elementos por deposición de MPS

Al realizar un análisis de los resultados obtenidos para la concentración de distintos elementos químicos expresados como acumulación en el tiempo, calculada en base al flujo semanal de MPS registrado, se evidenció la magnitud de la concentración a la que estuvo expuesta la población de la zona de estudio a los distintos elementos químicos analizados.

La figura 93 muestra la deposición acumulada de MPS en la zona de estudio de la Región de Atacama. En ella se puede apreciar claramente que la mayor deposición de MPS se presentó en la localidad de El Salado. El resto de las estaciones de monitoreo muestran una deposición acumulada similar. Respecto de la curva asociada a la estación de Chañaral Aeropuerto, su diferencia se debe a que entre las semanas 21 y 26 se suspendió el monitoreo por razones ajenas a nuestra voluntad, presentando por esta razón la menor deposición acumulada final de MPS.

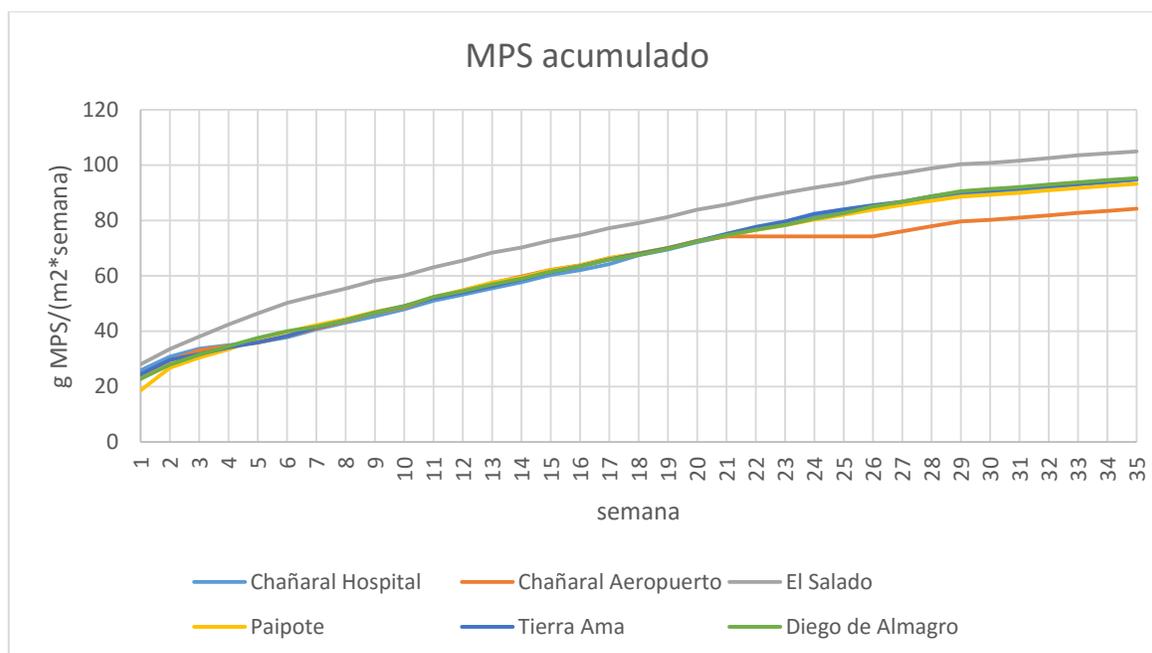


Figura 93. Deposición acumulada de MPS en la Región de Atacama

En la figura 94 se puede apreciar que la localidad de Chañaral Hospital, presentó la mayor acumulación de As, alcanzando al final del periodo de estudio un valor de aproximadamente de  $2.656 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , seguida en orden decreciente por la localidad de Paipote con  $778 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , El Salado con  $545 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , Tierra Amarilla con  $388 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , Diego de Almagro  $254 \mu\text{g}/\text{m}^2$  y finalmente Chañaral Aeropuerto  $80 \mu\text{g}/\text{m}^2$ . El alto valor alcanzado en Chañaral Hospital se debe las altas concentraciones de As medidas en los filtros de las semanas del 29 de Octubre y del 5 de noviembre 2015.

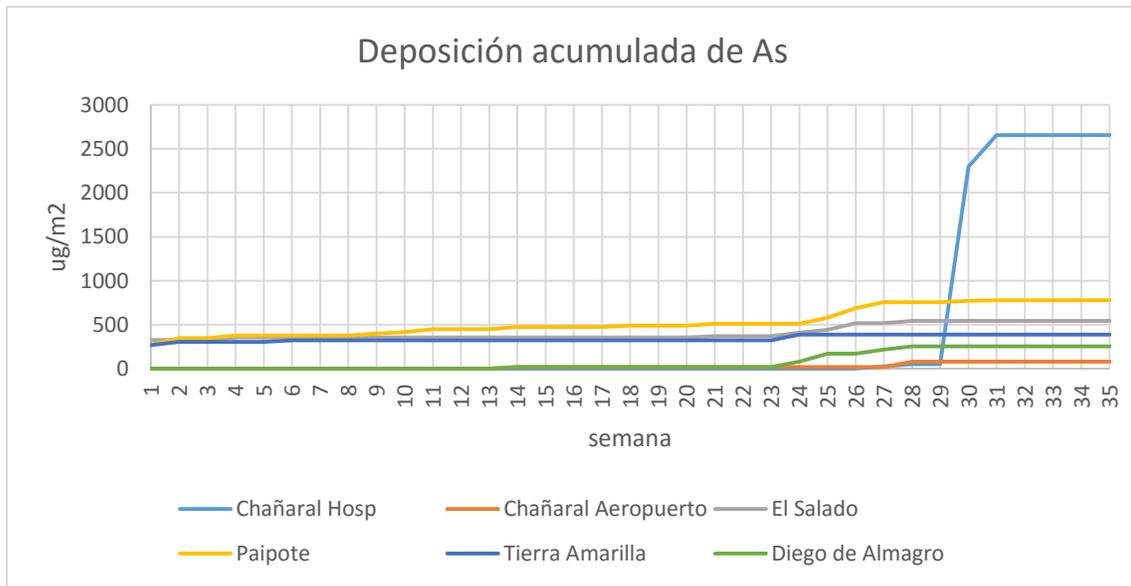


Figura 94. Deposición de As en la Región de Atacama

En el caso del elemento Cu (Fig. 95), la mayor acumulación se registró en Paipote, con un valor de 10.457  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ , registro que es congruente con la presencia en la zona de la Fundición Hernán Videla Lira, de la Empresa Nacional de Minería. Le sigue, en orden decreciente en tasa de acumulación, la localidad de El Salado con 9.081  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ , y a continuación las localidades de Tierra Amarilla y Diego de Almagro con una tasa de acumulación de 7.349 y 7.316  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ , respectivamente. Finalmente se ubican Chañaral Aeropuerto con 3.063  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  y Chañaral Hospital con una acumulación al final del periodo en estudio de 2.344  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ .

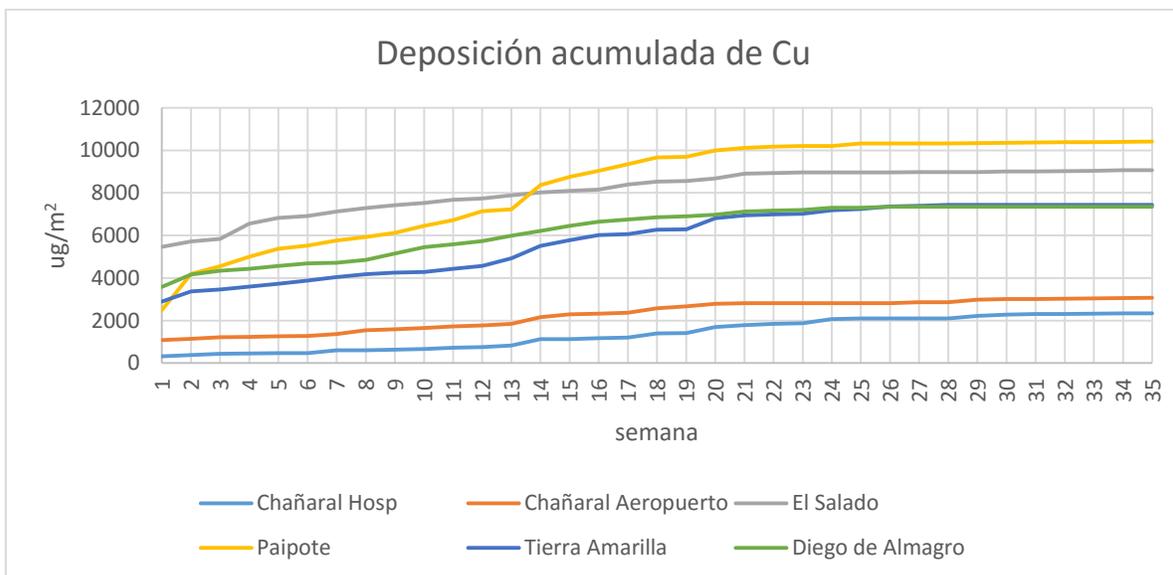
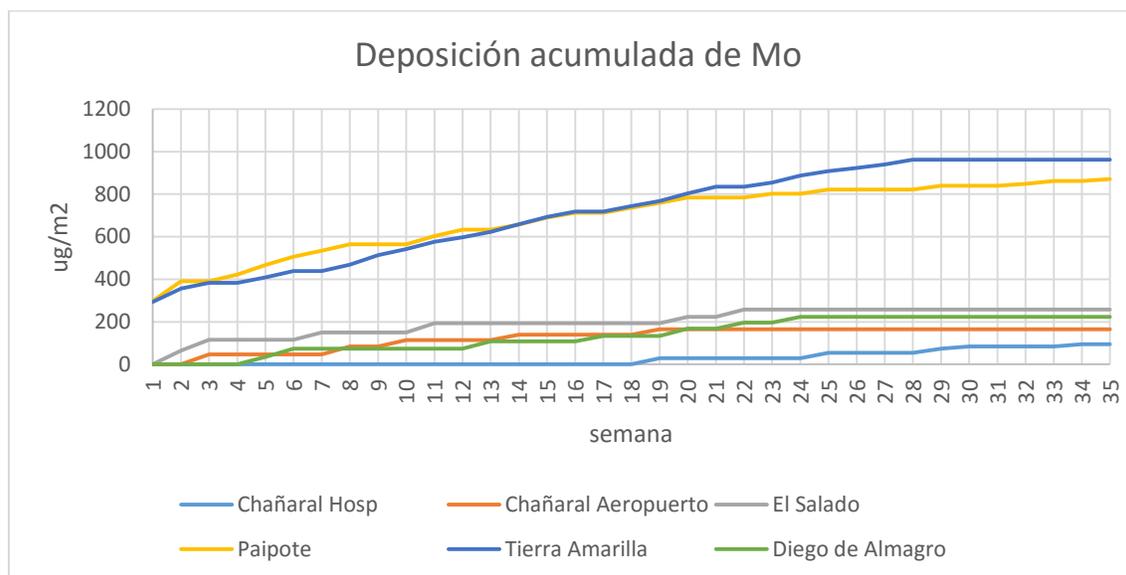


Figura 95. Deposición de Cu en la Región de Atacama.

El elemento Mo (Fig. 96) presentó las siguientes deposiciones acumuladas en las distintas estaciones. La mayor deposición se registró en Tierra Amarilla, con un valor de  $962 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , seguido en orden decreciente por Paipote, con una tasa de  $872 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , El Salado por  $257 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , Diego de Almagro con  $224 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , Chañaral Aeropuerto con  $164 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , finalmente Chañaral Hospital con una deposición de  $95 \mu\text{g}/\text{m}^2$ .



*Figura 96. Deposición de Mo en la Región de Atacama.*

La figura 97 presenta la deposición acumulada que se registró para el elemento Mn. La mayor deposición acumulada se presentó en El Salado con  $18.593 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , le siguen en orden decreciente Paipote con  $11.504 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , Diego de Almagro con  $11.032 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , luego Tierra Amarilla y Chañaral Aeropuerto con  $5.910$  y  $5.953 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , respectivamente.

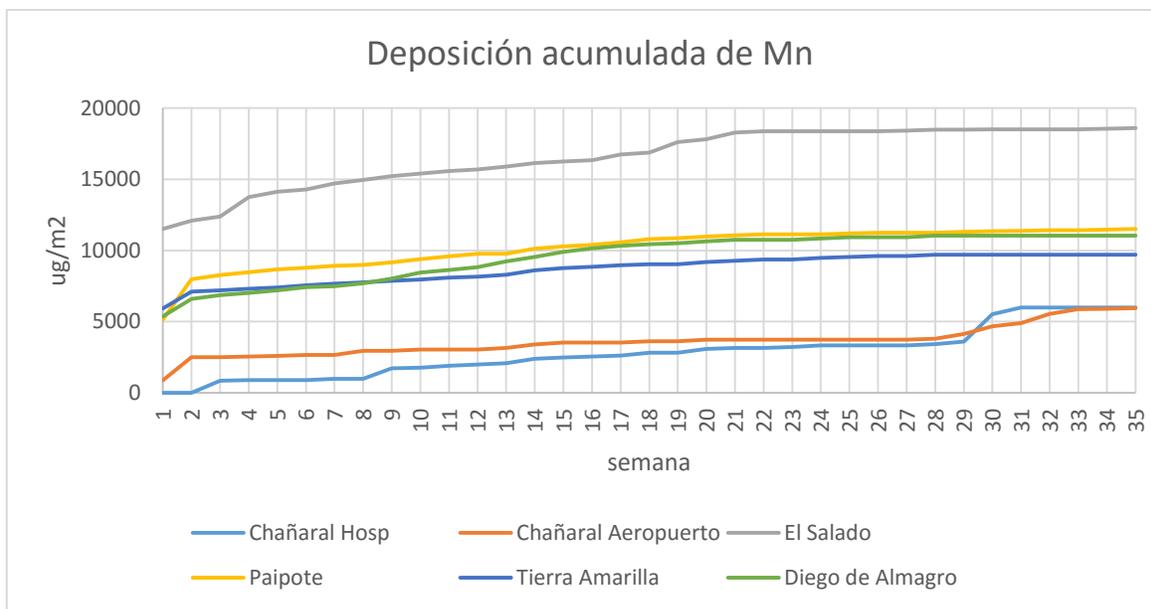
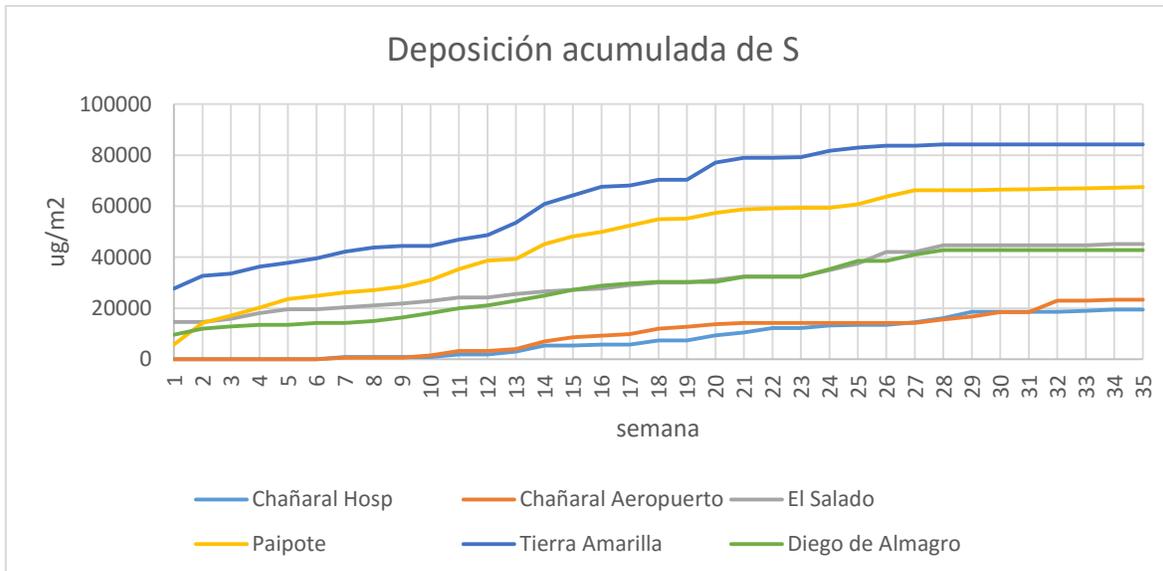


Figura 97. Deposición de Mn en la Región de Atacama.

La figura 98, presenta la cantidad de deposición acumulada que se registró para el elemento S. La mayor cantidad deposición acumulada al final del periodo de estudio se presentó en la localidad de Tierra Amarilla con  $87.171 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , le siguen en orden decreciente Paipote con  $67.418 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , El Salado con una deposición de  $45.096 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , Diego de Almagro con una deposición acumulada ligeramente inferior de  $42.767 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , finalmente Chañaral Hospital y Aeropuerto presentaron, al final del periodo de estudio, una tasa de acumulación de  $23.287$  y  $19.420 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , respectivamente.

La mayor acumulación observada en las estaciones de Paipote y Tierra Amarilla, se podría explicar por su cercanía a la Fundición de cobre Hernán Videla Lira, fuente de emisión de compuestos azufrados, con el  $\text{SO}_2$ , gas precursor de  $\text{SO}_4^{2-}$  y de minerales sulfurados por resuspensión desde las canchas de acopio por acción del viento. En Tierra Amarilla, probablemente la alta deposición podría deberse, además, a la resuspensión desde el suelo o superficies vegetales de productos azufrados, utilizados por la industria agrícola de la zona.



*Figura 98. Deposición de S en la Región de Atacama.*

En resumen, la mayor acumulación de MPS que se registró en la localidad de El Salado, con respecto a los otros lugares estudiados en la Región de Atacama (Fig. 93), estaría explicando, a su vez, la gran deposición acumulada para los elementos As, Mo, Mn observadas en esta localidad. A su vez el Cu, presentó su mayor deposición acumulada en Paipote, lugar donde se emplaza la Fundición de Cobre Hernán Videla Lira perteneciente a la empresa nacional de minería (ENAMI).

## V.2.3 Resultados de Concentración de Elementos en Suelos de la Campaña de Monitoreo 2015.

### V.2.3.1 Variación temporal

La figura 99 muestra la concentración de los elementos Al, S, K, Ti y Fe en muestras de suelos tomadas en el mes de abril y noviembre del 2015, en la zona de estudio afectada por el aluvión de fines de marzo, en la Región de Atacama. De la figura se desprende que las concentraciones de Al encontradas en noviembre fueron menores a las de abril en todas las estaciones, fenómeno que no se dio tan claramente para ninguno de los otros elementos aquí graficados. Por otra parte, las mayores concentraciones de S en suelo fueron observadas en Tierra Amarilla, en ambos meses de muestreo, en Chañaral (abril) y en El Salado (noviembre), en general con valores sobre los 6.000 ppm. Los elementos Al, Fe, K y Ti pueden considerarse como de origen crustal.

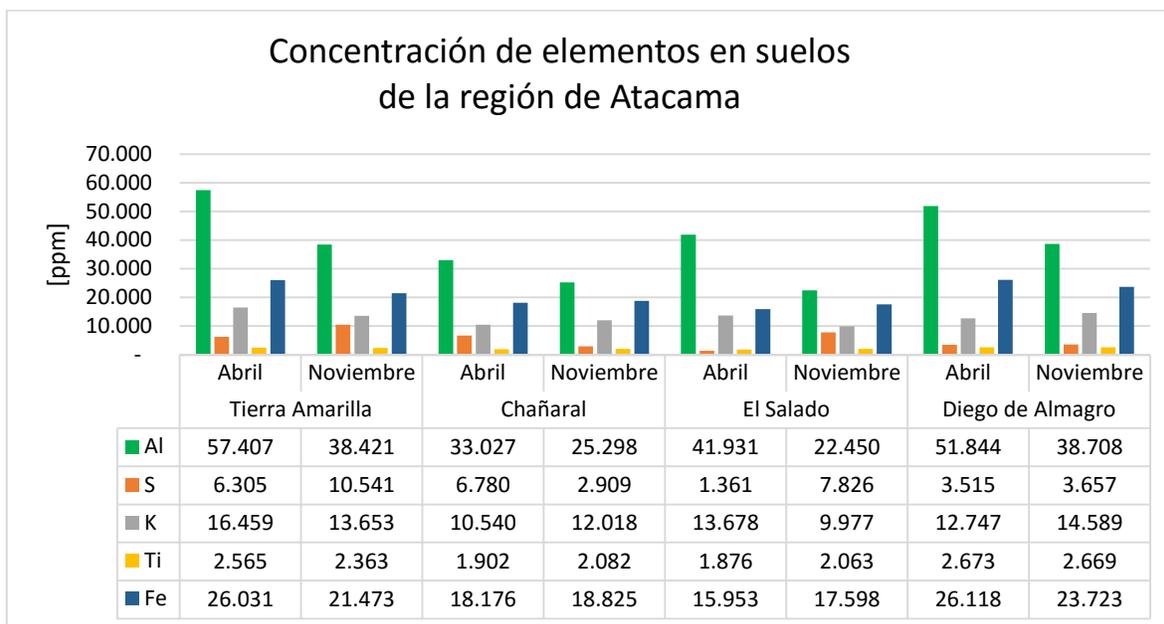


Figura 99. Concentración de Al, S, K, Ti y Fe en suelos de la Región de Atacama.

La figura 100, presenta la concentración de Mn y Cu en suelos de la región en muestras tomadas en el mes de Abril y Noviembre. Se desprende de la figura que las concentraciones de Mn encontradas en el monitoreo de noviembre fueron mayores que las de abril, en todas las estaciones. Este fenómeno también se dio para el caso del Cu, salvo en Diego de Almagro, donde la concentración de Cu encontrada en noviembre fue menor que la de abril.

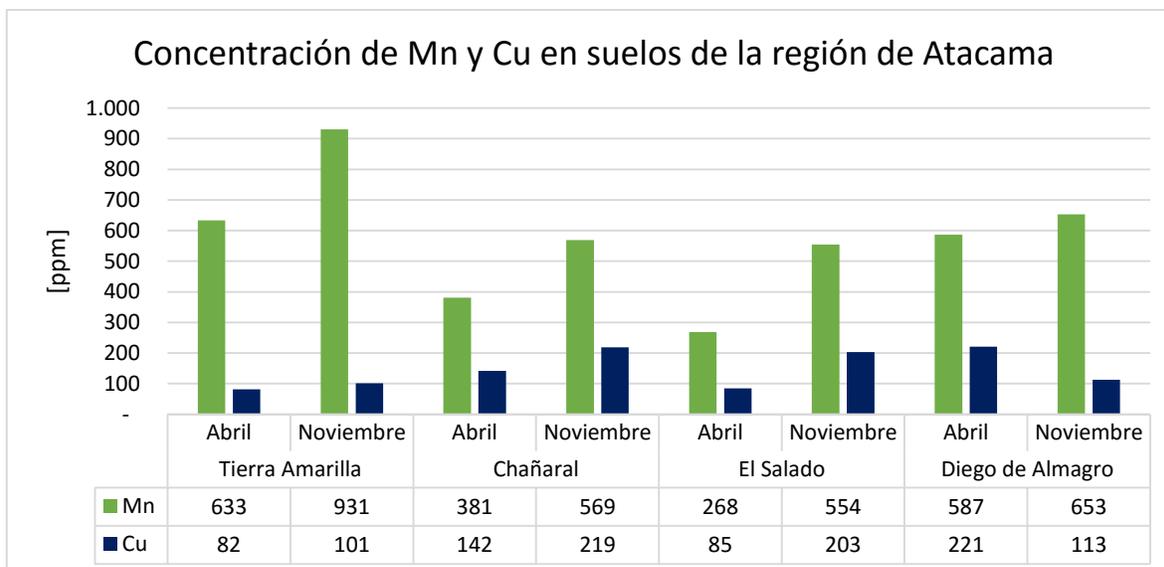


Figura 100. Concentración de Mn y Cu en suelos de la Región de Atacama.

La figura 101, presenta la concentración de los elementos V, Zn y As en suelos de la región en muestras suelos tomadas en el mes de Abril y Noviembre, en la Región de Atacama. En la figura se puede observar que la localidad que registró mayor concentración de V fue Tierra Amarilla en el mes de abril (91 ppm). Por el contrario, la concentración de este elemento estuvo bajo el límite de detección en el monitoreo del mes de abril en Chañaral y en el del mes de noviembre en El Salado. El Zn también presentó su máxima concentración en los suelos de Tierra Amarilla, con 84 y 88 ppm para los monitoreos de abril y noviembre, respectivamente. Finalmente, el As mostró mayores concentraciones en el monitoreo de noviembre en comparación con el de abril, en todas las localidades, con excepción de Diego de Almagro donde se obtuvo valores similares. Por su parte, en las muestras tomadas en el mes de noviembre, la mayor concentración se registró para el elemento Zn en las estaciones de Tierra Amarilla, Chañaral y El Salado, con excepción de la estación de Diego de Almagro donde el elemento V fue el que presentó la mayor concentración.

La figura 102 presenta la comparación entre la concentración de As en suelos monitoreados de la región de Atacama afectados por el aluvión de fines del marzo del 2015 y la concentraciones máximas de As en suelo receptor de lodos definida por los DS N°3 (2012), del Ministerio del Medio Ambiente y DS N° 4 (2009), del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (12,5 ppm). Se desprende de la figura, que el contenido de As en los suelos se excedió de este valor en todas las muestras de suelo tomadas, con excepción de las muestras recolectadas en abril en Chañaral y El Salado.

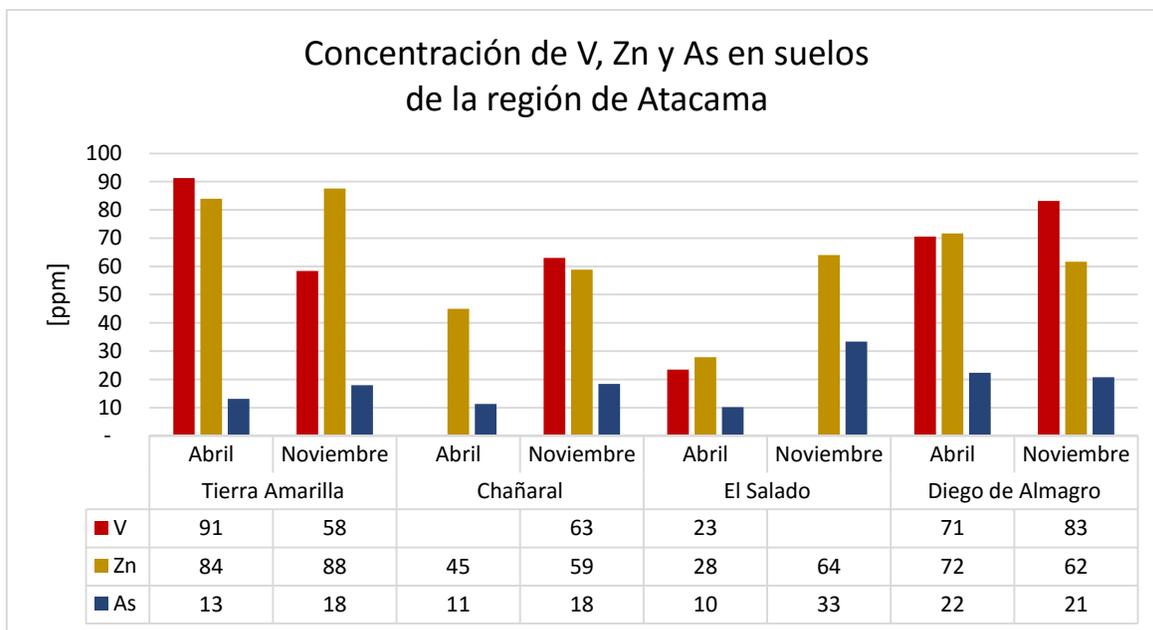


Figura 101. Concentración de los elementos V, Zn y As en suelos de la Región de Atacama.

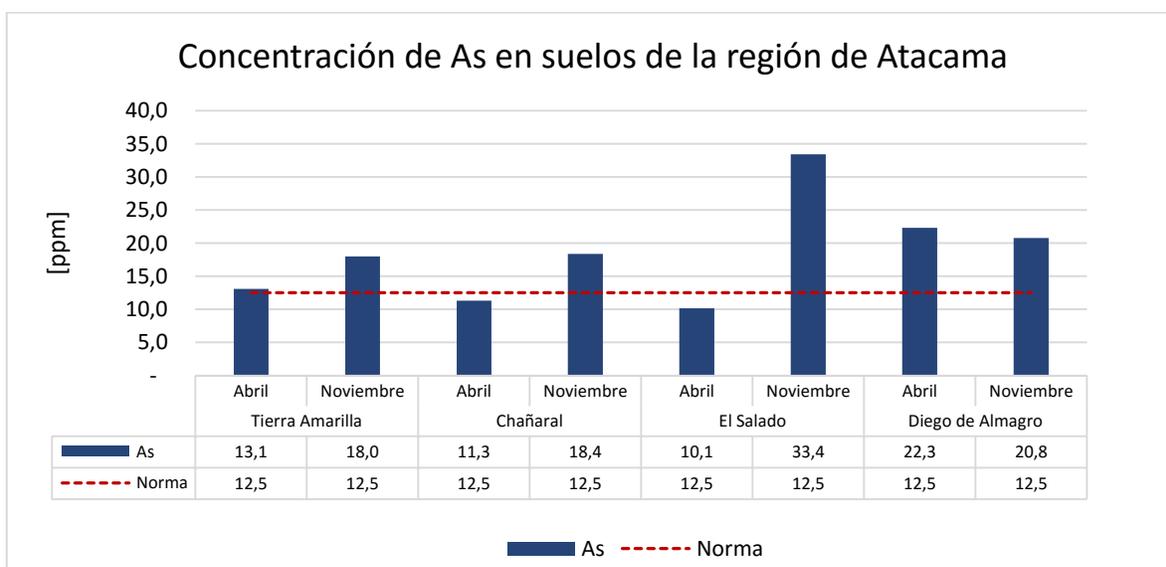


Figura 102. Comparación de la concentración de As registrada en los suelos de la Región de Atacama y la concentración máxima de As permitida en suelo (receptor de lodos), definida por los DS N°3 (2012), del Ministerio del Medio Ambiente y DS N° 4 (2009), del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

### V.2.3.2 Comparación con normativa

En la tabla 5.14, se presentan los valores de concentración en suelos, para los elementos Cu, Zn, As y su comparación con la norma chilena (Criterios de calidad de suelos agrícolas, SAG, Chile, 2005) y la norma de canadiense (Guía de calidad de suelos para la protección del medioambiente y la salud humana, Canadá). Se puede mencionar que, el elemento Cu se encontró excedido sobre las normas en todas las localidades, con excepción de Copiapó (abril). El elemento As se encontró excedido del valor de la norma en todas las localidades estudiadas durante el monitoreo, con excepción de las muestras recolectadas en Chañaral y El Salado durante el mes de abril 2015.

Tabla 5.14. Comparación de la concentración en suelos de elemento con norma chilena y canadiense.

[mg/Kg]	Tierra Amarilla		Chañaral		El Salado		Diego de Almagro		Copiapó Paipote		Norma Chile <sup>1</sup>	Norma Canadá <sup>2</sup>
	Abril	Nov.	Abril	Nov.	Abril	Nov.	Abril	Nov.	Abril	Nov.		
<b>Cu</b>	82	101	142	219	85	203	221	113	53	549	100	63
<b>Zn</b>	84	88	45	59	28	64	72	62	67	147	120	200
<b>As</b>	13	18	11	18	10	33	22	21	14	29	12,5	12

<sup>1</sup> DS N°3 (2012), del Ministerio del Medio Ambiente y DS N° 4 (2009), del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. <http://bcn.cl/1wsr0> y <http://bcn.cl/1uzdu>

<sup>2</sup> Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME): Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. [http://www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/](http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/)

### V.2.3.3 Cálculo de los Factores de Enriquecimiento

Se realizaron, además, cálculos para saber si los distintos elementos detectados en los suelos se encontraban enriquecidos, mediante el cálculo del factor de enriquecimiento (*FE*), de acuerdo a la siguiente expresión matemática.

$$FE = \frac{\left( \text{Elemento de interés} / \text{Al en la Muestra} \right)}{\left( \text{Elemento de interés en Corteza Terrestre} / \text{Al en Corteza Terrestre} \right)}$$

Estableciéndose los siguientes criterios de enriquecimiento

$FE < 2$ : Deficiencia o mínimamente enriquecido

$FE \sim 2-5$ : Moderadamente enriquecido

$FE \sim 5-20$ : Significativamente enriquecido

$FE \sim 20-40$ : Altamente enriquecido

$FE > 40$ : Extremadamente enriquecido

La tabla 5.15, presenta los  $FE$  encontrados para los siguientes elementos; Fe, Cu, V, As y Zn, medidos en los suelos de la región. El elemento Cu se encontró significativamente enriquecido en las localidades de Paipote, Chañaral y El Salado. Para el elemento As, se encontró altamente y extremadamente enriquecido en todas las distintas localidades en donde se tomaron muestras. El elemento Zn, se encontró moderadamente enriquecido en las localidades de Tierra Amarilla y Paipote.

Tabla 5.15 Factores de enriquecimiento ( $FE$ ) para distintos elementos en suelos de la Región de Atacama.

	Fe	Cu	V	As	Pb	Zn
Tierra Amarilla	0,94	4,02	1,15	19,60	-	2,73
Paipote	1,24	20,25	1,75	31,46	6,40	4,27
Chañaral	1,25	13,16	1,01	30,43	-	2,78
El Salado	1,31	13,77	0,08	62,25	-	3,41
Diego de Almagro	1,03	4,43	1,65	22,48	-	1,90

	Fe	Cu	V	As	Pb	Zn
Tierra Amarilla	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Moderadamente enriquecido	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Significativamente enriquecido		Moderadamente enriquecido
Paipote	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Altamente enriquecido	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Altamente enriquecido	Significativamente enriquecido	Moderadamente enriquecido
Chañaral	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Significativamente enriquecido	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Altamente enriquecido		Moderadamente enriquecido
El Salado	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Significativamente enriquecido	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Extremadamente enriquecido		Moderadamente enriquecido
Diego de Almagro	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Moderadamente enriquecido	Deficiencia o mínimamente enriquecido	Altamente enriquecido		Deficiencia o mínimamente enriquecido

## V.2.4 Resultados de Concentración de Elementos en MPS en Campaña de Monitoreo Huasco

### V.2.4.1 Variación temporal

La figura 103 presenta la variación temporal que experimentaron los elementos P, S, Ca y Fe durante el periodo que duró la campaña de monitoreo de MPS en Huasco. En el caso de P, este elemento sólo fue posible cuantificarlo sólo las tres primeras semanas de monitoreo, con concentraciones de 371, 1662 y 316 ppm. El S estuvo presente con concentraciones muy similares, en torno a los 1.000 ppm. El Ca presentó concentraciones variadas entre semanas, las que estuvieron entre 3.398 y 131 ppm. Finalmente el Fe tuvo una tendencia al alza, con concentraciones desde 1.945 ppm la primera semana hasta los 10.481 ppm la última, aunque su concentración estuvo bajo el límite de detección la segunda semana de monitoreo.

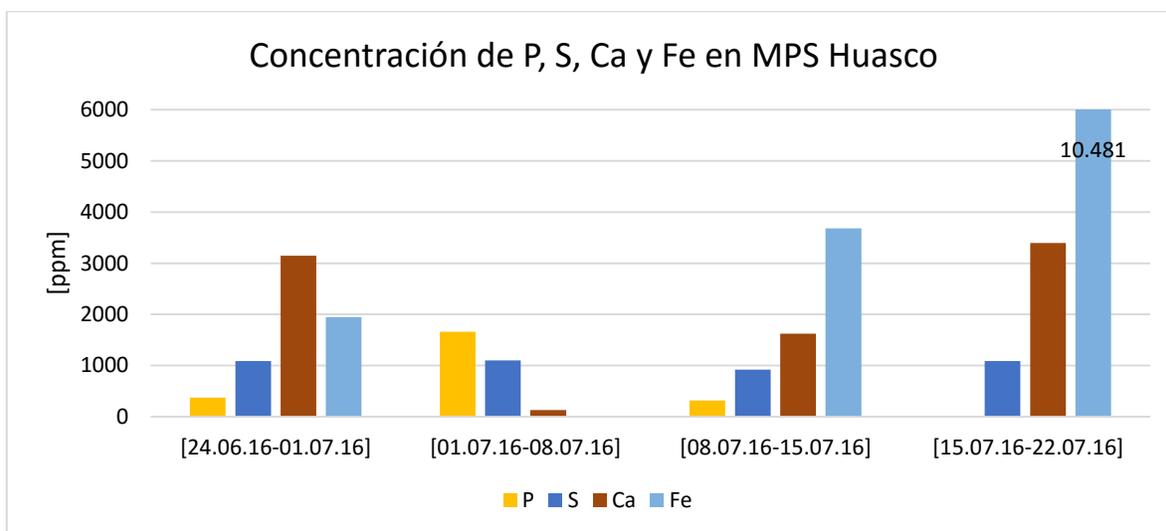


Figura 103. Variación temporal de los elementos P, S, Ca y Fe en el MPS. Huasco.

La figura 104 presenta la variación temporal que experimentaron elementos K, Ti, Mn y Sr durante la campaña de monitoreo de MPS en Huasco. Los elementos K y Mn presentaron concentraciones muy diferentes durante el período de monitoreo, siendo las más altas en la semana del 1 de julio para ambos elementos (4.267 y 4.270 ppm para K y Mn, respectivamente). La concentración de Ti tuvo una tendencia al alza, aunque en la segunda semana, su concentración estuvo bajo el límite de detección. Por su parte Sr tuvo una concentración de 107 ppm en el MPS recolectado la primera semana, con una tendencia a la baja, llegando a 64 ppm la última semana de monitoreo.

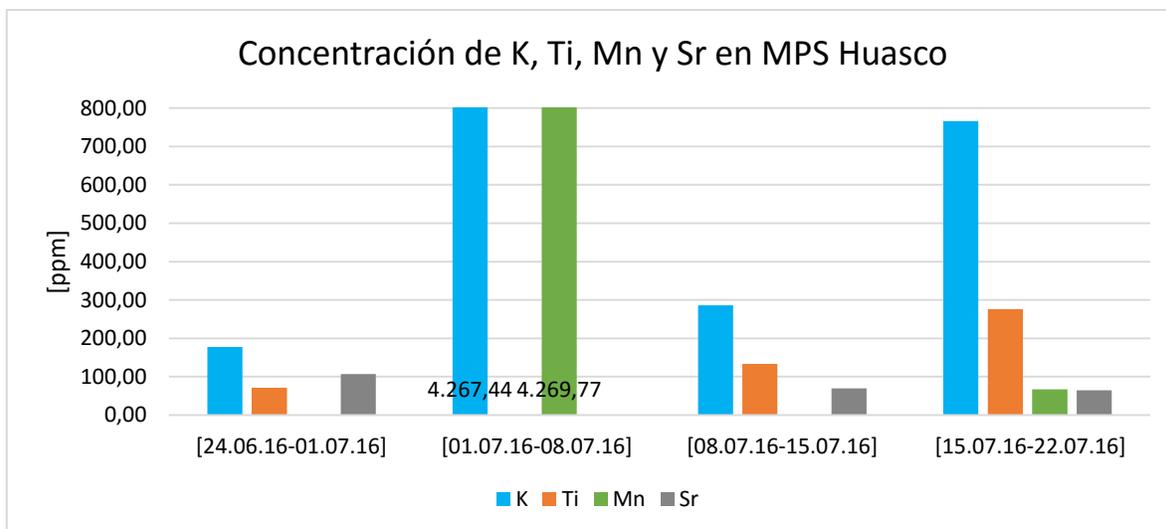


Figura 104. Variación temporal de los elementos K, Ti, Mn y Sr en el MPS. Huasco.

La figura 105 presenta la variación temporal que experimentaron Cr, Cu, Rb y Zr durante el periodo que duro la campaña de monitoreo en Huasco. Cr sólo fue detectado en dos de las semanas del monitoreo, con concentraciones de 45 y 84 ppm. Cu siempre fue detectado en el MPS recolectado, con 19 ppm la primera semana y disminuyendo hasta 8 ppm en la última. Rb presentó en general concentraciones en torno a las 8 ppm, salvo la segunda semana de monitoreo, en la que alcanzó 96 ppm. Finalmente Zr tuvo también tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, iniciando con 32 ppm y llegando 25 ppm.

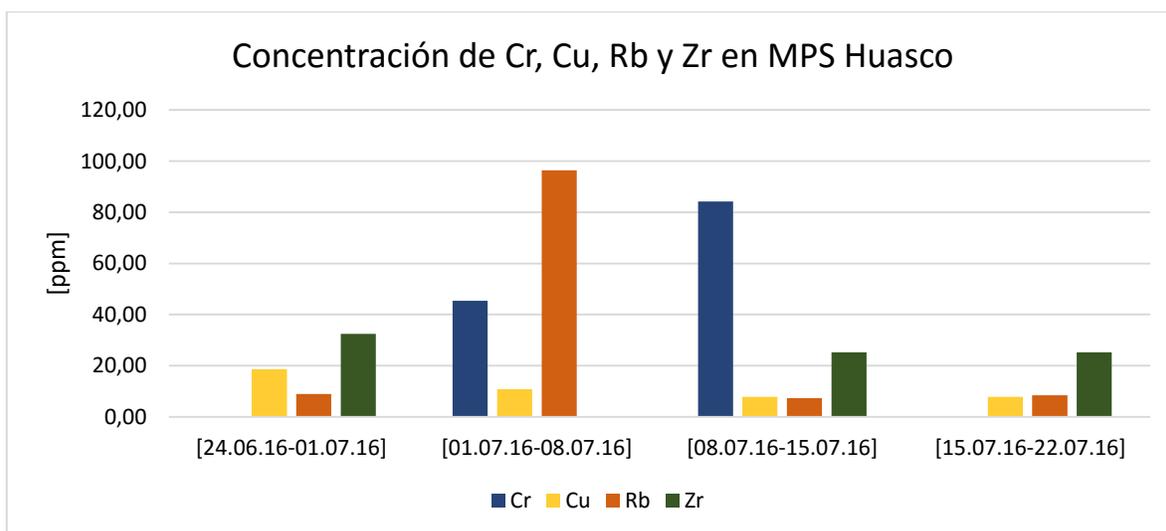


Figura 105. Variación temporal de Cr, Cu, Rb y Zr en MPS. Huasco.

A continuación, la tabla 5.16 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos presentes en el MPS recolectados semanalmente en Huasco.

Tabla 5.16: Resumen estadístico de los datos obtenidos en Huasco para la concentración promedio de los elementos que se indican en MPS (ppm). Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
P	782,93	761,82	315,32	1.662,00	3
S	1.049,45	86,33	920,20	1.099,60	4
Ca	2.074,29	1.513,81	131,32	3.397,78	4
Fe	5.368,8	4.511,14	1.945,18	10.481,00	3
K	1.374,08	1.945,79	177,12	4.267,78	4
Ti	160,03	105,03	70,92	275,84	3
Sr	80,33	23,40	64,4	107,20	3
Mn	2.168,59	2.971,53	67,4	4.269,77	2
Cu	11,25	5,10	7,80	18,60	4
Rb	30,30	44,07	7,30	96,40	4
Zr	27,60	4,16	25,20	32,40	3
Cr	64,77	27,48	45,33	84,20	2

La figura 106 presenta la variación temporal que experimentaron los elementos P, S, Ca y Fe durante el periodo que duró la campaña de monitoreo de MPS en el sitio control en la cercanía de la ciudad de Vallenar. Respecto del P, éste presentó concentraciones bastante similares, de alrededor 350 ppm, y solo en las tres primeras semanas de monitoreo. El S alcanzó concentraciones en el rango de 974 y 1.774 ppm. El calcio presentó variaciones mayores, entre los 786 y 4.453 ppm. Finalmente el Fe mantuvo valores entre los 465 y 650 ppm las tres primeras semanas de monitoreo, pero alcanzó 4.857 ppm la cuarta semana.

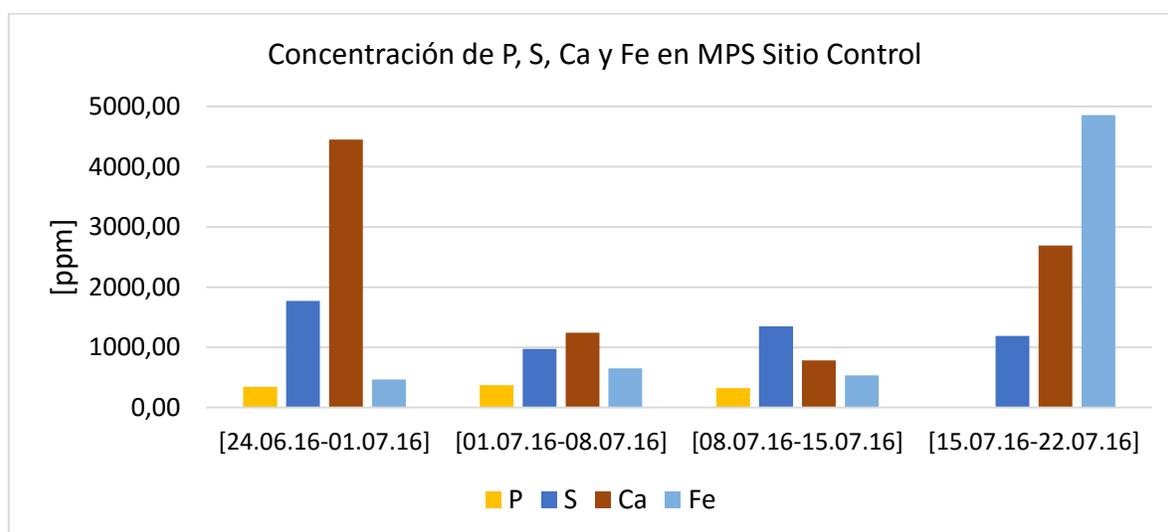


Figura 106. Variación temporal para los elementos P, S, Ca y Fe en el MPS. Sitio Control, en las cercanías de Vallenar.

La figura 107 presenta la variación temporal que experimentaron los elementos K, Ti, Cr y Sr durante el periodo que duró la campaña de monitoreo de MPS en el sitio control, cercano a la ciudad de Vallenar. El K presentó una tendencia al alza, en el período monitoreado, con 155 ppm en la primera semana de monitoreo y 658 ppm las última semana. El Ti alcanzó 50 ppm la primera semana, para posteriormente mantenerse en torno a los 100 ppm durante la segunda y tercera semana de muestreo. Sin embargo, los filtros de MPS recolectados la cuarta semana presentaron una concentración de 658 ppm de Ti. En relación a Cr, éste sólo se pudo cuantificar en los filtros de la segunda y tercera semana, alcanzando valores de 80 y 86 ppm, respectivamente. Finalmente la concentración de Sr alcanzó valores en el rango de los 64 a 112 ppm.

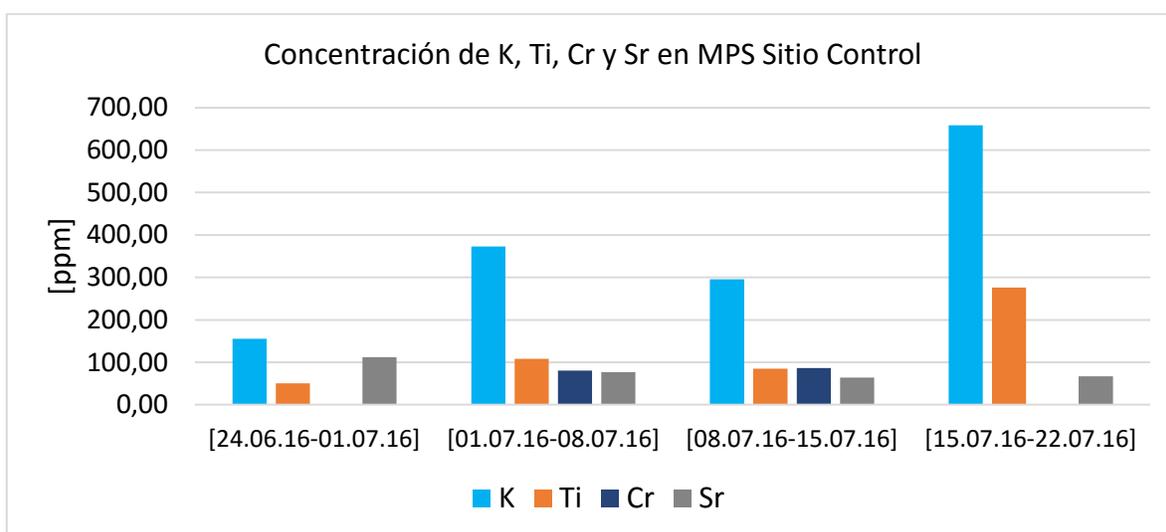


Figura 107. Variación temporal para los elementos K, Ti, Cr y Sr en el MPS. Sitio Control en las cercanías de Vallenar.

La figura 108 presenta la variación temporal que experimentaron elementos como Cu, Zn, Rb y Zr durante el periodo que duró la campaña de monitoreo de MPS en el sitio control, cercano a la ciudad de Vallenar. El Cu presentó una tendencia a la baja, en el período monitoreado, con 19 ppm en la primera semana de monitoreo y 9 ppm las última semana. El Zn alcanzó 10 ppm la primera semana, para posteriormente mantenerse el torno a los 6 ppm durante la tercera y cuarta semana de muestreo. En relación a Rb, alcanzó valores de 7 a 10 ppm, en el período. Finalmente la concentración de Zr alcanzó valores en el rango de los 21 a 33 ppm.

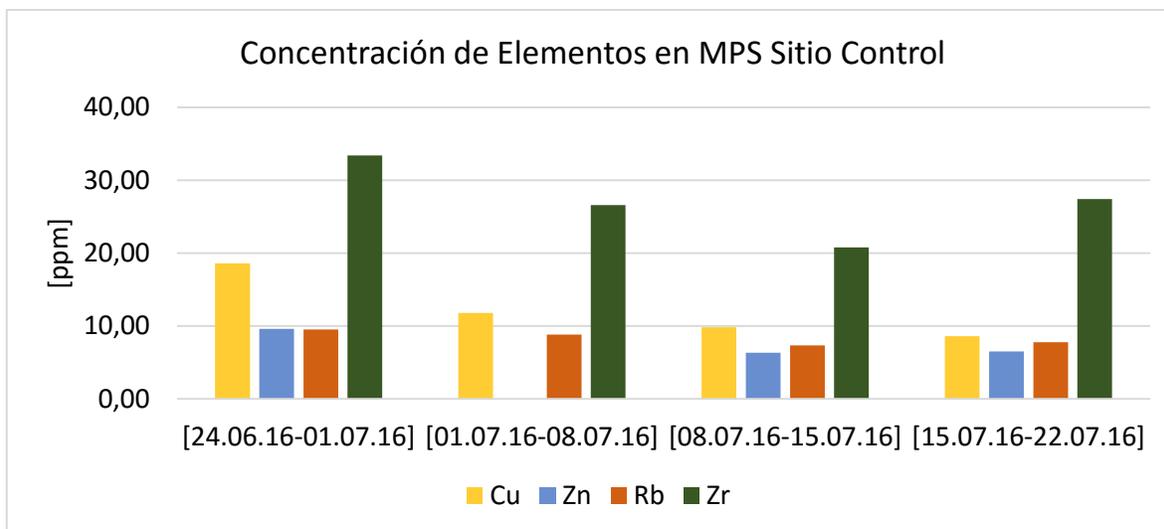


Figura 108. Variación temporal para los elementos Cu, Zn, Rb y Zr en el MPS. Sitio Control en las cercanías de Vallenar.

A continuación, la tabla 5.17 muestra los promedios, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos de los elementos recientemente descritos presentes en el MPS recolectados semanalmente en Sitio Control, cercano a Vallenar.

Tabla 5.17: Resumen estadístico de los datos obtenidos en Sitio Control, cercano a Vallenar, para la concentración promedio de los elementos que se indican en MPS (ppm). Cálculo en base a valores obtenidos sobre el límite de detección de la técnica.

Elemento	Promedio	DesvEst	Valor mín	Valor máx	n
P	346,62	22,73	325,52	370,69	3
S	1.322,65	338,27	973,60	1.773,60	4
Ca	2.294,22	1.652,87	785,54	4.452,65	4
Fe	1.627,5	2.154,10	465,39	4.856,65	4
K	370,64	211,84	155,38	658,19	4
Ti	129,83	100,36	50,20	276,02	4
Sr	79,80	22,11	64,20	112,00	4
Cu	12,20	4,47	8,60	18,60	4
Rb	8,35	0,99	7,33	9,50	4
Zr	27,05	5,15	20,80	33,40	4
Cr	83,40	4,24	80,40	86,40	2
Zn	7,48	1,84	6,33	9,60	3

A continuación, en las figuras 109, 110, 111 y 112 se presenta un análisis comparativo entre las concentraciones promedio de los distintos elementos presentes en el MPS en la zona de Huasco y del Sitio Control, cercano a Vallenar.

Las concentraciones promedio de S y Ca fueron superiores en el Sitio Control. Por el contrario, las concentraciones promedio de P y K fueron mayores en Huasco (Fig. 109). Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas, según se explica a continuación en el punto V.2.4.2.

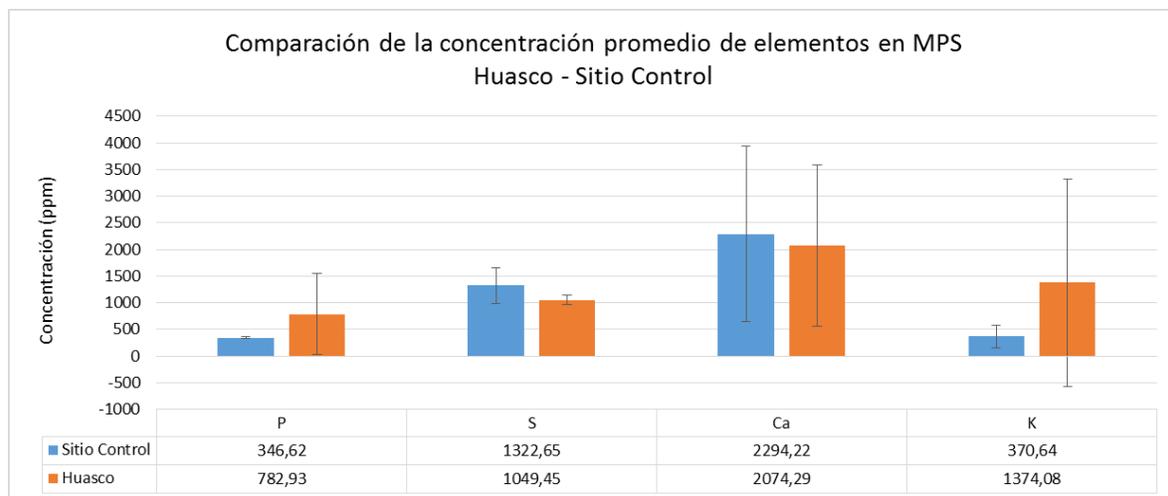


Figura 109. Concentración promedio para los elementos P, S, Ca y K en el MPS, en la ciudad de Huasco y sitio control en las cercanías de la ciudad de Vallenar.

Por otra parte, en Huasco la concentración de Ti presente en el MPS fue mayor que en el sitio control. Respecto a Sr, prácticamente no hubo diferencias entre ambos sitios. Finalmente la concentración de Cr en el MPS fue mayor en el Sitio Control. Sin embargo, ninguna de las diferencias observadas es estadísticamente significativa, según se explica a continuación en el punto V.2.4.2.

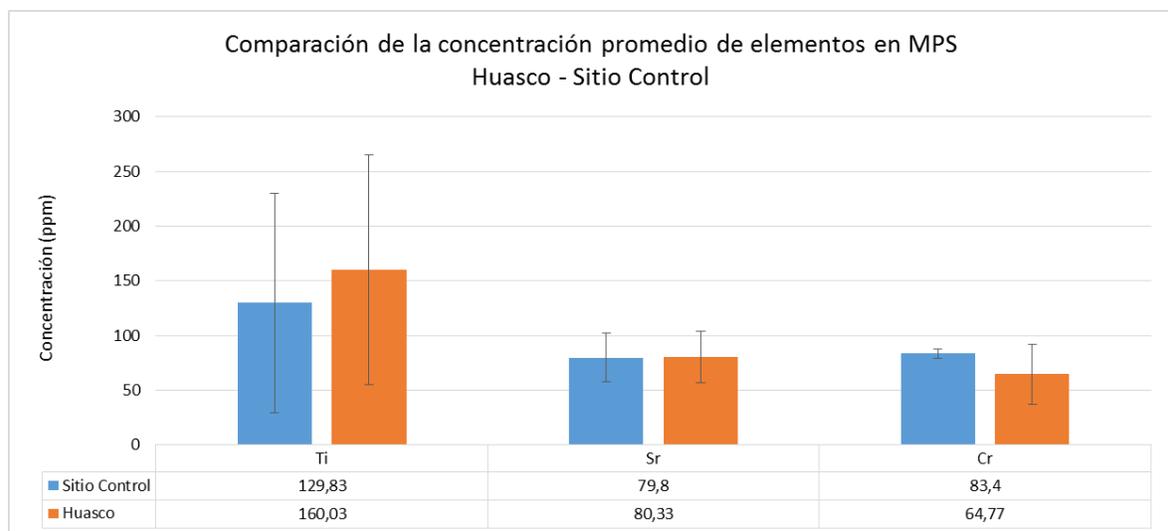
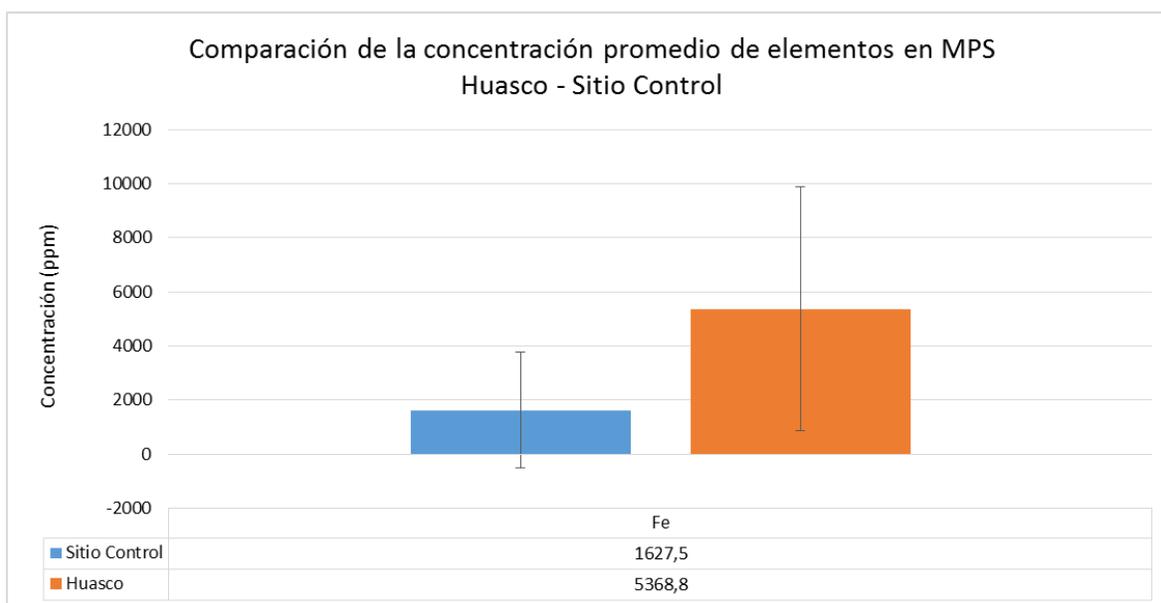


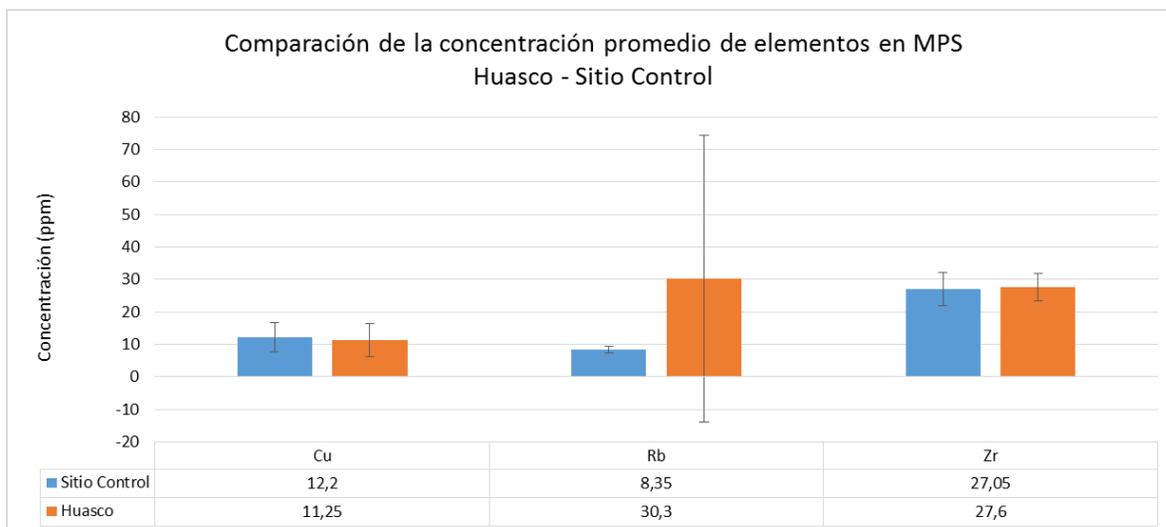
Figura 110. Concentración promedio para los elementos Ti, Sr, Cr en el MPS, en la ciudad de Huasco y sitio control en las cercanías de la ciudad de Vallenar.

La figura 111, presenta la concentración promedio para el elemento Fe en el MPS. La concentración promedio fue mayor en Huasco que en el sitio de control, probablemente debido a la presencia de la planta procesadora de hierro en las cercanías de la ciudad. Sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa, según se explica a continuación en el punto V.2.4.2.



*Figura 111. Concentración promedio para Fe en el MPS, en la ciudad de Huasco y sitio control en las cercanías de la ciudad de Vallenar.*

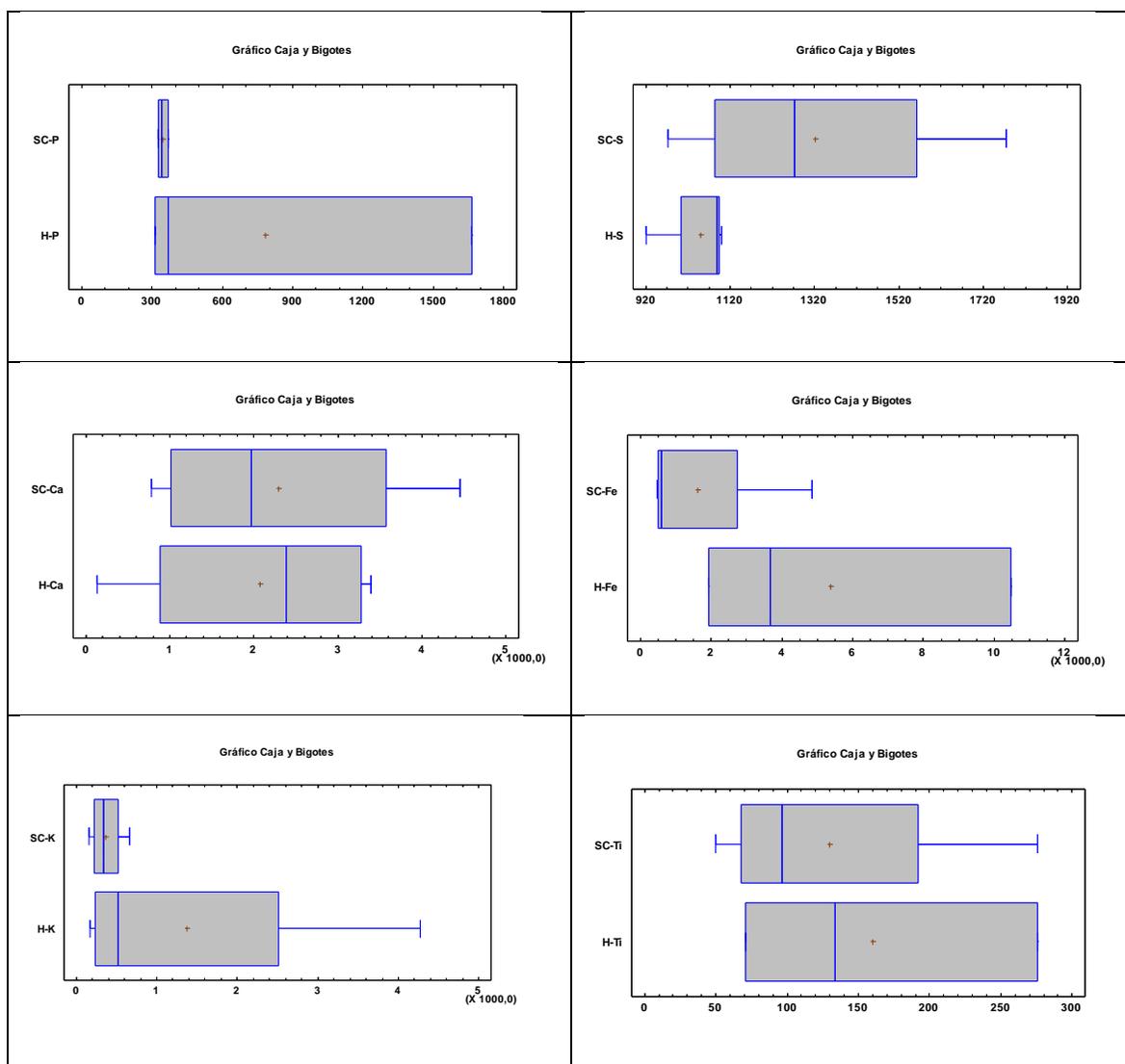
La figura 112, presenta la concentración promedio para los elementos Cu, Rb y Zr en el MPS, en la ciudad de Huasco y sitio control en las cercanías de la ciudad de Vallenar. Tanto para Cu como para Zr, la concentración promedio fue similar en ambos sitios de monitoreo. Para el elemento Rb, la mayor concentración promedio se registró en Huasco, probablemente debido a la gran actividad industrial ubicada en las cercanías de Huasco. Sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa, según se explica a continuación en el punto V.2.4.2.



*Figura 112. Concentración promedio para los elementos Cu, Rb y Zr en el MPS, en la ciudad de Huasco y sitio control en las cercanías de la ciudad de Vallenar.*

### V.2.4.2 Análisis estadístico para los distintos elementos en el MPS

Se realizó un análisis estadístico, con el fin de verificar si había diferencia significativa en la concentración de todos los elementos que fueron cuantificados, tanto en las estaciones de Huasco como en el sitio control. El análisis estadístico arrojó que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos sitios, para ninguno de los elementos analizados (Figura 113).



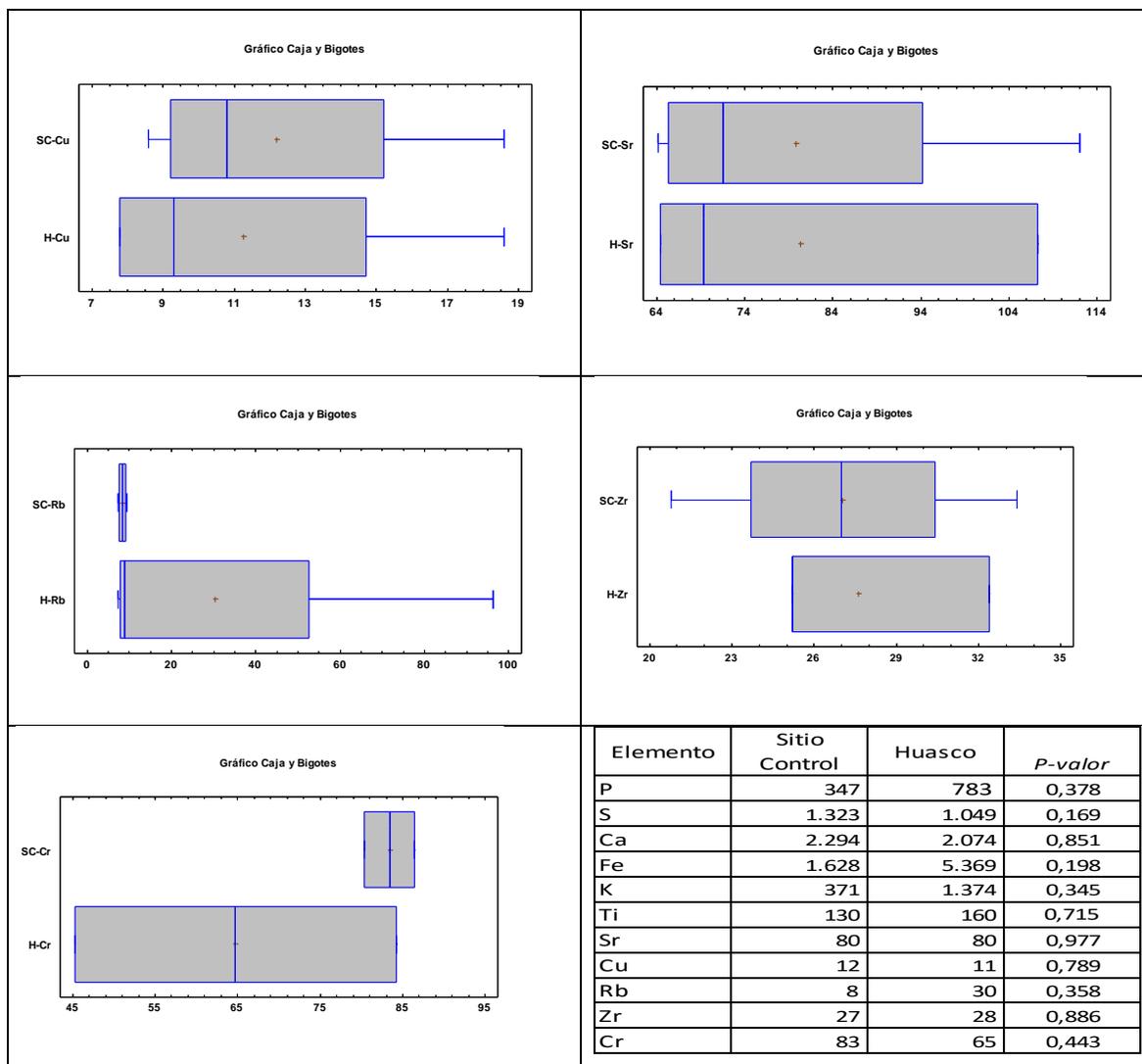


Figura 113. Gráfico de cajas y bigotes. Donde H=Huasco y SC=Sitio Control. Si las muescas de cualquier par de medianas se traslapan, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellas, con un nivel de confianza del 95%. Si las muescas de cualquier par de medianas no se traslapan, existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellas, con un nivel de confianza del 95%. Además se entrega una tabla con los p-valor de la prueba-t para comparar las medias de ambos sitios, para cada elemento. Si el p-valor es menor a 0,05 existen diferencias significativas entre ambas medias.

## V.2.5 Resultados de Concentración de Elementos en Suelos en Campaña de Monitoreo Huasco

### V.2.5.1 Variación temporal

La concentración de los elementos Al y Fe en muestras de suelos tomadas en la zona de Huasco en la Región de Atacama se muestra en la figura 114. De la figura se desprende que la mayor concentración de Al se presentó en el sitio de control, seguido en orden decreciente, por Huasco ciudad, planta de pellets CAP, y finalmente Huasco sur en camino costero. Para Fe, la mayor concentración se registró en Huasco sur camino costero, seguido en orden decreciente planta de pellet de CAP y finalmente con concentraciones similares en sitio control y Huasco ciudad.

La concentración de los elementos V, Cu y Zn en muestras de suelos tomadas en la zona de Huasco en la Región de Atacama se muestra en la figura 115. De la figura se puede describir que, para V la mayor concentración se registró en Huasco sur camino costero, seguida en orden decreciente de concentración, planta de pellet de CAP y sitio control. En Huasco ciudad su concentración estuvo bajo el límite de detección de la técnica. Para el caso de Cu, la mayor concentración se registró en sitio control y en las cercanías de la planta de pellet de CAP, seguida en orden decreciente Huasco sur camino costero y finalmente Huasco ciudad. Para el elemento Zn, la mayor concentración se registró en sitio control, seguido en orden decreciente por Huasco ciudad, planta de pellet de CAP y finalmente Huasco sur camino costero.

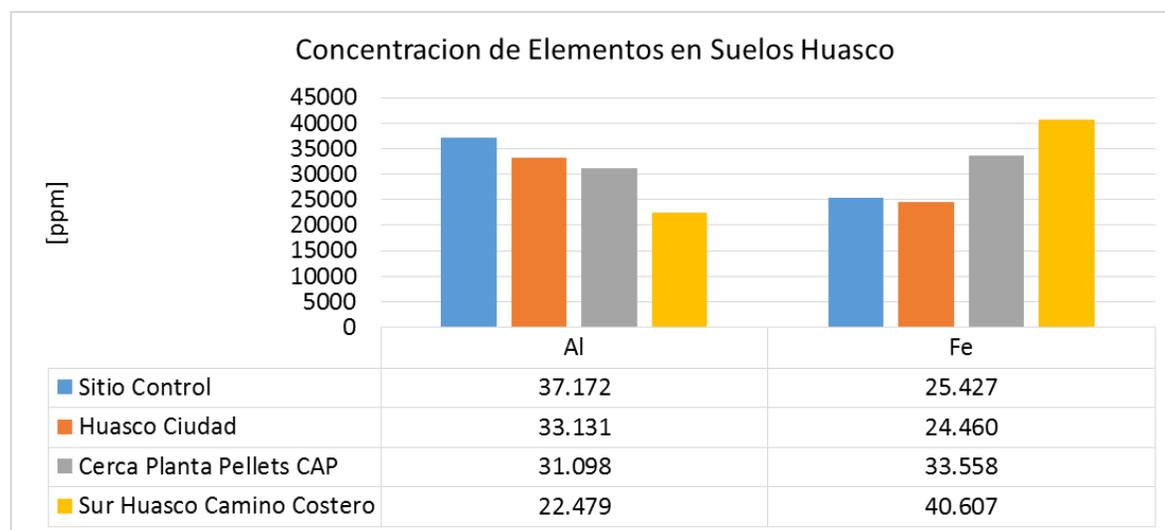
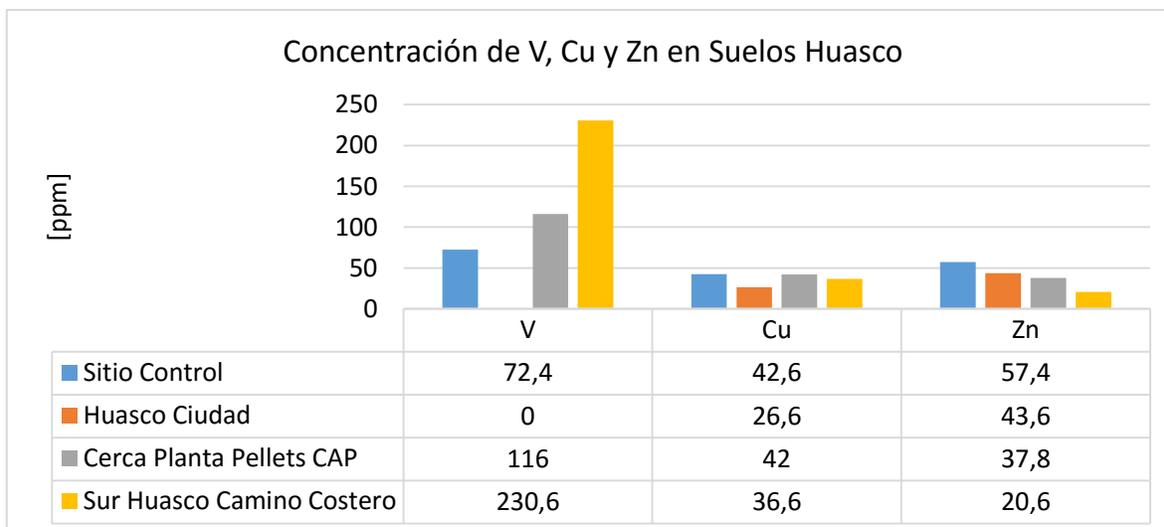


Figura 114. Concentración de los elementos Al y Fe en suelos de la zona de Huasco en la Región de Atacama.



*Figura 115. Concentración de los elementos V, Cu y Zn en suelos de la zona de Huasco en la Región de Atacama.*

La figura 116, muestra la concentración de los elementos Mn, Sr, Zr y Ba en muestras de suelos tomadas en la zona de Huasco en la Región de Atacama. Para el elemento Mn, se puede describir, que la mayor concentración se registró en el sitio control seguido en orden decreciente por Huasco ciudad, planta de pellet de CAP y finalmente Huasco sur camino costero. Para el elemento Sr, la mayor concentración se registró en Huasco sur camino costero, seguido en orden decreciente por planta de pellet de CAP, Huasco ciudad y finalmente sitio control. Para el elemento Zr, la mayor concentración se registró en las cercanías de la panta de pellet de CAP, seguida en orden decreciente por Huasco ciudad, sitio control y finalmente Huasco sur camino costero. Para el lento Ba, la mayor concentración se registró en Huasco ciudad seguido en orden decreciente por el sitio control y finalmente con concentraciones similares planta de pellet de CAP y Huasco sur camino costero.

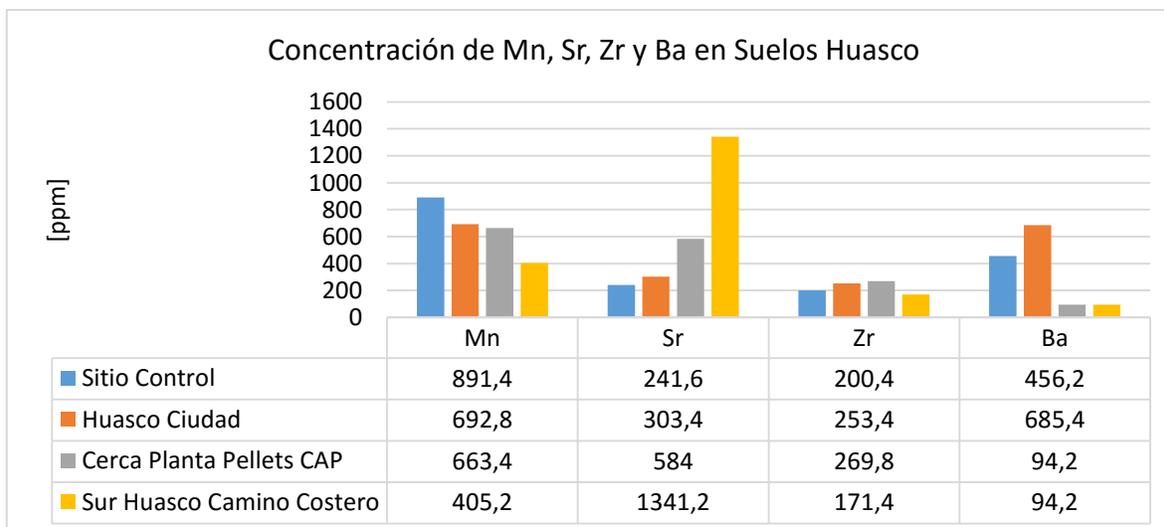


Figura 116. Concentración de los elementos Mn, Sr, Zr y Ba en suelos de la zona de Huasco en la Región de Atacama.

La figura 117, muestra la concentración de los elementos P, S y Ti en muestras de suelos tomadas en la zona de Huasco en la Región de Atacama. Para el elemento P, la mayor concentración se registró en Huasco ciudad, seguido en orden decreciente de concentración, Huasco sur camino costero, planta de pellets de CAP y sitio control. Para el elemento S, la mayor concentración se registró en el sitio control, seguido en orden decreciente de concentración por Huasco sur camino costero, planta de pellet de CAP y finalmente por Huasco ciudad. Para el elemento Ti, la mayor concentración se registró en las cercanías de la planta de pellet de CAP, seguido en orden decreciente de concentración por Huasco ciudad, sitio de control y finalmente Huasco sur camino costero.

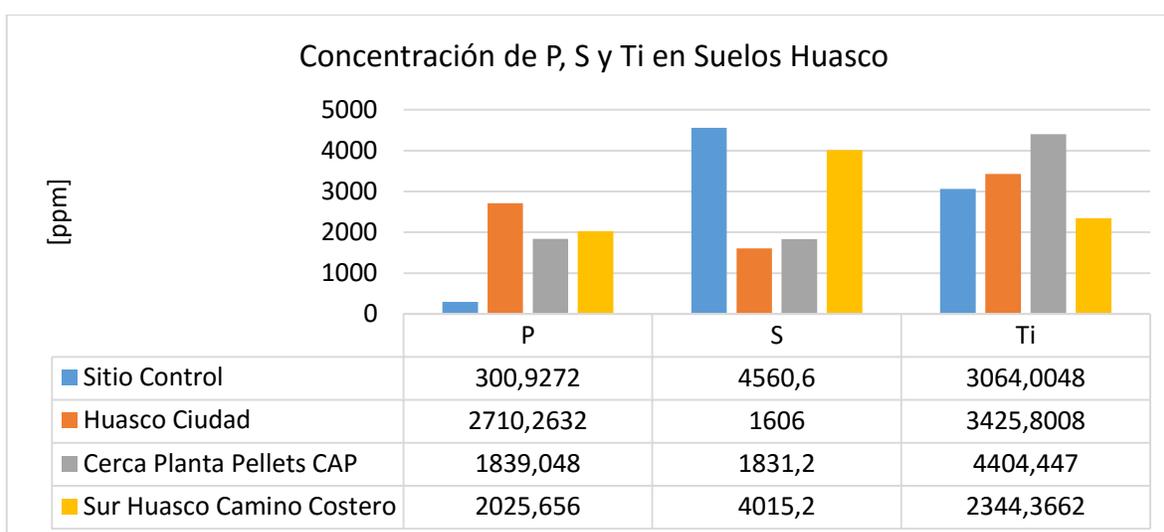


Figura 117. Concentración de los elementos P, S, y Ti en suelos de la zona de Huasco en la Región de Atacama.

### V.2.5.2 Comparación con normativa

En la tabla siguiente (tabla 5.18), se presentan los valores de concentración en suelos para los elementos Cu, Zn, As y su comparación con la norma chilena (Criterios de calidad de suelos agrícolas, SAG, Chile, 2005) y la norma de canadiense (Guía de calidad de suelos para la protección del medioambiente y la salud humana, Canadá, 2008). Se puede mencionar que ningún elemento (por sobre el límite de detección) se encontró excedido sobre alguna de las normas. El contenido de Cu, Zn y As estudiados en las muestras de suelo en la zona de Huasco, no se encontró excedido sobre las normas.

Tabla 5.18. Comparación de la concentración en suelos de elementos (ppm) con norma chilena y canadiense. Donde <LD=Bajo el límite de detección.

[mg/Kg]	Sitio Control	Huasco Ciudad	Cerca Planta Pellets CAP	Sur de Huasco Camino Costero	Norma Chile <sup>1</sup>	Norma Canadá <sup>2</sup>
Cu	43	27	42	37	100	63
Zn	57	44	38	21	120	200
As	9	<LD	<LD	<LD	12,5	12

<sup>1</sup> DS N°3 (2012), del Ministerio del Medio Ambiente y DS N° 4 (2009), del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. <http://bcn.cl/1wsr0> y <http://bcn.cl/1uzdu>

<sup>2</sup> Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME): Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. [http://www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/](http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/)

### V.2.5.3 Cálculo de los Factores de Enriquecimiento

Se realizaron cálculos para saber si los distintos elementos encontrados en los suelos de la zona de Huasco se encontraban enriquecidos. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.19.

Tabla 5.19 Factores de enriquecimiento para distintos elementos en suelos de Huasco, en la Región de Atacama.

	Fe	Cu	V	As	Zn
Huasco	1,24	1,22	-	-	1,57
Sitio Control	1,14	1,74	1,66	<b>10,58</b>	1,85
Cerca Planta Pellet	1,81	<b>2,05</b>	<b>2,66</b>	-	1,45
Sur Huasco Camino Costero	<b>3,02</b>	<b>2,48</b>	<b>5,30</b>	-	1,10

El grado de enriquecimiento de los elementos en el suelo está dado por el siguiente detalle:

FE <2: Deficiencia o mínimo de enriquecimiento

FE ~ 2- 5: Moderadamente enriquecido

FE ~ 5-20: Significativamente enriquecido

FE ~ 20-40: Alto enriquecimiento

FE > 40: Extremadamente enriquecido

Para el elemento Fe, este solo se encontró moderadamente enriquecido en Huasco sur camino costero. Para el elemento Cu, solo se encontró enriquecido en las cercanías de la planta de pellet de CAP y Huasco sur camino costero, pero en un grado moderado. Vanadio se encontró moderadamente enriquecido en las cercanías de la planta de pellet de CAP, mientras que en Huasco sur (camino costero) se encontró significativamente enriquecido. El elemento As se encontró significativamente enriquecido en el Sitio Control. Finalmente Zn no se encontró enriquecido en ninguno de los sitios estudiados.

En la figura 118 se muestra una comparación en el grado de enriquecimiento para distintos elementos en los suelos analizados. De la figura se puede inferir que los elementos Cu y As se encuentra en grado mucho mayor de enriquecimiento en los suelos de la zona impactada por el aluvión de marzo 2015, que en la zona de Huasco.

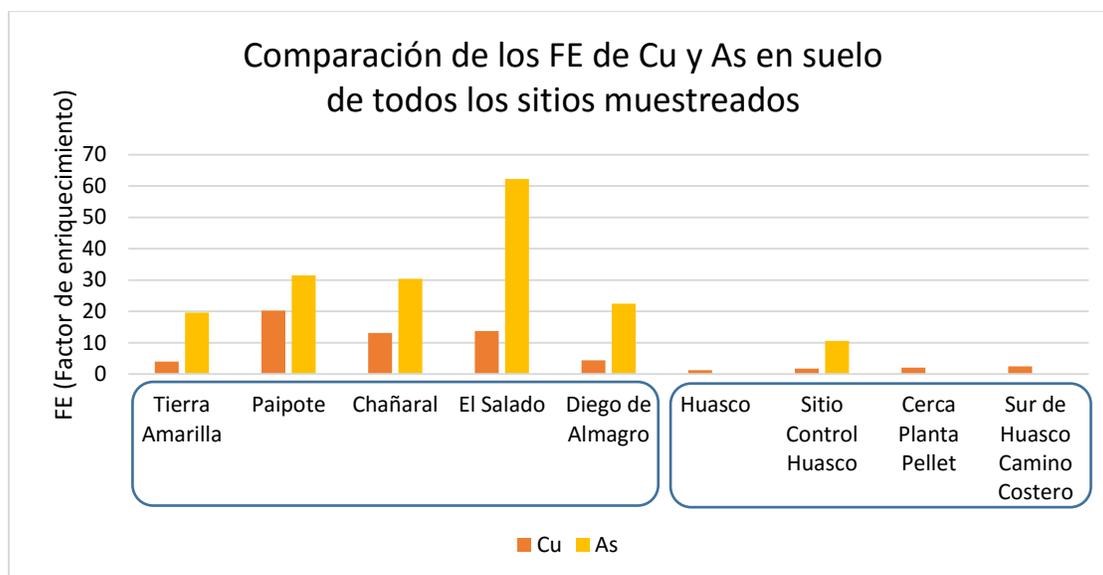


Figura 118. Comparación de los factores de enriquecimiento para los elementos Cu y As de todos los suelos monitoreados en el proyecto.

En la figura 119, se presenta la comparación para el grado de enriquecimiento del elemento Fe, V y Zn de todos los suelos monitoreados en la región de Atacama durante la ejecución de este proyecto. Del Fe se puede inferir, que a pesar de ser considerado un

elemento de origen crustal, se encuentra algo más enriquecido en las cercanías de la planta de pellet de CAP y en Huasco sur camino costero, dando evidencia del impacto que podrían estar generando las actividades industriales asociadas a la industria del hierro.

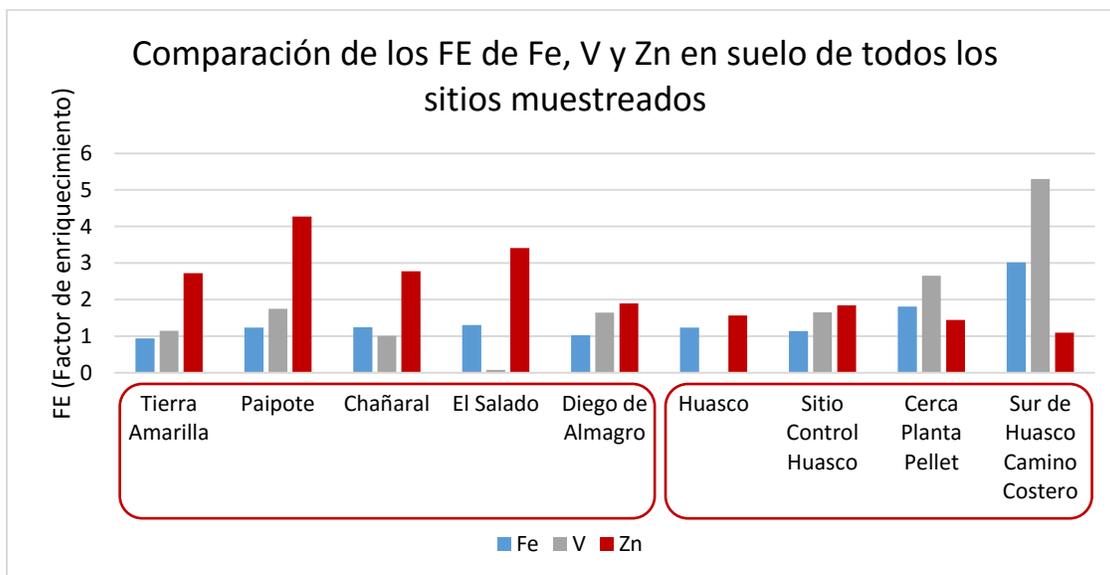


Figura 119. Comparación de los factores de enriquecimiento para el elemento Fe, V y Zn de todos los suelos monitoreados en el proyecto.

Respecto del Zn, los factores de enriquecimiento son mayores en los lugares impactados por el aluvión de marzo del 2015, en comparación a la zona de Huasco. Finalmente el V se observa más enriquecido en el monitoreo realizado en la zona de Huasco, en específico, cercano a la Planta de Pellet y al Sur de la ciudad, por el camino costero, muy probablemente relacionado con el enriquecimiento de Fe asociado a la actividad industrial de la zona de estudio.

## V.3 EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PRESENCIA DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA REGIÓN DE ATACAMA; FLUJO, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y pH.

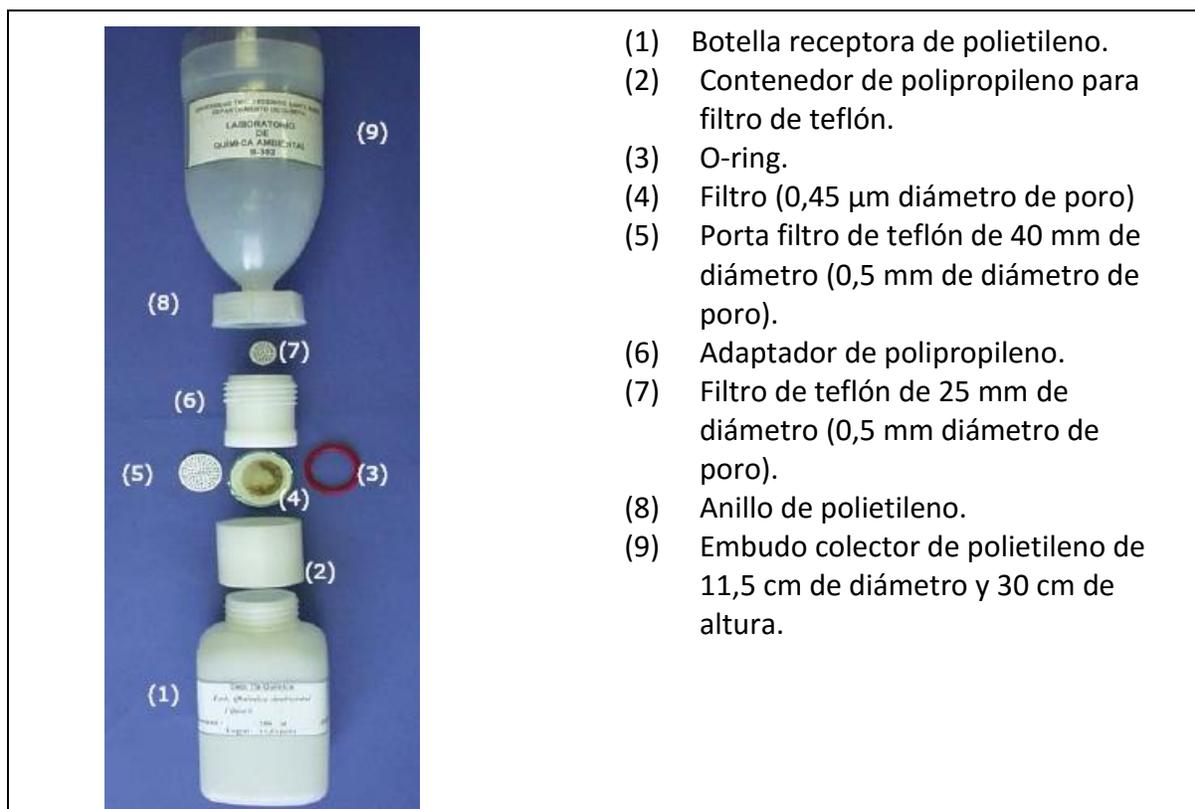
### V.3.1 Metodología

#### V.3.1.1. Instalación de los colectores de deposición total (CPDT) en terreno

##### Descripción del colector

Los colectores pasivos de deposición total (CPDT) utilizados son del tipo Forschungszentrum Jülich de procedencia alemana, modificados en el Laboratorio de Química Ambiental de la UTFSM, los cuales cumplen con especificaciones del “National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network” (NADP/NTN), USA.

Poseen las siguientes características:



- (1) Botella receptora de polietileno.
- (2) Contenedor de polipropileno para filtro de teflón.
- (3) O-ring.
- (4) Filtro (0,45  $\mu\text{m}$  diámetro de poro)
- (5) Porta filtro de teflón de 40 mm de diámetro (0,5 mm de diámetro de poro).
- (6) Adaptador de polipropileno.
- (7) Filtro de teflón de 25 mm de diámetro (0,5 mm diámetro de poro).
- (8) Anillo de polietileno.
- (9) Embudo colector de polietileno de 11,5 cm de diámetro y 30 cm de altura.

### **Preparación lavado del colector**

Para obtener óptimos resultados en los análisis de las muestras se debió seguir un estricto protocolo de preparación y lavado de los colectores CPDT antes de ser puestos en las respectivas estaciones, que se describe a continuación:

Todas las partes del colector deben ser lavadas exhaustivamente; para ello fueron dejadas en una solución de detergente alcalino libre de fosfato al 2% (Extran, Merck) por al menos 24 horas, posteriormente se enjuagaron con agua potable de manera abundante, y luego con agua milli-Q de calidad HPLC. Finalmente, el embudo colector se lavó con n-hexano (calidad HPLC, Fisher Sci.) y el resto de las partes con acetona (calidad HPLC, Fisher Sci.). El secado se realizó bajo campana de extracción.

En paralelo, los filtros fueron acondicionados por 24 horas en una sala climatizada, a 25 °C temperatura y 50% de humedad relativa. Finalizado este período, cada filtro fue pesado en una balanza analítica digital de 0,01 mg de incerteza, que cuenta con eliminador de estática para evitar errores asociados a este fenómeno durante el pesado.

Finalizado este proceso, los colectores fueron debidamente ensamblados, sellados con lámina plástica e identificados, indicando el número de filtro, periodo de monitoreo y estación en la que debían ser ubicados.

Se protegió el colector con film plástico para evitar su contaminación durante su traslado hasta su destino e instalación en la estación de monitoreo correspondiente.

### **Instalación del colector**

En cada estación de monitoreo seleccionada, detalladas en el capítulo IV de este informe, se instalaron 2 colectores pasivos de deposición total (CPDT), uno equipado con un filtro de poliamida para el análisis de iones, pH y conductividad eléctrica y el otro equipado con un filtro de cuarzo para la determinación de elementos en el material particulado sedimentable.

Los colectores se instalan a una altura de 2m, sobre un soporte especialmente diseñado, que permanece unido a alguna estructura fija del sitio seleccionado, tipo poste, asegurando que su contorno esté despejado de otras construcciones o vegetación, en un radio de por lo menos 20 m.

### **Retiro del colector**

Transcurridos 7 días, los colectores fueron cambiados por otros colectores limpios, para iniciar un nuevo período de 7 días de recolección de MPS.

El colector conteniendo la muestra de MPS semanal fue debidamente cubierto con film plástico, para evitar pérdida del material recolectado y/o contaminación con otros agentes, durante su transporte a los laboratorios del Centro de Tecnologías Ambientales.

### **V.3.1.2 Determinación de pH, conductividad eléctrica e iones en MPS**

#### **Recepción del colector**

Una vez llegado el colector de MPS (o CDPT) al laboratorio, se procedió a realizar una inspección visual del estado del mismo, a registrar su ingreso y almacenarlo hasta su análisis.

#### **Lavado del embudo del colector y separación del filtro conteniendo la muestra de MPS**

Sin separar ningún componente del colector, se procedió a lavar el embudo cuidadosamente para arrastrar todo el material particulado sedimentable que se encontraba adherido en sus paredes internas.

Para ello se utilizó 200 ml de agua MilliQ, la cual se aplicó cuidadosamente en forma de espiral, comenzando por la parte alta del embudo colector, hasta remover y arrastrar todo el material presente hacia el filtro, ubicado en su base.

Una vez escurrido todo el líquido del filtro, se separaron las partes que componen el CDPT; el embudo colector, las coplas de unión y el anillo porta filtro, desde donde se retiró cuidadosamente el filtro de cuarzo con una pinza de teflón y se ubicó en una placa Petri plástica, debidamente identificada.

El agua de lavado se recolectó y congeló a  $-20^{\circ}\text{C}$  en botella plástica hermética, debidamente identificada, para su posterior utilización en la etapa de extracción mediante microondas.

Cuando se encontró agua de lluvia en el colector, se midió su volumen, y sin previo tratamiento, se le midió su pH y conductividad. Luego se prosiguió con el lavado del colector, según se detalló en anteriormente.

#### **Gravimetría del MPS**

La placa Petri que conteniente el filtro de cuarzo con la muestra de MPS se llevó a un ambiente controlado, a  $25^{\circ}\text{C}$  y 50% de humedad relativa, para su acondicionamiento y ambientación. Se mantuvo bajo estas condiciones por 24 horas, con el fin de secar el filtro al aire e igualar las condiciones bajo las cuales el filtro limpio fue pesado anteriormente y así calcular de manera gravimétrica el MPS recolectado.

El filtro se pesó en una balanza analítica marca Sartorius, mod. BP211D, de 0,01 mg de incerteza, equipada con sistemas de eliminación de estática, obteniendo así, por diferencia gravimétrica con el peso inicial del filtro, la masa del material particulado insoluble (MPS).

Previo a las pesadas de los filtros, la balanza fue rutinariamente sometida a una verificación de sus valores, utilizando masas certificadas de 10 y 100 mg.

#### **Extracción mediante microondas.**

Una vez pesado el filtro de poliamida, destinado a la medición de iones, pH y conductividad eléctrica, se colocó en un vaso de precipitado de 250 mL junto a los 200 ml de agua de lavado del mismo filtro (obtenido y reservado durante el lavado del colector) y se somete a una extracción mediante la aplicación de calor por microondas, hasta ebullición, lo que ocurre en 10 minutos aproximadamente. Finalmente la muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente.

#### **Medición de pH y conductividad.**

Una vez extraído mediante microondas el filtro de poliamida y alcanzando el extracto la temperatura ambiente, se midió pH y conductividad eléctrica, utilizando el equipo Spera Scientific Benchtop Meter, mod. 860033, USA. La calibración del pHímetro se realizó con buffer certificados pH 4,01; 7,01 y 10,01 y el conductímetro con solución certificada de conductividad 1.413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esta operación se realizó cada vez que se necesitó medir una batería de muestras.

#### **Filtración y enrasado de extractos para análisis de iones**

Posterior a la medición de pH y conductividad eléctrica, se procedió a filtrar el material particulado presente en el extracto. Para ello se realizó una ultrafiltración a vacío, utilizando sistemas especialmente diseñados para asegurar la calidad analítica del proceso, evitando los procesos de contaminación intra-laboratorio y los efectos de memoria. Se utilizaron filtros de jeringa (Nylon) de 0,22  $\mu\text{m}$ .

#### **Análisis de iones mediante cromatografía.**

**( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ).**

La determinación y cuantificación de los compuestos inorgánicos (iones) presentes en el extracto filtrado, se realizó en un cromatógrafo iónico 850 Professional IC de Metrohm, Suiza. Para la identificación y cuantificación de los diferentes iones, se utilizó curva de calibrado elaborada con estándares marca TraceCert de Fluka, especiales para cromatografía iónica.

### V.3.2 Resultados del Flujo de MPS en la Campaña de Monitoreo de Abril-Diciembre 2015

La tabla 5.20 señala los valores de flujo de material particulado expresados en  $[g/(m^2 \times \text{mes})]$  para Material Particulado Sedimentable (MPS) registrados en la Región de Atacama para el periodo comprendido entre mes de Abril y Diciembre del año 2015. En la tabla se observa que en El Salado se presentó el mayor flujo promedio de MPS. Adicionalmente en la figura 120, se puede observar que durante las 2 primeras semanas de monitoreo se observaron los máximos de flujo de MPS, es decir, inmediatamente posterior al aluvión del 25 marzo del año 2015, dando cuenta de la gran cantidad de MPS que estaba presente en la atmosfera de la Región de Atacama. Adicionalmente, se puede observar el decaimiento a lo largo del tiempo del flujo de MPS en la zona norte Región de Atacama.

*Tabla 5.20: Flujo promedio de Material Particulado Sedimentable (MPS) obtenidas en cada estación de monitoreo en la Región de Atacama para los siguientes periodos, semana 1 semana 2 y el promedio de las semanas 3 a 35 en el año 2015.*

Flujo material particulado Deposición Seca $[g/(m^2 \times \text{mes})]$				
Estación	Semana 1	Semana 2	Promedio Semana 3 a 35	Desviación Estándar semana 3 a 35
Paipote	79,78	35,03	8,63	3,53
Tierra Amarilla	104,84	22,43	8,48	3,02
El Salado	120,11	23,65	9,28	4,32
Diego de Almagro	97,51	22,00	8,76	3,24
Chañaral Hospital	110,74	21,23	8,30	3,11
Chañaral Aeropuerto	103,52	22,76	8,39	3,62

La figura 120 muestra los valores de flujos de MPS para la semana 1, semana 2 y el promedio comprendido entre las semanas 3 a 35 en la campaña de monitoreo de Abril-Diciembre 2015 en la Región de Atacama. En ella se puede apreciar la gran diferencia en la cantidad de MPS entre las semanas 1, 2 y el resto de las semanas de la campaña. La figura 121 representa la variación temporal del MPS en la región, donde de igual forma se puede apreciar lo descrito.

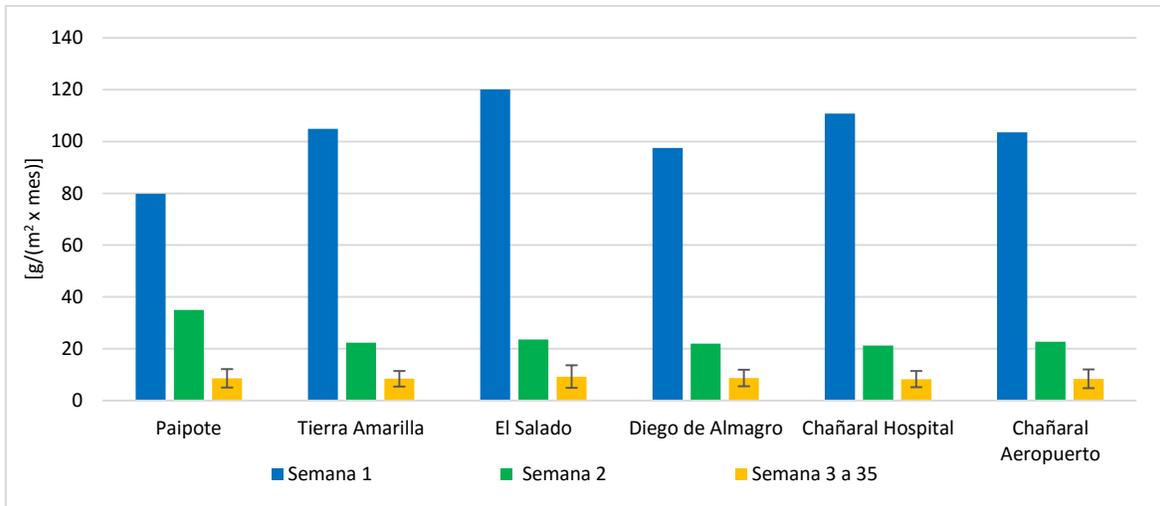


Figura 120. Valores de flujo promedio de MPS en la Región de Atacama, en distintos momentos de la campaña del año 2015.

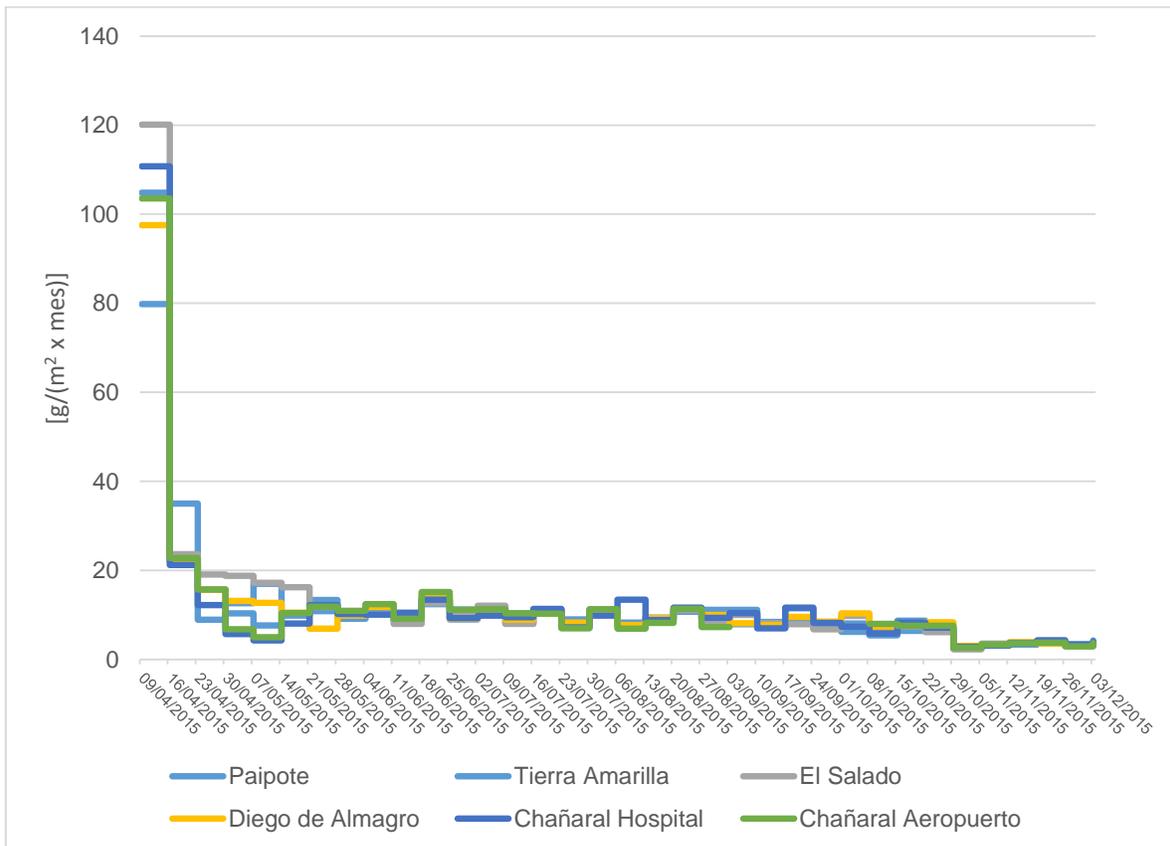


Figura 121. Variación temporal del flujo de MPS en la Región de Atacama. Campaña año 2015

Con el fin de evaluar si había diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de MPS registrado en la semana 1, semana 2 y el periodo comprendido entre las semanas 3 y 35, los datos obtenidos fueron sometidos al test paramétrico de Rangos Múltiples y al test no paramétrico de Kruskal-Wallis, dando cuenta que hay diferencias estadísticamente

significativas en la deposición de MPS para las semanas 1 y 2 en todas las estaciones estudiadas y es 12 y 3 veces mayor respectivamente (95% de probabilidad) que el resto de las semanas de muestreo (semana 3 a 35), indicando el alto impacto desde el punto de vista de MPS que tuvieron los aluviones del 25 de Marzo de 2015.

La figura 122, muestra el flujo de MPS en las estaciones instaladas en los lugares impactados por los aluviones registrados el 25 de marzo del año 2015 y su comparación con la norma emitida por Ministerio de Agricultura a través del Decreto Exento N° 4 del año 1992, que estableció un límite de 150 [mg/(m<sup>2</sup> x día)] de MPS para el sector de Huasco.

Se puede observar claramente que la norma se encontraba a lo menos 18 veces excedida en la semana 1; 5 veces en la semana 2 y el resto del periodo de monitoreo se encontró aproximadamente excedida 2 veces.

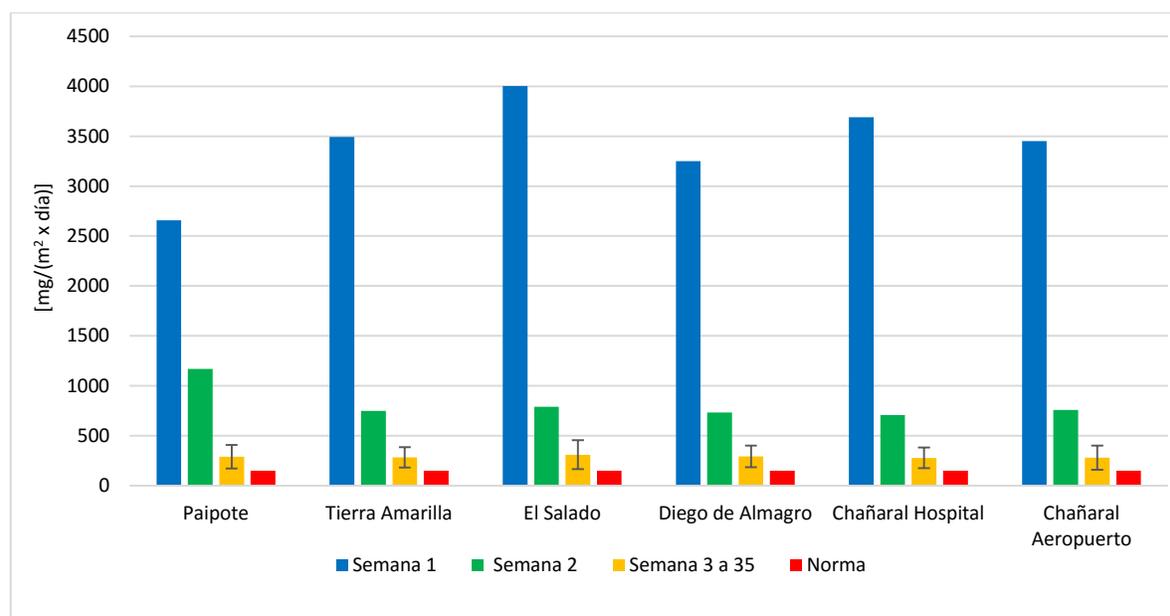


Figura 122. Flujo de MPS en las estaciones instaladas en la zona afectada por el aluvión de marzo 2015.

La tabla 5.21 muestra la comparación de registros de MPS de las zonas impactadas por los aluviones del 25 de Marzo que afectaron a la Región de Atacama y otros lugares del mundo. Se puede observar claramente que las zonas impactadas por el aluvión durante las 2 primeras semanas de la campaña presentaron cantidades de MPS mayores a los registrados en otros lugares del mundo. El promedio de MPS depositado entre las semanas 3 y 35 de la campaña, presenta valores comprables a los registrados en la tabla, es decir, en una zona urbana de Cartagena en España, en Jordania, en Jamaica o en El Cairo.

Tabla 5.21 Comparación de registros de MPS de las zonas impactadas por los aluviones del 25 de Marzo que afectaron a la Región de Atacama y otros lugares del mundo.

MPS en mg/(m <sup>2</sup> x día)											
Estación	Paipote	Tierra Amarilla	El Salado	Diego de Almagro	Chañaral Hospital	Chañaral Aeropuerto	Cartagena, España, Zona Industrial	Cartagena España Zona Urbana	Amman, Jordania	Jamaica	El Cairo
Semana 1	2659,3	3494,7	4003,7	3250,3	3691,3	3450,7	787,5	331	163,6	198	475
Semana 2	1167,5	747,5	788,4	733,3	707,8	758,8	787,5	331	163,6	198	475
Semana 3 a 35	287,7	282,7	309,3	292,0	276,7	279,7	787,5	331	163,6	198	475

### V.3.3 Determinación de la Conductividad Eléctrica (CE) en MPS en la Campaña de Monitoreo de Abril-Diciembre 2015

La conductividad en solución acuosa se relaciona con la presencia de iones (aniones y cationes) capaces de transportar cargas eléctricas, por lo tanto, cuanto mayor sea la concentración de iones presentes en solución, mayor será la conductividad (en un cierto rango de concentraciones). Una medida de la cantidad de contaminantes en la forma de iones de una determinada zona podrá representar la conductividad de las muestras de deposición atmosférica. Por ejemplo, la conductividad del agua pura (agua desionizada) presenta un valor de 0,055  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mientras que la conductividad del agua de mar es de 52  $\text{mS}/\text{cm}$ . La tabla 5.22 señala los valores de conductividad promedio en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , desviación estándar y valores mínimos-máximos obtenidos de las muestras de deposición atmosférica de las estaciones de monitoreo evaluadas durante el período Abril-Diciembre del 2015.

Tabla 5.22: Valores promedio de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) obtenidos en las muestras de deposición atmosférica durante el período de Abril-Diciembre 2015 en la Región de Atacama.

Estación	CE en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )			
	Semana 1	Semana 2	Promedio Semana 3 a 35	Desviación Estándar Semana 3 a 35
Paipote	21,12	29,90	34,19	12,97
Tierra Amarilla	44,70	58,70	32,99	25,95
El Salado	43,10	15,77	57,94	35,86
Diego de Almagro	12,65	35,90	33,82	16,76
Chañaral Hospital	79,20	63,10	33,89	18,31
Chañaral Aeropuerto	155,60	75,80	47,61	35,56

Los valores de CE informados en la tabla 5.22, demuestran que la deposición atmosférica en la Región de Atacama es abundante en compuestos de naturaleza aniónica y catiónica, que podría provenir de fuentes antropogénicas y/o naturales de la Región. Al comparar los valores obtenidos en los 3 periodos de tiempo analizados, se puede observar que la estación de Chañaral Aeropuerto fue la que presentó la mayor carga iónica en el MPS en las semanas 1 y 2, seguido por la estación de Chañaral Hospital en el mismo periodo de tiempo. Las estaciones de Diego de Almagro y Paipote registraron los menores valores de

CE en la semana 1 y 2 respectivamente de la campaña. La estación de monitoreo ubicada en la localidad de El Salado presentó la mayor CE en el periodo comprendido entre las semanas 3 y 35 de campaña, probablemente debido a las características propias del suelo, el cual presenta una alta salinidad, que al ser resuspendido por acción del viento, es capaz de depositarse en los colectores de CPDT, entregando mayores valores de conductividad.

En la figura 123 se puede observar la variación temporal de la CE en las deposiciones atmosféricas recolectadas en las distintas estaciones de monitoreo.

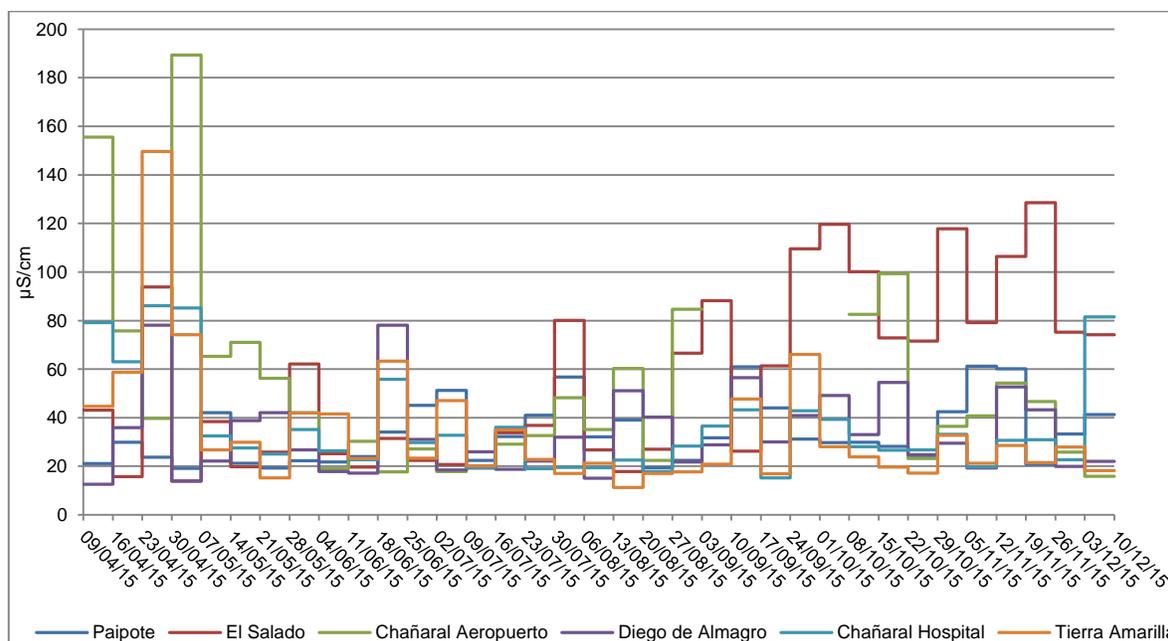


Figura 123: Variación temporal de la conductividad eléctrica (CE) en MPS campaña 2015 en la Región de Atacama.

En relación a la variación temporal de la CE, se puede observar en la figura 123 que la estación de monitoreo ubicada en Chañaral Aeropuerto presentó los mayores valores de CE durante las primeras 4 semanas de la campaña, así mismo, la estación Tierra Amarilla, durante las mismas semanas también presentó máximos en la CE. También se puede observar que a partir del día 24 de Septiembre se presenta las mayores CE de la región en la localidad de El Salado, con excepción de los días comprendidos entre 15 y 22 de Octubre, semana en la cual la mayor CE se presentó en la estación de Chañaral Aeropuerto. La mayor CE registrada en El Salado probablemente se deba al carácter salino de los suelos de la localidad.

Se realizó análisis estadístico sobre los datos obtenidos de CE. De acuerdo al test no paramétrico de Kruskal-Wallis, la CE en MPS para las 35 semanas en todas las estaciones estudiadas no mostró diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, el análisis

entre estaciones, arrojó diferencia significativa entre las estaciones de Tierra Amarilla (34,06  $\mu\text{S/cm}$ ) y El Salado (56,31  $\mu\text{S/cm}$ ) (95% de probabilidad).

### V.3.4 Determinación del pH en MPS en la Campaña de Monitoreo de Abril-Diciembre 2015

En la tabla 5.23 se señalan los promedios de las mediciones de pH, su desviación estándar sus valores mínimos y máximos para las muestras de deposición atmosférica correspondientes a las estaciones de monitoreo estudiadas durante el periodo comprendido entre los meses de Abril y Diciembre del año 2015.

*Tabla 5.23: Valores promedio de pH obtenidos en las muestras de deposición atmosférica durante el período de Abril-Diciembre 2015 en la Región de Atacama.*

	Semana 1	Semana 2	Promedio semanas 3 a 35	Desv. Estd. semana 3 a 35
<b>Paipote</b>	5,19	5,61	6,00	0,98
<b>Tierra Amarilla</b>	4,92	5,03	6,05	1,05
<b>El Salado</b>	6,02	5,12	5,94	0,87
<b>Diego de Almagro</b>	5,36	4,97	5,92	1,04
<b>Chañaral Hospital</b>	5,74	4,81	6,09	1,08
<b>Chañaral Aeropuerto</b>	5,78	5,85	6,05	1,05

En la tabla 5.23 se puede observar que el aluvión registrado el 25 de marzo del 2015 ejerció influencia sobre el pH de las deposiciones atmosféricas. Las estaciones de Paipote, Tierra Amarilla y Diego de Almagro en la semana 1, y las estaciones de Tierra Amarilla, El Salado, Diego de Almagro y Chañaral Hospital, presentaron valores de pH por debajo al valor utilizado como referencia por la EPA para determinar la presencia de deposiciones ácida, es decir, un  $\text{pH} < 5,6$ . El valor promedio registrado en el resto del periodo de monitoreo se encontró por encima al valor de pH referencial.

### V.3.5 RESULTADOS DEL FLUJO DE MPS EN CAMPAÑA DE MONITOREO HUASCO.

En la tabla 5.24 se presentan los flujos promedio de MPS en la zona en estudio de la Región de Atacama. Se puede observar que el flujo de MPS en la zona de Huasco-Vallenar es menor que en el resto de las zonas estudiadas en la Región de Atacama. La diferencia observada en la cantidad de MPS entre las estaciones de Huasco y la estación "sitio control" ubicada en el camino a Vallenar, se podría deber a que los CPDT, se encontraban instalados en una parcela cercana a un camino rural no pavimentado. El tránsito vehicular podría haber impactado los CPDT al resuspender MPS depositado en el camino. Adicional a lo anterior habría que considerar las labores propias de la parcela como son el movimiento de maquinaria agrícola y trabajo del suelo.

Tabla 5.24: Flujo promedio de Material Particulado Sedimentable (MPS) obtenidas en cada estación de monitoreo en la zona de Huasco, Región de Atacama.

Flujo material particulado sedimentable en deposición seca [g/(m <sup>2</sup> x mes)] en la Región de Atacama				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Huasco Bomberos	0,65	0,11	0,53	0,80
Parcela Control Vallenar	1,17	0,15	0,96	1,29

La figura 124 muestra el flujo promedio de MPS en Huasco y Sitio Control y su comparación con la norma emitida por Ministerio de Agricultura a través del Decreto Exento N° 4 del año 1992, que estableció un límite de 150 [mg/(m<sup>2</sup> x día)] de MPS para el sector de Huasco.

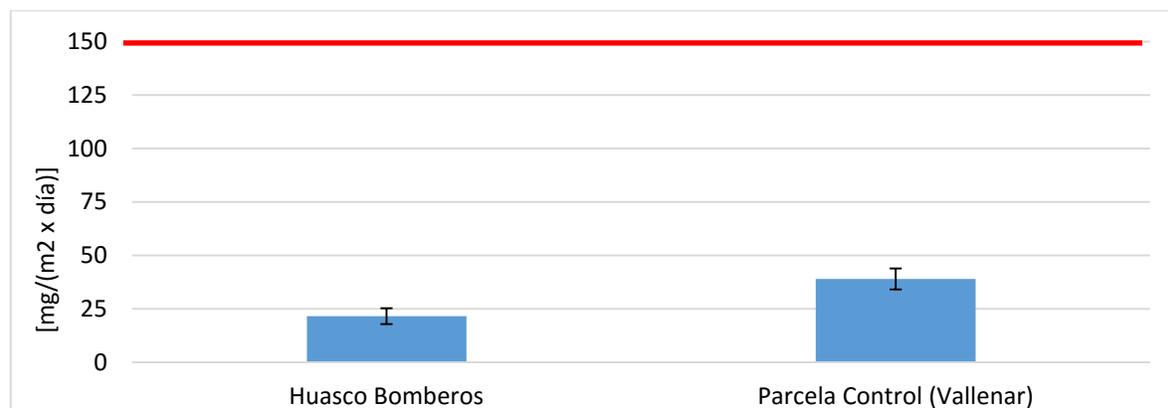


Figura 124. Flujo promedio de Material Particulado Sedimentable (MPS) obtenidas en cada estación de monitoreo instaladas en las zonas impactadas por el en la en la Región de Atacama y su comparación con la Norma MPS Huasco de 150 [mg/(m<sup>2</sup> x día)] (en rojo) decreto exento 4 del Minagri 1992.

### V.3.6 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) EN MPS CAMPAÑA DE MONITOREO HUASCO

En la tabla 5.25, se presentan los valores promedios de CE para que la zona de Huasco-Vallenar en la Región de Atacama. En ella se puede observar que el sitio control presentó un valor promedio mayor que la estación de Huasco. Esto es además, acorde a la mayor deposición recolectada también en este sitio de monitoreo.

Tabla 5.25. Valores promedio de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) obtenidos en las muestras de deposición atmosférica en la zona de Huasco Vallenar en la Región de Atacama.

	Promedio	Desviación Estándar	Mín	Máx
Huasco	154,63	24,13	125,10	181,70
Sitio control	168,85	18,71	145,11	187,59

### V.3.7 DETERMINACIÓN DEL pH EN MPS CAMPAÑA DE MONITOREO HUASCO.

En la tabla 5.26 se señalan los promedios de las mediciones de pH, su desviación estándar sus valores mínimos y máximos de las muestras de deposición atmosférica correspondientes a las estaciones de monitoreo de Huasco y Sitio control

Tabla 5.26. Valores promedio de pH en las muestras de deposición atmosférica en la zona de Huasco en la Región de Atacama.

	Promedio	Desviación Estándar	Mín	Máx
Huasco	7,15	0,43	6,57	7,59
Sitio control	7,32	0,23	7,05	7,62

El pH observado en la zona de Huasco se encuentra sobre el valor referencial de la EPA de 5,6, para deposiciones ácidas. Por lo tanto, se podría indicar que durante el periodo de monitoreo no se presentaron, en la zona en estudio, deposiciones ácidas. El carácter ligeramente básico del MPS se debería, probablemente, a la presencia de especies químicas, emitidas por fuentes industriales de la zona, como por ejemplo cal por la planta CAP, que podría incluso estar neutralizando algún tipo de deposición ácida si la hubiera, aspecto que debiera ser estudiado en el futuro.

## V.4 EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PRESENCIA DE IONES EN LA REGIÓN DE ATACAMA

### V.4.1 Metodología

#### V.4.1.1 Análisis de Iones en MPS

La metodología del análisis de iones en MPS ha sido explicada previamente en el punto V.3.1 del presente informe (pág. 133).

#### v.4.1.2 Análisis de Iones en Suelos

##### **Toma de muestras**

En los sitios de interés para el presente estudio, detallados en el capítulo IV de este informe, se procedió a tomar muestras de suelo. Para ello se demarcó un área de 1 m<sup>2</sup> y en ella se recolectó los primeros 5 cm de suelo, separando previamente restos de vegetales que se pudiesen encontrar en la superficie.

Se utilizó sólo material plástico, para evitar contaminación por metales en la muestra recolectada.

##### **Secado y Tamizado**

Una vez en el laboratorio, las muestras de suelo fueron puestas en recipientes de vidrio borosilicato para posteriormente ser secadas en estufa con temperatura controlada a 40°C por 72 hrs. Posteriormente, las muestras se tamizaron utilizando un bastidor certificado, equipado con malla plástica de 2 mm. Las muestras se conservaron en botellas plásticas hasta su posterior análisis.

### **Extracción de las muestras**

Se pesaron 20 grs. de la muestra de suelo, se agregó 20 ml de agua Milli-Q como extractante y se agitó a 200 revoluciones por minuto durante 2 horas. Posteriormente se centrifugó a 5.000 revoluciones por minuto para separar las partículas del extracto. Finalmente se filtró el sobrenadante con filtros de jeringa (Nylon) de 0,22  $\mu\text{m}$  y la muestra se diluyó a una concentración adecuada de trabajo para el cromatógrafo iónico.

### **Análisis de las muestras mediante cromatografía iónica.**

La determinación y cuantificación de los compuestos inorgánicos (iones) se realizó en un cromatógrafo iónico 850 professional IC de Metrohm, Suiza. Para la identificación y cuantificación de los diferentes iones presentes en las muestras, se utilizó curva de calibrado elaborada con estándares marca TraceCert de Fluka, especiales para cromatografía iónica.

## **V.4.2 Determinación de Iones en MPS en la Campaña de Monitoreo de Abril-Diciembre 2015**

La tabla 5.27 muestra las concentraciones promedio de los aniones en MPS, durante la realización de la campaña de monitoreo en la Región de Atacama. De acuerdo a estos resultados se puede observar, en el caso de los aniones, que  $\text{Cl}^-$  presentó su mayor concentración en la localidad de El Salado, seguido en orden decreciente por la estación de Chañaral Aeropuerto, Chañaral Hospital, Diego de Almagro, Tierra Amarilla, y finalmente Paipote. En el caso de  $\text{NO}_3^-$ , la mayor concentración se registró en la estación de Tierra Amarilla, seguida en orden decreciente de concentración por las estaciones de Chañaral Hospital, El Salado, Chañaral Aeropuerto, y finalmente Paipote. En el caso de  $\text{SO}_4^{2-}$ , la mayor concentración se observó en la estación de El Salado, seguido de Tierra Amarilla, Chañaral Aeropuerto, Paipote, Diego de Almagro, y finalmente Chañaral Hospital. La mayor concentración de  $\text{Cl}^-$  registrada en la localidad de El Salado es congruente con las características salinas del suelo de la localidad mencionada.

El análisis estadístico para los datos de concentración de los aniones, mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis arrojó diferencia significativa en la concentración de  $\text{Cl}^-$  entre las estaciones de El Salado y Paipote, entre las estaciones de El Salado y la parcela de control ubicada en Vallenar, también se registró diferencia significativa entre la estación de El Salado y Tierra Amarilla. Para el caso del  $\text{NO}_3^-$  no presento diferencia significativa entre ninguna de las estaciones. Para el caso de  $\text{SO}_4^{2-}$  al igual que  $\text{NO}_3^-$  no presento diferencia significativa en la concentración entre las distintas estaciones de monitoreo.

**Tabla 5.27.** Concentración de los aniones mayoritarios en muestras de MPS medidos en la Campaña Monitoreo de la Región de Atacama.

Aniones Mayoritarios en el MPS ( $\mu\text{Eq/L}$ ).						
	$\text{Cl}^-$		$\text{NO}_3^-$		$\text{SO}_4^{2-}$	
Estación	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
Paipote	87,04	51,88	11,28	5,92	88,21	41,08
Tierra Amarilla	90,09	38,55	18,63	9,51	121,08	68,46
El Salado	669,55	333,74	14,81	6,96	148,67	40,98
Diego Almagro	117,86	35,66	13,26	6,34	69,97	37,53
Chañaral Hospital	145,73	68,32	14,86	6,23	65,60	21,38
Chañaral Aeropuerto	181,50	70,67	14,25	7,32	104,55	68,25

La tabla 5.28 muestran las concentraciones promedio de los cationes en MPS, durante la realización de la campaña de monitoreo en la Región de Atacama. De acuerdo a estos resultados se puede observar para el  $\text{Na}^+$ , que su mayor concentración se registró en la localidad de El Salado, seguida en orden decreciente de concentración por las estaciones de Chañaral Aeropuerto, Chañaral Hospital, Diego de Almagro y Tierra Amarilla. En el caso del catión  $\text{NH}_4^+$ , su mayor concentración se registró en la estación de Chañaral Aeropuerto, seguida en orden decreciente de concentración por las estaciones de El Salado, Tierra Amarilla Chañaral Hospital, Diego de Almagro y Paipote. La alta concentración observada para el ion amonio en Chañaral Aeropuerto, se debe a que el CPDT fue impactado por deposiciones de aves (observaciones de laboratorio), elevando puntualmente la concentración del ion, implicando un aumento en la concentración promedio. Para el ion  $\text{K}^+$ , su mayor concentración se registró en la localidad de El Salado, seguido en orden decreciente de concentración por Tierra Amarilla, Diego de Almagro, Paipote, Chañaral aeropuerto y finalmente Chañaral Hospital. En el caso del ion  $\text{Mg}^{2+}$  la mayor concentración se registró en la localidad de El Salado, seguido en orden

decreciente por la estación de Tierra Amarilla, Chañaral Aeropuerto, y finalmente las estaciones de Diego Almagro Chañaral Hospital y Paipote con una concentración similar. En el caso del ion  $\text{Ca}^{2+}$ , la mayor concentración se registró en la localidad de El Salado, seguido en orden decreciente por la estación de Paipote, Diego de Almagro, Tierra Amarilla, Chañaral Aeropuerto y finalmente la menor concentración se registró en la estación de Chañaral Hospital.

Tabla 5.28. Concentración de los aniones mayoritarios en muestras de MPS medidos en la Campaña Monitoreo de la Región de Atacama: Campaña Abril-Diciembre 2015.

Cationes Mayoritarios en el MPS ( $\mu\text{Eq/L}$ )										
Estación	$\text{Na}^+$		$\text{NH}_4^+$		$\text{K}^+$		$\text{Mg}^{2+}$		$\text{Ca}^{2+}$	
	Prom	Desv.Std	Prom.	Desv.Std	Prom.	Desv.Std	Prom.	Desv.Std	Prom.	Desv.Std
Paipote	62,88	36,28	5,33	1,43	9,05	5,52	33,11	13,31	300,92	217,56
Tierra Amarilla	74,04	39,08	6,72	3,74	14,74	10,55	56,07	45,53	209,96	71,84
El Salado	467,59	217,37	6,73	2,56	24,04	10,41	79,83	22,38	642,07	279,15
Diego Almagro	89,72	34,60	6,16	1,54	11,42	5,55	32,58	15,24	246,34	98,86
Chañaral Hospital	123,97	47,39	6,31	0,72	7,63	3,43	33,52	5,78	143,93	64,31
Chañaral Aeropuerto	151,30	51,90	18,40	33,97	8,57	5,97	43,89	15,98	189,92	75,13

El análisis estadístico para los datos de concentración de los cationes, mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, arrojó que el ion  $\text{Na}^+$  presentó diferencia significativa en su concentración entre las estaciones de El Salado y Paipote. Tanto para el ion  $\text{K}^+$ , como para  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{NH}_4^+$ , no presentaron diferencias significativas entre las distintas estaciones de monitoreo. Sin embargo, el ion  $\text{Ca}^{2+}$  presentó diferencias significativas entre las estaciones de Chañaral Hospital y El Salado.

## ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y JERARQUICO (DENDROGRAMA)

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es un método receptor cuyo objetivo es identificar grupos de fuentes, reduciendo un gran número de variables a un conjunto más pequeño de factores que mantienen la mayoría de la información (variabilidad) de la base de datos originales (P.K. Hopke, 1991). Esta herramienta de reconocimiento de patrones multivariado, se aplicó a las concentraciones de iones mayoritarios de todas las muestras de los CPDT recolectadas en las estaciones de monitoreo ambiental de la Región de Atacama, para esto se utilizaron los datos de DT, obtenidos durante todo el período de monitoreo (figura 125).

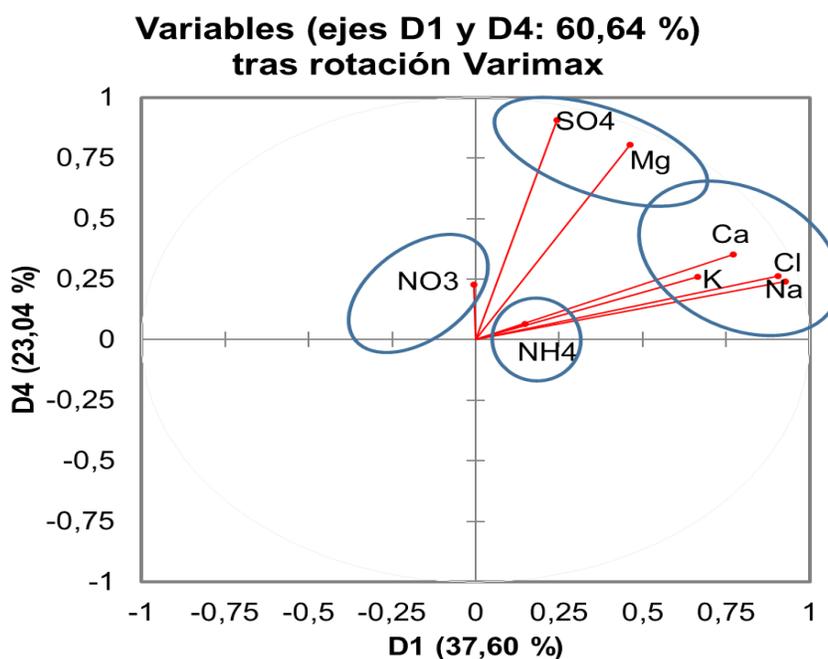
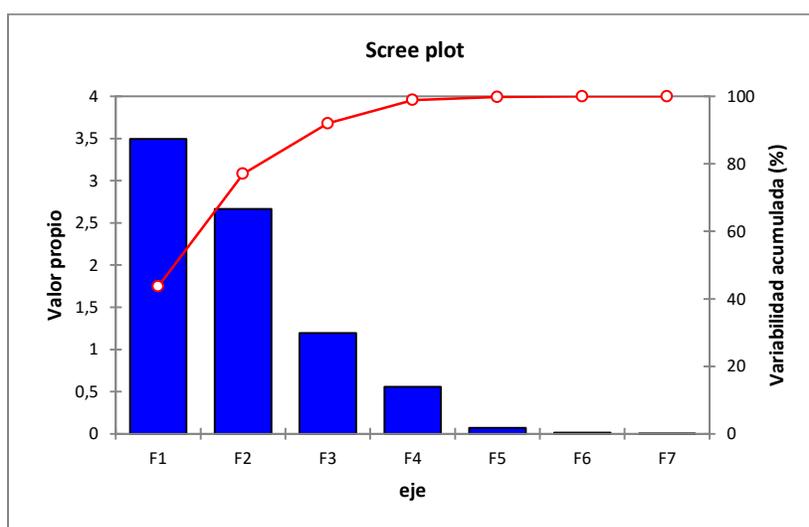


Figura 125. Análisis de Componentes Principales para iones en MPS

En el análisis anterior se aplicó la rotación Varimax con el fin de verificar si generaba un nuevo ordenamiento de los iones estudiados (agrupaciones relacionadas). La figura 125 exhibe la representación gráfica obtenida tras la aplicación de la rotación Varimax. En ella se puede observar la formación de 4 agrupaciones, las cuales están en concordancia con la carga factorial (tabla 5.29) después de haber realizado la rotación espacial Varimax, esto con la finalidad de asignarle importancia a cada uno de los iones de cada factor. Una agrupación principal constituida por  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , una segunda agrupación constituida por  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , y dos agrupaciones adicionales constituidas, cada una, por un solo ion  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  respectivamente. La agrupación principal constituida por los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  puede ser asociada a fuentes naturales como son a los aerosoles marinos junto con la resuspensión de suelo de características salinas en la Región de Atacama. Así mismo, la agrupación constituida por los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , los cuales también pueden ser asociados a fuentes naturales (también pueden ser antrópica, la sal hidratada de sulfato de magnesio  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  se usa como fertilizante tbn para el déficit de Mg en suelo, nutriente esencial para el desarrollo vegetal o simplemente podría ser natural por formación de esta sal en presencia de Mg y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o a partir del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  y el mismo ácido). Los iones  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  pueden ser principalmente atribuidos a emisiones antropogénicas.  $\text{NH}_4^+$  se asocia a emisiones de planteles de producción pecuaria y fertilizantes tanto naturales como artificiales.  $\text{NO}_3^-$  se asocia a la emisión de  $\text{NO}_x$  en procesos de combustión a alta temperatura (motores de combustión interna y calderas/hornos industriales) y en el caso particular de la región, podría ser también atribuido a fuentes naturales, como es el suelo, por ejemplo, debido a la presencia de nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) en depósitos formados por evaporación, situación que ocurre en gran parte del norte del país. Adicionalmente, otra fuente de  $\text{NO}_3^-$  pero de carácter antropogénica, podría ser debido al uso de fertilizante artificiales para la agricultura como el  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , o como subproducto de la degradación de urea asociado a producción intensiva animal. La tabla 5.29 muestra la carga factorial después de haber realizado la rotación espacial Varimax, con la finalidad de asignarle importancia a cada uno de los iones de cada factor.

Tabla 5.29 Carga factorial tras rotación Varimax:

	D1	D2	D3	D4
$\text{Cl}^-$	<b>0,927</b>	0,063	0,195	0,239
$\text{NO}_3^-$	-0,004	<b>0,934</b>	0,076	0,227
$\text{SO}_4$	0,242	0,211	0,132	<b>0,907</b>
$\text{Na}^+$	<b>0,906</b>	0,067	0,267	0,263
$\text{NH}_4$	0,148	0,041	<b>0,963</b>	0,065
$\text{K}^+$	<b>0,664</b>	0,502	-0,330	0,259
$\text{Mg}^{2+}$	0,463	0,210	-0,053	<b>0,805</b>
$\text{Ca}^{2+}$	<b>0,770</b>	-0,200	-0,172	0,352

La tabla 5.30 muestra la matriz de correlación de Pearson. En ella se puede observar una alta correlación entre los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , resultado en concordancia con el análisis de ACP y de cluster, indicando que estos iones tienen una fuente de emisión común. Así mismo, el ion  $\text{Cl}^-$  presenta una correlación positiva ( $> 0,6$ ) con los iones  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . La correlación mencionada anteriormente podría indicar que los cationes  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , tendrían un origen natural, posiblemente aerosoles marinos y/o crustales. Por otro lado, los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  no se correlacionan con ningún otro ion, resultado en concordancia con el ACP y de cluster, reforzando la idea de su origen antrópico; tal como se ha dicho anteriormente proveniente muy probablemente de actividades industriales (termoeléctricas) o agropecuarias. Los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se encuentran correlacionados entre sí, indicando la posible presencia de la sal de sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) en el material particulado atmosférico de la Región de Atacama, el cual muy probablemente tendría un origen crustal por la presencia de depósitos de esta sal en la forma de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Tabla 5.30. Matriz de correlación de Pearson

Variables	Cl	NO3	SO4	Na	NH4	K	Mg	Ca
$\text{Cl}^-$	<b>1</b>							
$\text{NO}_3^-$	0,118	<b>1</b>						
$\text{SO}_4$	0,486	0,387	<b>1</b>					
$\text{Na}^+$	<b>0,994</b>	0,136	0,509	<b>1</b>				
$\text{NH}_4$	0,302	0,114	0,228	<b>0,373</b>	<b>1</b>			
$\text{K}^+$	<b>0,614</b>	0,420	0,496	<b>0,583</b>	-0,131	<b>1</b>		
$\text{Mg}^{2+}$	<b>0,638</b>	0,371	<b>0,817</b>	<b>0,646</b>	0,067	<b>0,612</b>	<b>1</b>	
$\text{Ca}^{2+}$	<b>0,684</b>	-0,031	0,419	<b>0,673</b>	0,008	<b>0,514</b>	<b>0,563</b>	<b>1</b>

## FACTORES DE NEUTRALIZACIÓN Y ENRIQUECIMIENTO DE IONES EN EL MPS

Para entender de mejor forma el fenómeno de la neutralización de las deposiciones ácidas en la zona, se realizó el cálculo de los Factores de Neutralización, para saber cuáles de los cationes, serían los responsables de la neutralización en la zona de estudio. Mientras más alto el valor del factor para un catión determinado, implica un mayor efecto neutralizante.

El factor de neutralización (FN) fue obtenido de acuerdo a la siguiente ecuación con el promedio de la concentración para cada catión.

$$FN = \frac{uEq(\text{iones})(\text{neutralizador})}{\sum uEq(\text{iones})(\text{precursores})}$$

En la tabla 5.31 se presentan los FN para el MPS medido en la Región de Atacama. Destaca como principal agente neutralizante el ion  $Mg^{2+}$ , seguido por el ion  $Na^+$ .

MPS	Sodio	Amonio	Potasio	Magnesio	Calcio
FN	<b>1,24</b>	0,05	0,09	<b>2,19</b>	0,38

Tabla 5.31. Factores de Neutralización en MPS en la Región de Atacama

Por otra parte, una forma de cuantificar los aportes de iones de origen distinto a los aerosoles marinos, es a través del cálculo del Factor de Enriquecimiento (FE) de origen no marino para los iones medidos en las campañas realizadas, según la siguiente ecuación:

$$FE = \frac{\left( \text{Ion de interés} / \text{Sodio en la muestra} \right)}{\left( \text{Ion de interes en el mar} / \text{sodio en el mar} \right)}$$

Donde se puede definir según (R. Sutherland, 2000), que el factor (ion de interés en el mar/sodio en el mar) son conocidos mediante bibliografía (B. Mason, 1960). Esto da origen a los siguientes criterios de interpretación de los FE calculados:

FE <2: Deficiencia o mínimo de enriquecimiento

FE ~ 2- 5: Moderadamente enriquecido

FE ~ 5-20: Significativamente enriquecido

FE ~ 20-40: Alto enriquecimiento

FE > 40: Extremadamente enriquecido

Valores cercanos a la unidad indican que no existe un enriquecimiento (por el entorno) del ion de interés, siendo este proveniente principalmente del aerosol marino. Los factores de enriquecimiento calculados para los datos de MPS.

Tabla 5.32. FE promedio para iones en MPS medidos en las campañas realizadas para la Región de Atacama.

	Cloruro	Sulfato	Potasio	Calcio	Magnesio
FE	1,22	<b>5,96</b>	<b>3,36</b>	<b>39,92</b>	1,36

Se puede observar que el ion  $Cl^-$  y el ion  $Mg^{2+}$  (tabla 5.32) en el MPS serían de origen marino (FE<2), considerándose un mínimo de enriquecimiento. Esto último refuerza la

idea de que estos iones serían de origen natural, tal como se discutió en la sección anterior. Sin embargo, los iones,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , presentes en el MPS, han sido enriquecidos en diferente grado por agentes diferentes al marino, probablemente por fuentes naturales y/o antropogénicas emitidas en la zona de estudio.

### **SULFATO NO MARINO PRESENTE EN EL MPS**

Como se ha mencionado anteriormente, el sulfato también se encuentra presente en los aerosoles marinos (A. Mihajlidi-Zelić, 2006), por lo que es importante estimar cuánto del sulfato encontrado en este estudio es de origen marino y cuánto del mismo es de un origen distinto del marino (probablemente antropogénico). Un estudio realizado por J. Gabrieli y colaboradores utilizó una relación matemática de manera de estimar la cantidad de sulfato no marino en el total de sulfato encontrado en sus muestras, de forma de poder establecer el aporte de sulfato a partir de aerosoles marinos (J. Gabrieli, 2011). Esta relación matemática se muestra a continuación:

$$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{No Marino}} = [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{Muestra}} - [\text{Cl}^-]_{\text{Muestra}} * \left[ \frac{[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{Mar}}}{[\text{Cl}^-]_{\text{Mar}}} \right]$$

Esta relación se aplicó para las muestras de MPS obtenidas en la campaña, en donde la concentración de sulfato y cloruro en el mar se asumen constantes, con valores de 7,68% y 55,05%, respectivamente (B. Mason, 1960).

En la tabla 5.33 se exponen los resultados obtenidos de sulfato no marino para muestras de MPS en la Región de Atacama. Se puede observar que la estación de Chañaral Hospital presentó la mayor cantidad de sulfato marino, lo que es congruente con su cercanía con el mar. Las estaciones de Paipote y Tierra Amarilla presentaron los mayores registros de sulfato no marino, probablemente el origen del sulfato no marino sea de actividades antropogénicas, como es la fundición de cobre Hernán Videla Lira (Paipote y Tierra Amarilla) y actividades agrícolas en la parcela control y en Tierra Amarilla. La alta cantidad de sulfato marino de observado en El Salado, probablemente sea producto de un *artifac* debido a las condiciones naturales de la localidad de El Salado, que se caracteriza por un entorno altamente salino, donde muy probablemente este sulfato no marino en este caso está relacionado con la elevada presencia de sulfato en el MPS cuya concentración es la mayor encontrada respecto de las demás estaciones de monitoreo usadas en este estudio. En un capítulo más adelante se verá que además su concentración también es elevada en el suelo en comparación a otras estaciones como Chañaral y Diego de Almagro en la misma zona de estudio.

Tabla 5.33. Resultados del **sulfato marino/no marino** calculados para las muestras de MPS medido en cada una de las estaciones utilizadas en la Región de Atacama.

	Sulfato No Marino ( $\mu\text{Eq/L}$ )	% Sulfato No Marino	Sulfato Marino ( $\mu\text{Eq/L}$ )	% Sulfato Marino
Paipote	79,47	90,1	8,74	9,9
Tierra Amarilla	112,03	92,5	9,05	7,5
El Salado	81,42	54,8	67,25	45,2
Diego de Almagro	86,32	83,1	11,84	16,9
Chañaral Hospital	50,96	77,7	14,64	22,3
Chañaral Aeropuerto	86,32	82,6	18,23	17,4

### V.4.3 Determinación de la Concentración de Iones en Suelos en la Campaña de Monitoreo de Abril-Diciembre 2015

Las tablas 5.34 y 5.35 presentan las concentraciones de los iones solubles encontrados en suelo en las muestras recolectadas en la campaña de monitoreo de Abril-Diciembre 2015. En términos generales y descriptivos, el  $\text{Cl}^-$  presenta la mayor concentración en El Salado, seguido en orden decreciente de la estación de Diego de Almagro, Chañaral, Tierra Amarilla, Paipote Enami, y finalmente la estación de Paipote. La alta concentración de  $\text{Cl}^-$  observada en la estación de El Salado se podría explicar por la alta salinidad que presentan los suelos de esa zona. Para el caso de  $\text{NO}_3^-$ , se observa en la estación de Diego de Almagro, la mayor concentración, seguida en orden decreciente por la estación de Tierra Amarilla, Paipote A, El Salado, Chañaral, y finalmente Paipote Enami. Para el ion  $\text{SO}_4^{2-}$ , la mayor concentración se registró en la estación de Tierra Amarilla, seguida en orden decreciente por Paipote Enami, Paipote A, El Salado, Diego de Almagro, y finalmente Chañaral.

En el caso de los cationes mayoritarios (tabla 5.35), la mayor concentración de ion  $\text{Na}^+$  se observó en la estación de El Salado, seguido en orden decreciente por la estación de Diego de Almagro, Chañaral, Tierra Amarilla, Paipote Enami y finalmente Paipote A. Al igual que en el caso de  $\text{Cl}^-$ , la alta concentración observada para  $\text{Na}^+$ , en la estación de El Salado se podría explicar por la alta salinidad que presentan los suelos de esa zona. Para el ion  $\text{NH}_4^+$ , la mayor concentración se observó en la estación de Tierra Amarilla, seguida en orden decreciente por la estación de Paipote A, Paipote Enami, Diego de Almagro, El Salado, y finalmente la estación de Chañaral. Para el ion  $\text{K}^+$ , la mayor concentración se observó en Diego de Almagro seguido en forma decreciente por la estación de Paipote Enami, El Salado, Tierra Amarilla, Chañaral, y finalmente la estación de Paipote A. Para  $\text{Mg}^{2+}$ , la mayor concentración se observó en Tierra Amarilla, seguido en orden decreciente por Diego de Almagro luego viene Chañaral, El Salado, Paipote Enami y Paipote A. Para  $\text{Ca}^{2+}$  la

mayor concentración se observó en Tierra Amarilla, seguido en orden decreciente por las estaciones de El Salado, Paipote Enami, Diego de Almagro, Paipote A, y finalmente Chañaral.  $Mg^{2+}$  es considerado como un ion de tipo crustal y  $Ca^{2+}$  puede tener un origen tanto crustal como de actividad antropogénica, como ya se ha discutido anteriormente.

Tabla 5.34. Aniones mayoritarios medidos en Suelo en las campaña de monitoreo de la Región de Atacama

Aniones Mayoritarios en Suelo ( $\mu Eq/K$ )			
Estación	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$
Chañaral	81.348,77	610,86	4.290,72
Diego Almagro	120.499,40	7.624,86	4.668,21
El Salado	144.517,76	614,91	8.757,66
Tierra Amarilla	41.953,61	1.293,76	41.663,29
Paipote Enami	1.831,24	559,91	40.229,32
Paipote A	1.411,25	736,34	16.375,40

Tabla 5.35. Cationes Mayoritarios medidos en Suelo en las campaña de monitoreo de la Región de Atacama.

Cationes Mayoritarios en Suelo ( $\mu Eq/K$ )					
Estación	$Na^+$	$NH_4^+$	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$
Chañaral	57.439,30	601,98	555,38	4.325,48	13.534,78
Diego Almagro	82.181,22	898,37	3.115,90	12.940,61	16.161,95
El Salado	108.602,80	835,49	850,77	3.707,21	30.859,09
Tierra Amarilla	13.702,38	6.031,08	696,39	18.044,16	42.794,99
Paipote Enami	4.125,03	1.237,57	1.160,90	1.679,09	30.826,08
Paipote A	529,56	1.389,99	177,63	1.286,10	15.370,92

#### V.4.4 Determinación de la Concentración de Iones en MPS en la Campaña de Monitoreo Huasco

La tabla 5.36 muestran las concentraciones promedio de los aniones en MPS, durante la realización de la campaña de monitoreo en la zona de Huasco en la Región de Atacama. De acuerdo a estos resultados se puede observar, en el caso de los aniones, que  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  presentaron su mayor concentración en la localidad de Huasco con respecto al sitio control ubicado en las cercanías de Vallenar. Registros que estarían de acuerdo con la ubicación geográfica de la estación, cercana al mar, ya que la principal fuente de  $\text{Cl}^-$  corresponde a aerosoles marinos, a diferencia de los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  cuyas fuentes principales serían de tipo antropogénicas, como las centrales termoeléctricas generadoras de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ , gases precursores del ion  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Otra fuente adicional del ion  $\text{SO}_4^{2-}$  serían los aerosoles marinos, aspecto que se evaluará en una sección más adelante.

Tabla 5.36. Concentración de aniones mayoritarios en MPS en campaña zona de Huasco

Aniones Mayoritarios en la MPS ( $\mu\text{Eq/L}$ ).						
Estación	$\text{Cl}^-$		$\text{NO}_3^-$		$\text{SO}_4^{2-}$	
	Prom.	Desv.Std.	Prom.	Desv.Std.	Prom.	Desv.Std.
Huasco	237,06	329,51	19,64	10,34	116,55	39,39
Sitio Control	41,18	8,88	12,11	2,91	57,75	9,22

En el caso de los cationes mayoritarios (tabla 5.37), la mayor concentración para los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se observó en la estación de Huasco. Para el  $\text{Na}^+$ , su fuente primaria también correspondería a aerosoles marinos.  $\text{NH}_4^+$  se considera que su principal origen correspondería a actividad antropogénica (fertilizantes y emisiones biogénicas, como es la actividad agrícola y pecuaria).  $\text{K}^+$  generalmente se asigna a fuentes de quema de biomasa, pero también puede ser fuente los aerosoles marinos o crustal.  $\text{Mg}^{2+}$  es considerado como fundamentalmente crustal. En el caso del ion  $\text{Ca}^{2+}$ , el cual registró su mayor concentración en el sitio control (Vallenar), puede tener un origen tanto crustal como de actividad antropogénica, sin poder definirse con mayor precisión sus fuentes con los resultados obtenidos en este estudio.

Tabla 5.37. Concentración de cationes mayoritarios en MPS en campaña zona de Huasco.

Cationes Mayoritarios en la MPS ( $\mu\text{Eq/L}$ ).										
	$\text{Na}^+$		$\text{NH}_4^+$		$\text{K}^+$		$\text{Mg}^{2+}$		$\text{Ca}^{2+}$	
Estación	Prom	DS	Prom	SD	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Huasco	192,30	272,09	4,62	1,64	3,60	1,52	41,96	20,12	125,39	129,08
Sitio Control	28,42	7,50	3,78	1,51	3,20	2,20	21,07	1,87	131,78	41,61

### FACTORES DE NEUTRALIZACIÓN Y ENRIQUECIMIENTO PARA IONES EN EL MPS

En la tabla 5.38 se presentan los FN para el MPS medido en la zona de Huasco, Región de Atacama. Destaca como principal agente neutralizante el ion  $\text{Ca}^{2+}$ , seguido por el ion  $\text{Na}^+$ .

Tabla 5.38. Factores de Neutralización en MPS promedio en zona de Huasco, Región de Atacama

MPS	Sodio	Amonio	Potasio	Magnesio	Calcio
FN	<b>1,07</b>	0,04	0,03	0,31	<b>1,25</b>

A diferencia de lo encontrado en el MPS de la otra zona de estudio de la Región de Atacama, en donde el principal ion neutralizante era  $\text{Mg}^{+2}$ , en la zona de Huasco el ion principal sería  $\text{Ca}^{2+}$ , sin embargo en ambos aparece en segundo lugar el ion  $\text{Na}^+$  como agente neutralizante. Por otra parte y a diferencia del caso de la otra zona estudiada, en el cual el ion  $\text{Mg}^{+2}$  muy probablemente tendría un origen natural: por formación de la sal de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en presencia de  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o a partir del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  y el mismo ácido; en Huasco el ion  $\text{Ca}^{2+}$  estaría enriquecido en forma importante, dando cuenta que su origen podría ser distinto del natural, muy probablemente antropogénico, sin embargo no es posible definir con mayor precisión sus fuentes con los resultados obtenidos en este estudio.

Por otra parte, una forma de cuantificar los aportes de iones de origen distinto a los aerosoles marinos (fuentes naturales), es a través del cálculo del Factor de Enriquecimiento (FE) de origen no marino (ver tabla 5.39).

Se puede observar en la tabla 5.39 que el ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en el MPS son de origen marino ( $\text{FE} < 2$ ), considerándose un mínimo de enriquecimiento. Sin embargo, los iones,  $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , presentes en el MPS, han sido enriquecidos, en diferente grado por agentes diferentes al marino, probablemente por fuentes naturales y/o antropogénicos locales.

Tabla 5.39. Factores de Enriquecimiento en MPS promedio en zona de Huasco, Región de Atacama.

MPS	Cloruro	Sulfato	Potasio	Calcio	Magnesio
FE	1,08	<b>6,74</b>	1,41	<b>26,40</b>	1,25

### SULFATO NO MARINO

En la tabla 5.40 se exponen los resultados obtenidos de sulfato no marino para muestras de MPS en la zona de Huasco, Región de Atacama. Se puede observar que la estación de Huasco presentó la mayor cantidad de sulfato marino lo que es congruente con su cercanía con el mar. La estación de control registró la mayor concentración de sulfato no marino, muy probablemente debido a su mayor lejanía del mar y actividades antropogénicas cercanas, como es la agricultura y la utilización de fertilizantes sulfatados en las prácticas tradicionales, dado que esta estación de monitoreo está en un huerto de olivos. De todos modos ambos lugares presentan un porcentaje bastante elevado de sulfato no marino (> 80 %), muy probablemente debido a fuentes antrópicas cercanas como son las plantas termoeléctricas y actividades de fundición en la planta de pellet de CAP.

Tabla 5.40. Aporte de Aerosoles Marino al Sulfato Total encontrado.

	Sulfato No Marino ( $\mu\text{Eq/L}$ )	% Sulfato No Marino	Sulfato Marino ( $\mu\text{Eq/L}$ )	% Sulfato Marino
Huasco	92,74	79,6	23,81	20,4
Sitio Control	53,62	92,8	4,13	7,2

### V.4.5 Determinación de la Concentración de Iones en Suelos en Campaña de Monitoreo Huasco

Las tablas 5.41 y 5.42 presentan las concentraciones de los iones solubles encontrados en suelo en la campaña de monitoreo de Huasco. En términos generales y descriptivos, el  $\text{Cl}^-$  presenta la mayor concentración en el sector de Huasco camino costero, seguido en orden decreciente de la estación de Vallenar sitio control, Huasco planta CAP, y finalmente la estación de Huasco Ciudad. La mayor concentración de  $\text{Cl}^-$  observada en la estación Huasco camino costero se podría explicar porque esta zona se encuentra impactada por aerosoles marinos. Para el caso de  $\text{NO}_3^-$ , se observa en la estación cercana a la planta de CAP la mayor concentración, en el resto de las estaciones se observan concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  similares. La mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  observada en las cercanías de la planta de CAP, probablemente es debido a la cercanía a instalaciones industriales como son las plantas termoeléctricas, las cuales son fuentes de emisión de  $\text{NO}_x$ , gas precursor del ion  $\text{NO}_3^-$ . Para el ion  $\text{SO}_4^{2-}$ , la mayor concentración se registró en la estación del sitio control

en Vallenar, seguida en orden decreciente por la estación de Huasco camino costero, planta CAP y finalmente Huasco ciudad. La mayor concentración de este ion observada en el suelo del sitio control ayuda a explicar la mayor contribución de  $\text{SO}_4^{2-}$  no marino en el MPS, probablemente debido a que la estación es impactada por la resuspensión del MPS del suelo el cual puede estar impactado por actividades agrícolas, asociadas a fertilizantes sulfatados, asociados a la actividad agrícola del huerto de Olivos en este sector.

Tabla 5.41 Aniones Mayoritarios en suelo de la zona de Huasco, Región de Atacama

Aniones Mayoritarios en Suelo ( $\mu\text{Eq/K}$ )			
Estación	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Huasco Ciudad	3.179,77	1.119,03	3.058,91
Huasco Planta CAP	3.207,63	1.218,12	4.735,89
Huasco Camino Costero	4.270,58	1.151,42	7.036,14
Vallenar Sitio Control	3.267,97	1.128,83	14.113,42

En el caso de los cationes mayoritarios (tabla 5.42), la mayor concentración de ion  $\text{Na}^+$  se observó en la estación de Huasco camino costero, seguido en orden decreciente por la estación de Vallenar sitio control, Huasco Ciudad, y finalmente Huasco planta CAP. Al igual que en el caso de  $\text{Cl}^-$ , nuevamente la alta concentración observada para  $\text{Na}^+$ , en la estación de Huasco camino costero puede ser explicado por la cercanía del mar. Para el ion  $\text{NH}_4^+$ , la mayor concentración se observó en la estación de Huasco camino costero, seguida en orden decreciente por la estación de Huasco ciudad, Huasco planta CAP, Vallenar sitio control. Para el ion  $\text{K}^+$ , la mayor concentración se observó en Vallenar sitio control, seguido en forma decreciente por la estación de Huasco planta CAP, Huasco ciudad, y finalmente la estación de Huasco camino costero. Probablemente la mayor concentración de  $\text{K}^+$  observada en el sitio control pueda deberse a impacto de la quema de biomasa realizada como actividad antropogénica, ya sea por su uso doméstico o como práctica agrícola, debido a que el lugar es un sector rural de actividad agrícola. Para  $\text{Mg}^{2+}$ , la mayor concentración se observó en Vallenar sitio control, seguido en orden decreciente por Huasco camino costero, Huasco planta CAP, y finalmente Huasco ciudad.  $\text{Mg}^{2+}$  es considerado de fundamentalmente de origen crustal. Para  $\text{Ca}^{2+}$  la mayor concentración se observó en Huasco camino costero, seguido en orden decreciente por las estaciones de Huasco planta CAP, Vallenar sitio control, y finalmente Huasco ciudad.  $\text{Ca}^{2+}$  puede tener un origen tanto crustal como de actividad antropogénica, no pudiéndose determinar con exactitud su origen con los resultados de este estudio.

Tabla 5.42. Cationes mayoritarios en suelo de la zona de Huasco, Región de Atacama

Cationes Mayoritarios en Suelo ( $\mu\text{Eq/K}$ )					
Estación	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
Huasco Ciudad	1.096,87	1.676,36	437,66	1.304,66	2.563,14
Huasco Planta CAP	984,53	1.577,76	471,61	1.601,20	7.855,14
Huasco Camino Costero	2.027,36	1.696,19	354,69	2.137,51	10.355,14
Vallenar Sitio Control	1.752,16	1.500,23	958,39	2.948,34	6.622,12

## CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO

### Monitoreo de Aerosoles (PM10, PM2.5 y PM1)

Los datos de aerosoles registrados y mostrados en este informe, corresponden a los resultados de un monitoreo exploratorio de la concentración y la distribución por tamaño del material particulado atmosférico (PM), lo que significa que fueron medidos para tener una visión rápida de la concentración instantánea de los contaminantes (PM) de aquel sitio y en períodos acotados de tiempo. Estos datos no representan la concentración promedio del PM en el lugar, ni tampoco determina tendencias o ciclicidad de la contaminación en esa zona debida a PM o a otro tipo de contaminantes atmosféricos. Sólo como referencia, los valores de la norma chilena para PM10 y PM2.5 en 24 horas son de  $150 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  y  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , respectivamente. Para poder contrastar mediciones de PM con la normativa vigente, se deben implementar sistemas de monitoreo permanente, que tomen en cuenta la variabilidad estacional dentro del año.

Con respecto a la medición de aerosoles realizada en enero de 2015, antes del aluvión, mostró que el lugar con mayor concentración del PM10, PM2.5 y PM1, correspondió a las mediciones realizadas al interior de las instalaciones de la Fundición de ENAMI Hernán Videla Lira, estando en primer lugar el patio de acopio ( $190,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM10;  $69,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM2.5;  $19,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM1), seguido del sector del escorial ( $29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM10;  $15,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM2.5;  $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM1). En tercer lugar, se ubicaron las mediciones realizadas en las cercanías de la Termoeléctrica Guacolda ( $13,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM10;  $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM2.5;  $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM1). Finalmente, se encuentran las mediciones realizadas en lugares poblados, es decir, los realizados en Tierra Amarilla, llamando la atención que la concentración de PM10 medida en la Escuela Marta Aguilar ( $18,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM10;  $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM2.5;  $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM1) fue mayor a la medida a un costado de la piscina ( $10,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM10;  $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM2.5;  $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM1).

Durante la campaña de aerosoles de abril del año 2015, posterior al aluvión, el sector de monitoreo que presentó menores valores promedio de material particulado en comparación con el resto de las estaciones fue Chañaral Aeropuerto ( $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM10 y  $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM2.5). Por el contrario, los valores promedio de concentración de PM más altos los presentó la estación El Salado en PM10 ( $62,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Tierra Amarilla en PM1 ( $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En términos de PM2,5, Paipote y Tierra Amarilla presentan los valores de concentración promedio más altos,  $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Durante la campaña de noviembre del año 2015, el sector de monitoreo que presentó menores valores promedio de PM10 fue la localidad de Chañaral Vialidad, con un promedio de  $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El sector de monitoreo que presenta menores valores promedio de PM2,5 y PM1 fue la localidad de El Salado, con un promedio de  $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Por el contrario, los valores promedio de concentración de material

particulado más altos los presentó el punto de monitoreo ubicado en terrenos de propiedad de la Fundición Hernán Videla Lira de Enami, en Paipote, alcanzando en promedio  $80,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2,5 y  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1. El segundo punto de muestreo con los valores de material particulado más altos los presentó Tierra Amarilla, alcanzando en promedio  $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM10;  $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM2.5 y  $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM1.

Con respecto a la medición de la concentración PM en zona de Huasco, la mayor concentración de PM10, PM2.5 y PM1 se registró en la zona del sitio control, en las cercanías de Vallenar, con valores promedio de  $22,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10,  $11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2.5 y  $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM1. Probablemente por ser un lugar rural y abierto, en condición de valle, se vea influenciado por fluctuaciones locales de corrientes de aire, las que levantan partículas de suelo, afectando mayormente los registros de las partículas de mayor tamaño, en este caso PM10. Se pudo evidenciar que, aunque el sitio control corresponde a un lugar rural sin cercanía de actividades industriales importantes, está fuertemente afectado por el viento y la resuspensión de material particulado proveniente del suelo.

### **Determinación de la Concentración de Elementos en MPS y Suelo**

Con respecto a los distintos elementos estudiados en el material particulado sedimentable (MPS), y en relación a la preocupación que existía en la zona afectada por el aluvión de fines de marzo del 2015, respecto de una posible contaminación de los suelos y en los efectos de su resuspensión en el MPS, los resultados mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la concentración de elementos presentes en el MPS cuando se compararon las primeras semanas de monitoreo, directamente después del aluvión, con el resto de las semanas del estudio; con excepción de Manganeseo en Tierra Amarilla, Paipote y Diego de Almagro, en donde sí hubieron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, lo que sí se pudo comprobar es que las dos primeras semanas después del aluvión presentaron valores de concentración de MPS significativamente diferentes del resto de las semanas de monitoreo, donde los flujos de MPS entre estaciones fluctuaron entre  $80 - 120 [(\text{g}/\text{m}^2) \times \text{mes}]$  la primera semana de monitoreo y  $21 - 35 [(\text{g}/\text{m}^2) \times \text{mes}]$  la segunda semana de monitoreo. Esto último indicaría que durante las dos primeras semanas de monitoreo, la cantidad absoluta de elementos traza estudiados aumentó objetivamente, debido al aumento de la deposición de MPS. En otras palabras, al haber una mayor tasa de deposición de MPS, también aumentó la tasa de deposición de elementos, exponiendo a la población a una mayor cantidad de contaminantes químicos a lo habitualmente expuesta. Es importante recalcar que este efecto solo se produjo las 2 primeras semanas de monitoreo. Hacia finales del mes de Abril del 2015, la situación volvió a la normalidad, con promedios que fluctuaron entre  $8,3$  y  $9,3 [(\text{g}/\text{m}^2) \times \text{mes}]$ .

Se comparó la concentración de los elementos normados presentes en muestras de suelo recolectadas tanto en abril como en noviembre en Tierra Amarilla, Chañaral, El Salado,

Diego de Almagro, Copiapó y Paipote, tanto con la norma chilena [DS N°3 (2012), del Ministerio del Medio Ambiente y DS N°4 (2009), del Ministerio Secretaría General de la Presidencia] como con la norma canadiense (Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health, CCME). El análisis demostró que la cantidad de As presente en los suelos superó ambas normas (12,5 y 12 ppm, respectivamente) en 8 de las 10 muestras informadas, en un rango de superación que osciló entre un 4 y un 75%. Las mayores concentraciones de As en suelo se determinaron en muestras de El Salado, en Noviembre de 2015, alcanzando 33 ppm. Por su parte, la cantidad de Cu presente en los suelos superó la norma chilena de 100 mg/Kg en 7 de las 10 muestras analizadas, y en 9 de 10 muestras con respecto a la norma canadiense de 63 mg/Kg. Las mayores concentraciones de Cu en suelo se determinaron en la muestra de Paipote de Noviembre de 2015, alcanzando 549 ppm. Respecto del contenido de Zn presente en el suelo, casi la totalidad de las muestras se encontraban bajo la norma chilena (120 mg/Kg), con excepción de la muestra tomada en Paipote en el mes de noviembre del 2015 que registró 147 mg/Kg.

Con respecto al enriquecimiento de los suelos de la zona afectada por el aluvión de marzo del 2015, los elementos Fe y V no se encontraron enriquecidos en las localidades estudiadas. Sin embargo, el Cu se encontró *moderadamente enriquecido* en Tierra Amarilla y Diego de Almagro, *significativamente enriquecido* en Chañaral y El Salado y *altamente enriquecido* en Paipote. El As se encontró enriquecido en todas las localidades, estando *significativamente enriquecido* en Tierra Amarilla, *altamente enriquecido* en Paipote, Chañaral y Diego de Almagro, y *extremadamente enriquecido* en El Salado. El Zn se encontró moderadamente enriquecido en las localidades de Tierra Amarilla, Paipote, Chañaral y El Salado.

Con respecto al estudio de elementos presente en MPS, en la zona de Huasco, la estación de Huasco presentó la mayor concentración promedio de Fe con respecto al sitio control en las cercanías de Vallenar, probablemente debido a la actividad industrial asociada al hierro en las cercanías, pero estadísticamente esta mayor concentración no fue significativamente diferente de la observada en el sitio control en las cercanías de Vallenar. Lo mismo sucedió con todos los elementos detectados en el MPS, es decir, las diferencias detectadas entre ambos lugares no fueron estadísticamente diferentes.

Con respecto al enriquecimiento observado para los distintos elementos en suelos de la zona de Huasco, se puede inferir que Fe se encontró enriquecido en un grado moderado, en el sector de Huasco Sur camino costero, probablemente debido a la presencia de la industria asociada al hierro en el área de monitoreo. Cu se encontró moderadamente enriquecido en las cercanías de la planta de pellet de CAP y Huasco sur camino costero. Para V, se encontró moderadamente enriquecido en las cercanías de la planta de pellet de CAP y significativamente enriquecido en Huasco Sur camino costero, probablemente debido a la presencia de plantas termoeléctricas en la zona. As se encontró significativamente enriquecido sólo en el sitio control.

Los elementos As y Cu contenidos en los suelos de la Región de Atacama, presentaron un enriquecimiento mayor en la zona afectada por el aluvión de marzo del 2015, mientras que V y Fe presentaron un mayor enriquecimiento en suelos de la zona de Huasco.

### **Caracterización del Material Particulado Sedimentable; flujo, pH, CE e iones**

La cantidad de MPS recolectado en la zona afectada por el aluvión de marzo del 2015 durante las 2 primeras semanas de campaña inmediatamente posterior al aluvión, fueron mayores y estadísticamente diferentes (poner valor promedio) del resto de las semanas de la campaña. La cantidad promedio de MPS registrada en todas las estaciones de monitoreo de la zona afectada por el aluvión de la Región de Atacama, en las primeras semanas de la campaña sobrepasó ampliamente (aproximadamente 850%), el límite establecido de la Norma de MPS, para la cuenca del río Huasco de  $150 \text{ mg}/(\text{m}^2 \times \text{día})$  emitida a través del decreto exento N°4 del Minagri, del año 1992. Posteriormente, la situación volvió a la normalidad, con promedios que fluctuaron entre 8,3 y 9,3  $[(\text{g}/\text{m}^2) \times \text{mes}]$ .

La cantidad promedio de MPS en la zona de Huasco fue 9,5 veces menor a la cantidad promedio registrada en las estaciones de monitoreo de la zona afectada por el aluvión de la Región de Atacama. Ninguno de los dos lugares de monitoreo en la zona de Huasco sobrepasó la norma reportada en el decreto exento N°4 del Minagri, del año 1992 establecida para la cuenca del río Huasco.

La CE del MPS registrada en las distintas estaciones de monitoreo de la zona afectada por el aluvión de marzo 2015 en la Región de Atacama, para las distintas semanas que duró la campaña de monitoreo, no presentó diferencias significativas entre ellas. Si se observó diferencia estadística significativa en la CE registrada en las estaciones de El Salado y Tierra Amarilla, al considerar los promedios calculados entre la semana 3 a 35.

La CE del MPS en la zona de Huasco-Vallenar fue 4 veces mayor a la registrada en la zona afectada por el aluvión de marzo de 2015 de la Región de Atacama (162 y 40  $[\mu\text{S}/\text{cm}]$ , respectivamente).

Las 2 primeras semanas tienen pHs promedios considerando todas las estaciones afectada por el aluvión de la región de Atacama (6,3 y 5,9, respectivamente) que no superan la norma de la EPA (5,6). En la misma zona de estudio, se observaron valores de pH promedio entre 5,9 y 6,1 para las semana posteriores, sin diferencia estadística significativa entre las distintas estaciones.

El promedio de pH, considerando todas las estaciones y todo el periodo de monitoreo, presentó un valor de 5,9. Sin embargo, se registraron también valores puntuales de pH por debajo de valor mínimo de 5,6, valor considerado por la EPA como el valor umbral para definir un evento de deposiciones ácidas, dando cuenta de las características ácidas del MPS. Estos eventos tuvieron una frecuencia promedio del 45%.

Se destaca que a partir de la semana 21 se registró un incremento en el valor del pH, haciéndose más alcalino el MPS (pH promedio = 6,7). Esta situación no pudo ser explicada con la información recolectada y analizada en este estudio, por lo que hace falta mayor información para poder explicar este fenómeno.

El pH del MPS de la zona de Huasco –Vallenar, presentó un valor promedio de pH=7,3, mientras que en la zona afectada por el aluvión (Paipote, Tierra Amarilla, Chañaral, El Salado y Diego de Almagro) presentó un valor promedio de pH= 6,0.

Las mayores concentraciones promedio para los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  presentes en el MPS se registraron en El Salado (660,55 y 148,67  $\mu\text{Eq/L}$ , respectivamente), mientras que la mayor concentración para el ion  $\text{NO}_3^-$  se registró en Huasco (19,64  $\mu\text{Eq/L}$ ). En el caso de los cationes presentes en el MPS, la mayor concentración para los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  se registró en El Salado, con valores promedio de 468, 24, 80 y 642  $\mu\text{Eq/L}$  respectivamente. La mayor concentración para el ion  $\text{NH}_4^+$  se registró en Chañaral Aeropuerto, alcanzando un valor promedio de 18  $\mu\text{Eq/L}$ .

Con respecto a la contribución de aerosoles marinos al  $\text{SO}_4^{2-}$  total encontrado en el MPS durante la campaña, se puede concluir que las mayores contribuciones se registraron en Chañaral y Huasco, lo que está de acuerdo con la ubicación geográfica de estas localidades, cercanas a la costa. Por el contrario, las estaciones de Tierra Amarilla, Sitio Control Huasco y Paipote presentaron los mayores porcentajes de sulfato no marino (90, 93 y 93% respectivamente), debido probablemente a las actividades antropogénicas de la zona, como es la fundición de cobre Hernán Videla Lira (Paipote y Tierra Amarilla) y las actividades agrícolas en Sitio Control Huasco y en Tierra Amarilla.

El cálculo de los factores de neutralización arrojó que  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  son los principales agentes neutralizante en la deposición del material particulado sedimentable (MPS), en la zona afectada por el aluvión. Muy probablemente el agente neutralizante estaría asociado a carbonatos de estos mismos iones y estarían neutralizando las deposiciones ácidas que se producen en la zona de estudio. Su origen podría estar asociado a las características propias de los suelos de la zona norte de la región de Atacama.

El cálculo de los factores de neutralización arrojó que  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  son los principales agentes neutralizantes en la deposición del material particulado sedimentable en la zona de Huasco. Al igual que en el caso anterior, el agente neutralizante estaría asociado a carbonatos de estos mismos iones y estarían neutralizando las deposiciones ácidas que se producen en la zona de estudio. Su origen podría estar asociado a la industria del Hierro,

ya que es muy intensiva en la utilización de compuestos de calcio, como la cal y en los procesos de desulfurización utilizados en las plantas termoeléctricas, que también utilizan este tipo de sales.

El cálculo de los factores de enriquecimiento de iones en MPS en la zona afectada por el aluvión de la Región de Atacama indicó que los iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  se encontrarían enriquecidos en distinto grado, desde moderadamente enriquecido para  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{K}^+$  hasta altamente enriquecido para el caso de  $\text{Ca}^{2+}$ , por agentes diferentes al marino, probablemente por fuentes de origen naturales y/o antropogénico. El origen de este enriquecimiento antropogénico podría probablemente provenir de fuentes asociadas a los procesos industriales de la zona como son las fundiciones de Cu y las termoeléctricas a carbón, asociadas a emisión de  $\text{SO}_2$  gaseoso quien es precursor del  $\text{SO}_4^{2-}$ . Para el caso del  $\text{Ca}^{2+}$  la fuente más probable podría ser las sales de calcio usadas en los procesos de desulfurización utilizados en las fundiciones y termoeléctricas. La fuente más habitual para el  $\text{K}^+$  podría ser la quema de biomasa, pero no se descarta un origen crustal. Finalmente, el ion  $\text{Cl}^-$  y el ion  $\text{Mg}^{2+}$  presentes en las muestras de MPS serían de origen marino (natural), puesto que su enriquecimiento fue mínimo.

El cálculo de los factores de enriquecimiento indicó que los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  se encontrarían enriquecidos en la zona de Huasco en la Región de Atacama en distinto grado en el MPS por agentes diferentes al marino, siendo moderadamente enriquecido para  $\text{SO}_4^{2-}$  y altamente enriquecido para  $\text{Ca}^{2+}$ . El origen de este enriquecimiento podría probablemente provenir de fuentes de tipo antropogénico, asociadas a los procesos industriales de la zona como son las plantas termoeléctrica, fuentes de emisión de  $\text{SO}_2$  gaseoso y precursor del  $\text{SO}_4^{2-}$ , así como de la industria del hierro, la cual utiliza en forma intensiva compuesto de calcio como es la cal, o en los procesos de desulfurización utilizados en las plantas termoeléctricas, que también utilizan este tipo de sales. Finalmente, el ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  presentes en estas muestras de MPS serían de origen marino (natural), puesto que su enriquecimiento fue mínimo.

En análisis de clasificación jerárquica y de componentes principales, realizado sobre los datos obtenidos en la zona afectada por los aluviones generó 4 grupos para los iones contenidos en el MPS, un grupo que contenía a los iones de los elementos Na, K, Cl y Ca, de origen natural. Un segundo grupo que contenía al ion  $\text{Mg}^{2+}$  y al ion  $\text{SO}_4^{2-}$ , podrían considerarse como de origen tanto natural como antropogénico (respectivamente). Finalmente, dos grupos constituidos por  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en forma individual, iones que podrían ser asociados a actividad antrópica, muy probablemente fuentes antrópicas asociadas a las industrias termoeléctricas y/o actividades agropecuarias. Este análisis coincide con el análisis de asignación de fuentes anterior, salvo para el calcio, indicando que este ion también podría tener un origen natural además del antropogénico antes descrito.

## PROYECCIONES Y RECOMENDACIONES

Las campañas de monitoreo muestran que la medición de MP, en tiempo real, es una herramienta útil para distinguir los efectos de los distintos tipos de contaminación por MP en sus distintos tamaños (PM10 y PM2,5) en la zona.

Se verifica la necesidad de monitorear en tiempo real y en forma permanente en el tiempo el MP en sus distintas fracciones para poder completar la información del origen, distribución e impacto del MP en las zonas en estudio.

Las campañas de monitoreo muestran que la medición de MPS es una herramienta útil para distinguir los efectos de la resuspensión atmosférica de materiales sólidos de distintos orígenes en la zona de estudio.

Se debe continuar con el monitoreo del MPS en las distintas zonas de estudio para evaluar el impacto de este contaminante en el largo plazo, así como sus efectos sobre la salud de la población.

Para completar la comprensión del impacto del MPS es necesario realizar estudios de resuspensión de los materiales sólidos de la zona (sedimentos, relaves, escoriales, entre otros pasivos mineros) en una cámara de resuspensión de MP, bajo condiciones controladas de laboratorio, así como sus efectos sobre la salud de la población.

El estudio del pH, conductividad, iones y elementos demostraron ser herramientas útiles para estimar la carga de contaminantes presentes en el MPS, se hace necesario seguir midiéndolos en forma continua en campañas de monitoreo sistemáticas para evaluar su evolución en el tiempo.

Es necesario incorporar el análisis de las variables meteorológicas idealmente en cada sitio de monitoreo, para poder correlacionarlas con las variables de contaminación atmosférica.

Es necesario sistematizar la operación en terreno y laboratorio del uso de la técnica de XRF portátil para análisis de elementos (QA/QC) con el fin de tener confianza en los resultados obtenidos con esta técnica portátil de análisis en terreno.

Se recomienda estudiar la posibilidad de la elaboración de una norma de MPS para extenderla al resto de la región de Atacama, tanto para análisis gravimétrico (tasa de deposición de MPS) como para especiación de elementos seleccionados en esta matriz ambiental.

Se recomienda realizar una evaluación del estado de la red de calidad del aire de la Región de Atacama con énfasis en su ubicación, representatividad, cumplimiento de normas y QA/QC de la data generada.

Se recomienda realizar estudios de evaluación de toxicidad e impacto en la salud asociado a problemas de contaminación del aire en la región de Atacama, en especial aquellos relacionados con el MPS.

Se recomienda realizar estudios de análisis de riesgo ambiental y en salud asociados a problemas de contaminación del aire en la región de Atacama, en especial aquellos relacionados con el MPS.

Se recomienda continuar con el apoyo y colaboración entre el CETAM-UTFSM, las SEREMIS y el futuro laboratorio de calidad del aire de la Región de Atacama.

Se recomienda reforzar la capacitación y transferencia de know-how al personal de la SEREMI de Salud y SEREMI de Medio Ambiente en temas de monitoreo, tratamiento de muestras y análisis de calidad del aire con énfasis en QA/QC y tratamiento de datos.

## ANEXOS

**I. MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE (MPS)**

## I.1 DIEGO DE ALMAGRO

MPS			
DIEGO DE ALMAGRO	Gravimetría	pH	CE
	(g/m <sup>2</sup> ) x mes		μS/cm
[09.04.15-16.04.15]	97,51	6,79	12,65
[16.04.15-23.04.15]	22,00	5,73	35,90
[23.04.15-27.04.15]	15,59	5,48	78,10
[30.04.15-07.05.15]	13,15	5,96	13,90
[07.05.15-14.05.15]	12,72	5,37	22,14
[14.05.15-21.05.15]	10,49	4,97	38,78
[21.05.15-28.05.15]	6,90	6,03	42,11
[28.05.15-04.06.15]	9,81	5,66	26,78
[04.06.15-11.06.15]	11,78	4,85	17,78
[11.06.15-18.06.15]	9,76	4,88	17,12
[18.06.15-25.06.15]	14,71	4,96	78,10
[25.06.15-02.07.15]	9,12	5,07	31,11
[02.07.15-09.07.15]	10,19	5,33	18,55
[09.07.15-16.07.15]	8,92	4,77	25,96
[16.07.15-23.07.15]	11,14	4,88	18,78
[23.07.15-30.07.15]	8,30	5,32	22,15
[30.07.15-06.08.15]	9,98	4,99	32,01
[06.08.15-13.08.15]	7,71	5,36	15,12
[13.08.15-20.08.15]	9,26	4,97	51,07
[20.08.15-27.08.15]	11,43	5,03	40,25
[27.08.15-03.09.15]	9,95	7,75	21,80
[03.09.15-10.09.15]	8,11	7,48	28,90
[10.09.15-17.09.15]	7,70	7,60	56,50
[17.09.15-24.09.15]	9,58	7,90	30,01
[24.09.15-01.10.15]	8,48	6,82	40,90
[01.10.15-08.10.15]	10,31	6,68	49,20
[08.10.15-15.10.15]	7,38	7,47	33,07
[15.10.15-22.10.15]	8,11	7,80	54,50
[22.10.15-29.10.15]	8,30	5,38	24,80
[29.10.15-05.11.15]	3,07	5,25	29,50
[05.11.15-12.11.15]	3,21	6,67	19,30
[12.11.15-19.11.15]	3,82	7,11	52,70
[19.11.15-26.11.15]	3,53	5,61	43,20
[26.11.15-03.12.15]	3,21	5,25	19,88
[03.12.15-10.12.15]	3,35	6,55	22,07
Promedio	11,67	5,93	33,28
Desviación Estándar	15,43	1,02	16,66
n	35	35	35

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
DIEGO DE ALMAGRO	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[09.04.15-16.04.15]	11165,39	37524,30	346048,31	707,72	422,20	<LOD	10899,56	29538,61	1409,57	29,40	<LOD	235,47	10569,86	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	11772,85	47211,03	274096,03	756,90	469,50	<LOD	10256,64	31575,94	1572,02	34,40	<LOD	242,24	10943,96	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	9634,94	20520,86	399838,30	578,48	227,40	<LOD	3560,37	11975,64	352,81	13,75	<LOD	71,92	2959,15	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	10184,79	16813,21	417402,36	604,47	199,40	<LOD	2624,13	9624,15	248,11	11,80	<LOD	50,51	1801,32	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	12173,67	21411,06	408703,08	561,04	<LOD	<LOD	3354,03	9458,93	310,04	12,00	<LOD	62,52	2047,51	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	9939,49	23061,33	372765,56	598,54	314,00	<LOD	4218,39	13511,59	458,83	15,20	<LOD	89,32	3879,03	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	<LOD	5215,20	440956,53	427,11	<LOD	<LOD	980,73	5150,65	125,31	<LOD	<LOD	43,89	1247,99	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	11011,26	17121,51	386808,63	545,17	340,60	<LOD	3474,71	12318,93	356,41	17,25	<LOD	90,40	3145,36	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	10403,56	21537,60	359765,03	619,82	491,00	<LOD	4103,69	15038,27	494,06	19,20	45,33	116,89	8060,87	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	12899,86	44425,63	306849,36	794,83	779,00	<LOD	8636,32	29742,24	1096,29	33,33	<LOD	193,12	10048,26	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	9378,46	21794,27	405538,78	641,62	547,00	<LOD	3285,47	10870,79	325,26	12,00	<LOD	47,12	1828,44	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	9335,65	30655,34	332115,83	775,38	514,60	<LOD	4590,40	52511,42	2424,39	<LOD	<LOD	100,25	4158,63	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	9543,56	30128,88	328247,39	703,62	764,20	<LOD	6374,40	23374,08	877,65	22,20	51,00	164,20	6725,78	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	13196,53	48481,69	286620,50	809,83	977,20	<LOD	9337,33	22696,20	1266,17	<LOD	106,40	158,16	5966,10	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	14055,33	37413,42	283890,51	675,45	865,00	403,80	8378,85	29653,13	1109,95	30,00	<LOD	136,44	7232,69	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	11706,04	37746,27	323472,87	669,87	870,60	529,00	7120,74	21735,59	804,46	<LOD	33,00	123,97	4982,47	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	10344,87	21734,39	389154,37	584,07	374,50	<LOD	3979,68	13352,80	438,71	17,25	<LOD	76,38	3011,71	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	10779,68	15946,39	388623,39	569,24	331,00	<LOD	3312,20	10355,00	418,34	16,25	<LOD	60,83	3103,00	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	5298,36	424745,09	387,26	<LOD	<LOD	999,65	4154,62	122,32	10,20	<LOD	35,93	894,02	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	11489,56	13674,54	423089,02	473,15	<LOD	<LOD	2332,13	6871,25	216,84	14,00	<LOD	47,59	1436,86	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	9375,24	12041,84	405221,50	446,73	840,00	<LOD	2249,30	4884,19	228,34	16,00	<LOD	48,70	1214,86	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	<LOD	<LOD	454879,95	390,92	<LOD	<LOD	301,12	3774,49	53,19	<LOD	<LOD	<LOD	833,49	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	<LOD	<LOD	275364,50	150512,00	<LOD	<LOD	316,65	2739,05	2762,83	<LOD	<LOD	<LOD	587,16	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	9246,21	223476,66	163222,60	1332,50	471,00	1556,25	4592,45	5564,56	439,25	28,00	38,69	1595,99	15771,50	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	8863,57	28778,50	275021,21	1630,40	508,40	223,27	6070,86	18143,35	1607,80	25,67	47,55	251,22	26893,20	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	<LOD	455733,16	381,06	<LOD	<LOD	342,79	3320,81	72,00	<LOD	<LOD	<LOD	819,51	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	9356,85	19242,45	349869,25	1495,00	381,60	<LOD	3028,36	16646,93	978,00	<LOD	<LOD	85,42	7754,40	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	255578,58	892,20	<LOD	<LOD	180,93	1344,40	119,80	<LOD	51,13	<LOD	1063,60	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	<LOD	449897,15	394,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	11906,96	1999,51	24979,08	175,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	211174,04	7538,44	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	450948,00	450,48	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	254591,65	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	2162,76	432903,77	470,79	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	453702,83	419,61	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	11014,88	21591,77	338940,38	42055,63	698,92	458,76	4108,03	14003,61	2115,83	165,19	48,23	97,22	3682,62	12870,68	
Desviación Estándar	1376,01	13873,81	121621,75	96351,14	407,66	64,27	3224,75	12077,63	4466,43	398,93	30,17	61,86	3281,27	11114,99	
n	20	26	33	35	21	5	26	28	28	21	6	24	27	4	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
DIEGO DE ALMAGRO	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
[09.04.15-16.04.15]	157,00	108,40	<LOD	<LOD	25,00	45,40	<LOD	79,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	115,40	28,60	<LOD	<LOD	22,80	44,20	<LOD	85,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	49,80	20,00	<LOD	<LOD	21,00	37,20	<LOD	79,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	29,80	14,60	<LOD	<LOD	23,40	35,60	<LOD	75,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	41,00	17,00	<LOD	<LOD	20,40	34,80	<LOD	78,60	<LOD	11,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	54,00	16,60	<LOD	<LOD	21,80	34,80	<LOD	77,80	<LOD	15,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	19,60	14,00	<LOD	<LOD	23,60	36,60	<LOD	77,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	57,00	18,80	<LOD	<LOD	22,20	34,80	<LOD	81,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	110,60	20,00	<LOD	<LOD	21,40	36,40	<LOD	80,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	131,40	24,20	<LOD	<LOD	23,80	40,60	<LOD	82,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	38,80	19,00	<LOD	<LOD	22,40	34,40	<LOD	79,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	66,20	23,40	<LOD	<LOD	21,40	38,00	<LOD	81,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	109,40	36,20	<LOD	<LOD	23,20	41,00	<LOD	81,40	<LOD	14,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	108,40	64,00	9,67	<LOD	23,40	37,80	<LOD	81,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	91,20	35,00	<LOD	<LOD	23,00	41,80	<LOD	84,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	100,60	51,20	<LOD	<LOD	23,20	38,80	<LOD	85,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	44,60	25,40	<LOD	<LOD	23,80	37,80	<LOD	79,00	<LOD	11,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	54,20	24,60	<LOD	<LOD	21,20	37,40	<LOD	77,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	21,60	27,00	<LOD	<LOD	21,20	35,80	<LOD	76,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	31,20	16,80	<LOD	<LOD	20,80	36,00	<LOD	78,20	<LOD	12,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	64,20	14,60	<LOD	<LOD	21,80	33,80	<LOD	77,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	21,00	15,40	<LOD	<LOD	22,20	38,40	<LOD	77,00	<LOD	15,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	16,67	36,20	<LOD	<LOD	22,33	30,20	<LOD	78,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	48,50	75,25	27,00	<LOD	25,00	29,00	37,50	74,00	80,50	12,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	273,00	45,20	<LOD	<LOD	25,00	43,60	<LOD	86,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	15,20	11,20	<LOD	<LOD	22,60	40,00	<LOD	75,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	66,80	27,40	<LOD	<LOD	20,20	36,20	<LOD	81,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	12,00	19,40	<LOD	<LOD	18,80	28,40	<LOD	71,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	63,89	39,62	25,73		22,52	35,52	36,43	79,36	79,68	13,33					
Desviación Estándar	40,23	51,08	13,05		1,23	6,19	6,25	2,95	6,17	1,84					
n	25	28	5	0	25	28	4	25	4	7	0	0	0	0	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															



## I.2 EL SALADO

MPS			
El Salado	Gravimetría	pH	CE
	(g/m <sup>2</sup> ) x mes		μS/cm
[09.04.15-16.04.15]	120,11	5,01	43,10
[16.04.15-23.04.15]	23,65	6,46	15,77
[23.04.15-27.04.15]	19,08	4,87	93,80
[30.04.15-07.05.15]	18,77	6,03	13,90
[07.05.15-14.05.15]	17,20	5,57	38,47
[14.05.15-21.05.15]	16,22	5,77	19,84
[21.05.15-28.05.15]	11,73	5,33	25,87
[28.05.15-04.06.15]	10,63	5,45	62,10
[04.06.15-11.06.15]	12,32	5,47	25,13
[11.06.15-18.06.15]	7,98	5,74	19,65
[18.06.15-25.06.15]	12,62	6,03	31,47
[25.06.15-02.07.15]	10,64	6,04	22,39
[02.07.15-09.07.15]	12,02	4,99	20,69
[09.07.15-16.07.15]	7,98	5,22	19,25
[16.07.15-23.07.15]	10,97	5,11	33,78
[23.07.15-30.07.15]	8,16	4,75	36,78
[30.07.15-06.08.15]	11,19	5,66	80,12
[06.08.15-13.08.15]	7,79	6,02	26,69
[13.08.15-20.08.15]	9,40	5,12	17,77
[20.08.15-27.08.15]	11,02	4,59	27,05
[27.08.15-03.09.15]	8,07	7,13	66,60
[03.09.15-10.09.15]	10,01	7,41	88,20
[10.09.15-17.09.15]	8,10	7,08	26,20
[17.09.15-24.09.15]	7,89	7,51	61,30
[24.09.15-01.10.15]	6,74	6,69	109,50
[01.10.15-08.10.15]	9,77	6,61	119,60
[08.10.15-15.10.15]	6,34	6,98	100,08
[15.10.15-22.10.15]	7,38	7,61	72,80
[22.10.15-29.10.15]	6,09	6,05	71,60
[29.10.15-05.11.15]	2,26	5,19	117,80
[05.11.15-12.11.15]	3,52	5,01	79,20
[12.11.15-19.11.15]	3,80	7,17	106,40
[19.11.15-26.11.15]	4,23	5,28	128,50
[26.11.15-03.12.15]	3,16	6,45	75,26
[03.12.15-10.12.15]	3,16	6,25	74,15
Promedio	12,86	5,93	56,31
Desviación Estándar	19,28	0,86	35,58
n	35	35	35
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN			

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
El Salado	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[09.04.15-16.04.15]	14502,27	53540,30	257893,37	851,07	520,00	299,20	15702,11	32993,65	2401,51	50,40	39,25	411,03	16587,13	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	14005,88	31229,41	361134,93	666,30	<LOD	<LOD	5751,24	16454,99	609,18	20,00	27,33	103,03	3946,97	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	<LOD	19182,07	401997,43	600,28	280,33	<LOD	3416,11	10060,83	360,00	15,67	<LOD	66,99	2019,83	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	16423,07	59390,20	252419,10	965,22	515,40	501,40	14226,53	39538,46	2041,03	44,60	<LOD	311,70	14127,07	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	13006,95	39733,40	345544,98	753,84	387,60	533,50	7040,89	16836,12	669,32	24,50	<LOD	95,79	3725,53	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	9616,85	12009,68	410966,07	487,80	<LOD	<LOD	2364,67	6834,12	241,64	13,20	<LOD	40,04	1363,05	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	13289,40	40683,59	309942,67	779,39	280,67	<LOD	8930,97	26580,65	1095,81	23,75	33,00	152,92	6244,59	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	10464,26	20874,34	312435,52	549,36	284,67	283,50	5063,83	15268,89	682,38	18,33	<LOD	96,25	3651,30	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	11577,12	31739,15	346079,32	636,21	259,80	233,00	6318,62	17299,08	636,26	19,00	24,67	94,56	3403,15	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	12142,85	35098,73	343300,48	733,35	502,00	750,80	7021,47	18542,44	692,80	18,33	<LOD	97,17	3762,16	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	12558,44	22451,61	390140,58	583,11	482,40	269,00	4102,86	11766,58	416,31	18,00	<LOD	58,52	2606,29	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	<LOD	17299,25	423107,23	510,64	<LOD	<LOD	2668,95	6877,53	220,07	11,20	<LOD	44,97	1293,15	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	10401,00	28375,67	363532,69	577,79	482,60	360,50	5307,52	14159,05	529,52	20,33	<LOD	75,92	2672,14	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	14288,93	39017,14	327732,29	635,60	570,40	<LOD	8525,59	16839,26	875,98	24,67	60,80	135,98	4977,02	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	9617,55	7826,34	419526,93	424,75	242,25	<LOD	1679,42	6045,15	180,90	12,33	<LOD	42,54	1051,16	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	9196,35	7148,91	424863,34	408,01	210,80	452,60	1546,12	5925,06	167,24	11,20	<LOD	43,27	1096,59	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	13921,82	39387,22	319514,68	819,42	536,25	324,00	8744,88	23318,81	1091,62	34,75	<LOD	155,23	6465,19	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	11116,46	21970,11	382449,18	585,20	549,60	<LOD	4358,66	13446,05	499,93	13,00	<LOD	67,45	2656,48	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	520565,62	<LOD	<LOD	<LOD	249,00	3303,07	66,40	<LOD	<LOD	<LOD	342,19	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	11543,83	24305,54	365829,21	658,19	408,80	628,75	4845,21	15427,54	505,32	20,00	<LOD	74,54	2513,60	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	12278,59	47881,91	250087,84	845,58	723,40	741,80	11830,16	38233,56	1563,75	31,75	34,67	255,95	9356,67	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	<LOD	<LOD	453503,23	371,30	<LOD	<LOD	354,24	3191,01	69,12	<LOD	<LOD	31,06	360,54	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	<LOD	5762,19	443681,10	449,34	<LOD	<LOD	1141,58	5499,94	121,00	<LOD	<LOD	<LOD	704,31	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	11466,82	20362,60	376828,52	1357,60	<LOD	<LOD	3312,39	8200,91	552,40	<LOD	<LOD	58,30	2728,00	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	9494,39	26063,83	295236,44	1640,80	318,75	<LOD	5923,92	17099,05	1465,80	24,25	<LOD	105,27	6803,00	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	12486,09	44521,16	226375,30	1978,80	509,60	183,43	10565,77	32323,84	2884,80	46,00	<LOD	201,17	13340,00	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	<LOD	458470,53	393,18	<LOD	<LOD	215,63	3031,93	48,88	<LOD	<LOD	33,11	301,69	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	20720,88	212452,16	1525,40	317,80	174,72	5570,06	15784,61	1417,60	<LOD	39,27	81,08	6036,00	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	32247,63	208113,32	704,49	<LOD	<LOD	126,66	2949,11	47,17	<LOD	<LOD	<LOD	429,47	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	652,38	2704,77	246,43	<LOD	<LOD	49,00	2615,80	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	193091,14	7613,34	<LOD	531392,75	<LOD	<LOD	101,95	<LOD	127,50	<LOD	1037,18	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	506894,25	<LOD	148,24	<LOD	109580,60	296,93	3925,75	68,53	<LOD	<LOD	<LOD	703,33	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	348187,91	78225,99	<LOD	735,67	358,73	2258,38	1440,45	<LOD	<LOD	<LOD	354,11	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	2674,27	343659,23	74435,23	568,00	1313,75	940,06	5126,66	674,59	29,75	<LOD	73,00	2178,78	608,00	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	447186,59	400,42	<LOD	<LOD	334,32	3913,01	64,33	<LOD	<LOD	56,00	969,65	<LOD	<LOD
Promedio	12219,53	60740,56	313001,86	38991,06	650,34	32489,80	4297,74	12073,14	2699,16	271,81	46,39	112,87	3047,64	5903,00	
Desviación Estándar	1974,82	128817,32	128886,61	94720,64	498,28	119929,80	4232,98	10244,28	6577,07	675,50	32,56	100,71	3785,79	4854,23	
n	18	28	32	33	22	20	32	34	34	25	9	27	34	5	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
El Salado	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
[09.04.15-16.04.15]	195,00	60,40	11,60	<LOD	26,20	50,40	<LOD	90,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	46,00	20,00	<LOD	<LOD	22,40	37,00	<LOD	82,60	<LOD	11,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	26,60	19,60	<LOD	<LOD	22,60	36,60	<LOD	77,40	<LOD	11,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	164,40	29,80	7,00	<LOD	24,20	45,80	<LOD	89,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	68,60	25,20	<LOD	<LOD	23,00	36,00	<LOD	82,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	21,40	14,80	<LOD	<LOD	24,20	35,60	<LOD	79,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	75,60	26,00	<LOD	<LOD	23,00	43,40	<LOD	79,20	<LOD	12,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	67,20	38,20	<LOD	<LOD	21,40	38,40	<LOD	78,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	48,60	17,40	<LOD	<LOD	22,80	36,60	<LOD	81,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	55,00	19,60	<LOD	<LOD	24,40	41,60	<LOD	83,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	49,60	19,60	<LOD	<LOD	23,00	37,60	<LOD	81,80	<LOD	15,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	28,00	17,60	<LOD	<LOD	23,00	36,80	<LOD	79,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	49,00	23,40	<LOD	<LOD	22,20	37,20	<LOD	80,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	71,60	46,80	<LOD	<LOD	23,00	36,40	<LOD	83,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	29,20	18,80	<LOD	<LOD	20,80	33,40	<LOD	76,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	33,60	16,40	<LOD	<LOD	21,60	36,00	<LOD	76,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	91,80	27,60	<LOD	<LOD	22,60	42,00	<LOD	85,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	75,60	19,00	<LOD	<LOD	21,80	39,00	10,00	83,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	14,00	<LOD	<LOD	22,00	36,40	<LOD	74,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	45,20	22,80	<LOD	<LOD	24,00	38,20	<LOD	79,20	<LOD	11,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	119,20	53,80	7,75	<LOD	25,40	49,00	<LOD	86,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	11,60	13,40	<LOD	<LOD	21,60	38,00	<LOD	73,60	<LOD	14,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	16,60	15,00	<LOD	<LOD	22,00	37,80	<LOD	77,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	34,20	20,60	<LOD	<LOD	24,80	36,60	<LOD	76,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	74,20	22,80	<LOD	<LOD	22,40	40,60	<LOD	81,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	140,60	32,60	<LOD	<LOD	23,80	45,20	<LOD	89,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	11,00	14,40	<LOD	<LOD	21,80	36,00	<LOD	76,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	54,80	15,60	<LOD	<LOD	19,20	33,20	<LOD	74,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	12,80	<LOD	<LOD	20,80	34,80	<LOD	69,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	50,00	20,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD							
[05.11.15-12.11.15]	15,20	29,20	<LOD	<LOD	19,00	35,50	<LOD	85,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	13,25	16,20	<LOD	<LOD	21,00	37,00	<LOD	79,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	12,33	10,60	<LOD	<LOD	22,00	30,60	<LOD	75,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	33,25	9,50	<LOD	<LOD	13,00	31,40	<LOD	32,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	13,40	<LOD	<LOD	<LOD	12,60	29,80	<LOD	30,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	51,73	29,76	16,85	22,00	22,39	36,00	40,07	77,00	80,60	12,81					
Desviación Estándar	44,18	25,20	9,19		3,90	6,77	20,96	13,53	6,33	1,64					
n	30	33	7	1	30	33	6	29	4	6	0	0	0	0	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															



### I.3 CHAÑARAL HOSPITAL

MPS			
CHAÑARAL HOSPITAL	Gravimetría	pH	CE
	(g/m <sup>2</sup> ) x mes		μS/cm
[09.04.15-16.04.15]	110,74	6,72	79,20
[16.04.15-23.04.15]	21,23	5,45	63,10
[23.04.15-27.04.15]	12,23	5,34	86,10
[30.04.15-07.05.15]	5,72	5,77	85,20
[07.05.15-14.05.15]	4,28	5,11	32,56
[14.05.15-21.05.15]	8,03	5,33	27,58
[21.05.15-28.05.15]	12,21	5,39	25,10
[28.05.15-04.06.15]	10,22	5,09	35,12
[04.06.15-11.06.15]	10,08	5,22	26,35
[11.06.15-18.06.15]	10,50	4,96	22,69
[18.06.15-25.06.15]	13,40	5,75	55,78
[25.06.15-02.07.15]	9,26	5,68	29,78
[02.07.15-09.07.15]	9,86	5,77	32,78
[09.07.15-16.07.15]	9,51	5,02	19,45
[16.07.15-23.07.15]	11,35	4,81	36,05
[23.07.15-30.07.15]	7,20	5,14	19,07
[30.07.15-06.08.15]	9,80	5,36	19,52
[06.08.15-13.08.15]	13,40	5,74	19,47
[13.08.15-20.08.15]	8,85	4,81	22,52
[20.08.15-27.08.15]	11,60	5,45	17,88
[27.08.15-03.09.15]	9,36	7,64	28,30
[03.09.15-10.09.15]	10,41	8,25	36,60
[10.09.15-17.09.15]	6,96	7,94	43,20
[17.09.15-24.09.15]	11,65	8,19	15,15
[24.09.15-01.10.15]	8,16	6,82	42,80
[01.10.15-08.10.15]	7,34	6,55	39,30
[08.10.15-15.10.15]	5,86	7,72	28,10
[15.10.15-22.10.15]	8,30	7,98	26,60
[22.10.15-29.10.15]	7,12	6,06	26,70
[29.10.15-05.11.15]	2,84	5,49	33,10
[05.11.15-12.11.15]	3,12	7,33	19,70
[12.11.15-19.11.15]	3,66	6,39	30,70
[19.11.15-26.11.15]	4,26	5,82	30,90
[26.11.15-03.12.15]	3,30	6,91	22,69
[03.12.15-10.12.15]	3,98	6,23	81,45
Promedio	11,59	6,09	36,02
Desviación Estándar	17,65	1,06	19,91
n	35	35	35

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
CHAÑARAL HOSPITAL	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[09.04.15-16.04.15]	<LOD	2116,00	443494,68	409,49	<LOD	<LOD	533,69	2818,59	68,77	<LOD	<LOD	<LOD	405,84	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	<LOD	5448,17	437009,73	423,70	<LOD	<LOD	1197,19	4817,50	153,46	<LOD	<LOD	<LOD	880,18	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	<LOD	519495,35	<LOD	45,00	<LOD	<LOD	2817,35	54,98	<LOD	<LOD	<LOD	298,45	<LOD	<LOD	11,00
[30.04.15-07.05.15]	<LOD	8956,18	439919,04	478,12	<LOD	<LOD	1541,31	4527,47	159,69	<LOD	<LOD	37,35	748,21	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	<LOD	4226,39	445994,71	359,18	<LOD	<LOD	986,37	3138,03	104,47	<LOD	<LOD	<LOD	539,77	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	<LOD	<LOD	446822,70	398,50	<LOD	<LOD	202,52	2474,72	66,01	<LOD	<LOD	<LOD	307,00	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	8149,91	7567,56	397310,15	437,92	309,60	<LOD	1629,29	4533,19	173,59	14,40	<LOD	33,37	754,22	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	<LOD	517957,76	<LOD	45,00	<LOD	205,75	2790,63	57,41	<LOD	<LOD	<LOD	305,54	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	<LOD	2680,33	<LOD	318,89	<LOD	14,01	613,97	2601,48	<LOD	<LOD	<LOD	25,50	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	<LOD	4663,35	447082,54	437,92	305,40	<LOD	1002,64	4068,37	106,14	<LOD	<LOD	40,55	659,16	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	<LOD	4328,60	430390,38	387,60	<LOD	<LOD	1049,45	4014,39	123,39	9,60	<LOD	38,76	669,92	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	<LOD	9581,04	426546,41	506,89	498,80	<LOD	1940,37	6103,41	189,40	11,00	<LOD	44,15	1011,17	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	15952,49	59621,26	298036,22	922,05	1070,60	<LOD	11521,73	15283,46	921,62	29,40	65,60	136,91	4990,16	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	<LOD	<LOD	460523,08	377,75	<LOD	<LOD	96,70	2832,72	40,25	<LOD	<LOD	34,14	263,24	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	<LOD	7205,93	437228,00	427,19	235,33	<LOD	1380,29	4704,83	137,29	<LOD	<LOD	40,55	734,09	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	<LOD	2043,17	454912,27	403,04	<LOD	<LOD	452,02	3286,11	70,44	<LOD	<LOD	33,37	388,08	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	12449,06	24916,32	392513,69	654,17	529,00	<LOD	4596,87	9098,07	397,26	15,40	<LOD	62,52	1995,23	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	<LOD	446800,20	383,94	<LOD	<LOD	141,10	2551,41	49,72	<LOD	<LOD	<LOD	224,94	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	10753,00	27537,31	376369,50	717,66	745,20	392,00	5637,36	13500,17	541,50	20,00	<LOD	96,83	3042,89	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	<LOD	5481,71	429565,19	475,33	496,80	<LOD	1349,58	5048,55	150,95	10,00	<LOD	35,04	780,92	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	<LOD	5442,14	269044,30	155195,33	711,00	<LOD	943,43	3239,42	2478,30	<LOD	<LOD	<LOD	445,26	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	<LOD	<LOD	450990,21	374,96	<LOD	<LOD	118,36	2810,30	49,42	<LOD	<LOD	37,73	274,57	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	6561,50	440364,66	479,95	367,20	<LOD	1509,11	4588,45	153,70	<LOD	<LOD	38,50	815,03	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	<LOD	456670,43	400,16	132,00	<LOD	380,35	3465,47	59,90	<LOD	<LOD	<LOD	379,98	<LOD	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	<LOD	458828,25	379,32	<LOD	<LOD	93,79	2869,28	35,19	<LOD	<LOD	<LOD	257,23	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	6071,86	176661,80	226586,15	767,20	286,00	<LOD	2367,05	2390,61	203,75	<LOD	<LOD	332,20	1152,33	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	2348,08	255155,75	829,00	<LOD	<LOD	711,29	1834,38	214,60	<LOD	48,82	<LOD	808,40	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	22424,84	289852,52	638,83	1495,75	<LOD	3041,12	11546,67	416,42	25,00	<LOD	112,50	2120,35	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	10622,11	1742,61	34976,18	<LOD	<LOD	16161,26	244119,74	526,40	784,00	<LOD	2891,80	8983,83	874,00	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	196614,85	7984,03	<LOD	<LOD	306727,88	<LOD	173,11	<LOD	<LOD	656,33	1438,31	391,67	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	458020,43	451,26	<LOD	<LOD	229,91	2877,42	662,73	<LOD	<LOD	<LOD	323,29	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	459838,46	391,53	388,60	<LOD	351,75	2945,82	817,99	<LOD	<LOD	<LOD	370,99	645,00	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	338200,93	531,40	812,40	746,34	4414,95	848,66	<LOD	<LOD	<LOD	815,87	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	257935,86	<LOD	<LOD	313,41	4113,64	68,65	<LOD	<LOD	<LOD	715,22	<LOD	<LOD
Promedio	11826,11	57497,68	374879,14	37875,28	588,31	342,03	11628,04	11684,37	450,63	121,56	65,60	240,41	1188,91	774,28	11,00
Desviación Estándar	3270,12	149840,90	129830,42	91114,44	345,26	297,09	53956,13	41862,15	652,79	232,88		625,51	1775,97	281,58	
n	4	22	29	34	16	5	32	33	31	11	1	21	30	5	1
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
CHAÑARAL HOSPITAL	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
[09.04.15-16.04.15]	12,00	15,80	<LOD	<LOD	20,80	37,60	<LOD	76,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	12,67	14,00	<LOD	<LOD	22,60	35,40	<LOD	76,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	21,40	<LOD	<LOD	22,20	35,40	<LOD	77,20	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	15,60	13,40	<LOD	<LOD	21,40	33,60	<LOD	77,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	16,20	14,60	<LOD	<LOD	21,40	37,00	<LOD	76,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	24,00	34,80	<LOD	74,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	46,00	16,20	<LOD	<LOD	20,00	34,40	<LOD	70,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	14,00	<LOD	<LOD	21,20	36,00	<LOD	75,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	11,20	<LOD	<LOD	1,79	17,05	<LOD	2,59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	17,80	14,20	<LOD	<LOD	21,60	36,80	<LOD	75,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	17,00	16,00	<LOD	<LOD	21,40	36,80	<LOD	77,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	31,20	18,80	<LOD	<LOD	22,80	36,20	<LOD	76,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	138,00	84,40	<LOD	<LOD	22,80	36,20	<LOD	83,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	<LOD	16,00	<LOD	<LOD	23,20	38,00	<LOD	74,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	21,60	19,00	<LOD	<LOD	24,80	37,20	<LOD	77,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	12,75	15,20	<LOD	<LOD	21,80	38,40	10,00	78,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	60,80	24,40	<LOD	<LOD	23,00	36,60	9,00	81,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	12,40	16,80	<LOD	<LOD	20,00	32,00	<LOD	69,20	<LOD	14,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	100,80	27,40	<LOD	<LOD	23,00	37,60	<LOD	78,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	45,20	77,40	<LOD	<LOD	23,40	36,20	<LOD	76,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	26,67	27,80	<LOD	<LOD	19,67	32,40	40,50	74,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	10,40	14,40	<LOD	<LOD	22,60	35,00	<LOD	75,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	72,40	21,40	<LOD	<LOD	23,40	35,00	<LOD	77,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	15,00	13,40	<LOD	<LOD	22,20	34,20	<LOD	75,60	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	13,40	<LOD	<LOD	20,00	34,40	<LOD	75,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	34,40	18,00	<LOD	<LOD	27,60	37,00	<LOD	76,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	23,00	13,25	<LOD	<LOD	19,80	29,40	<LOD	70,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	78,00	41,25	<LOD	<LOD	20,40	35,20	<LOD	69,00	<LOD	12,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	80,20	67,75	3396,25	<LOD	<LOD	62,80	20,50	<LOD	<LOD	16,00	30,25	<LOD	61,75	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	34,67	27,75	490,00	<LOD	<LOD	27,80	20,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	10,67	16,60	<LOD	<LOD	22,75	33,40	<LOD	77,75	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	11,67	16,50	<LOD	<LOD	22,50	31,60	<LOD	63,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	15,25	11,67	<LOD	<LOD	15,00	29,20	<LOD	43,00	<LOD	13,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	12,00	<LOD	<LOD	<LOD	14,20	33,20	<LOD	31,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	33,57	24,86	979,38	15,06	22,31	35,05	32,27	72,64	52,62	13,73	30,25		61,75		
Desviación Estándar	32,16	18,92	1626,70	11,51	4,36	6,42	26,25	11,07	36,19	1,40					
n	29	30	4	3	30	31	10	27	3	5	1	0	1	0	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															



#### I.4 CHAÑARAL AEROPUERTO

MPS			
CHAÑARAL AEROPUERTO	Gravimetría (g/m <sup>2</sup> ) x mes	pH	CE μS/cm
[09.04.15-16.04.15]	103,52	5,79	155,60
[16.04.15-23.04.15]	22,76	5,72	75,80
[23.04.15-27.04.15]	15,70	5,87	39,70
[30.04.15-07.05.15]	6,77	5,23	189,40
[07.05.15-14.05.15]	4,96	6,01	65,22
[14.05.15-21.05.15]	10,43	5,11	71,02
[21.05.15-28.05.15]	11,85	4,78	56,22
[28.05.15-04.06.15]	10,88	4,98	42,11
[04.06.15-11.06.15]	12,38	4,99	19,02
[11.06.15-18.06.15]	9,13	5,48	30,25
[18.06.15-25.06.15]	15,14	5,88	17,69
[25.06.15-02.07.15]	11,10	5,18	27,15
[02.07.15-09.07.15]	11,25	5,01	17,89
[09.07.15-16.07.15]	10,36	4,98	20,11
[16.07.15-23.07.15]	10,28	5,77	29,12
[23.07.15-30.07.15]	6,97	5,02	32,58
[30.07.15-06.08.15]	11,25	5,63	48,22
[06.08.15-13.08.15]	6,89	5,78	35,12
[13.08.15-20.08.15]	8,21	5,85	60,25
[20.08.15-27.08.15]	11,31	5,33	22,36
[27.08.15-03.09.15]	7,24	7,23	84,60
[03.09.15-10.09.15]	S/I	S/I	S/I
[10.09.15-17.09.15]	S/I	S/I	S/I
[17.09.15-24.09.15]	S/I	S/I	S/I
[24.09.15-01.10.15]	S/I	S/I	S/I
[01.10.15-08.10.15]	S/I	S/I	S/I
[08.10.15-15.10.15]	7,94	7,29	82,50
[15.10.15-22.10.15]	7,52	7,41	99,30
[22.10.15-29.10.15]	7,56	5,15	23,20
[29.10.15-05.11.15]	2,59	5,38	36,50
[05.11.15-12.11.15]	3,35	5,24	40,80
[12.11.15-19.11.15]	3,62	7,36	54,30
[19.11.15-26.11.15]	3,77	5,75	46,70
[26.11.15-03.12.15]	2,87	5,98	25,89
[03.12.15-10.12.15]	3,72	6,78	15,89
Promedio	12,04	5,73	52,15
Desviación Estándar	17,82	0,76	39,87
n	30	30	30
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN			
S/I=Sin información. No se recolectaron muestras.			

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
CHAÑARAL AEROPUERTO	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[09.04.15-16.04.15]	5760,55	5760,55	408613,91	512,41	<LOD	<LOD	2214,23	6963,82	285,42	13,50	<LOD	36,45	1121,20	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	<LOD	518259,08	<LOD	<LOD	<LOD	175,40	2901,51	48,69	<LOD	<LOD	<LOD	305,54	<LOD	<LOD	8,33
[23.04.15-27.04.15]	<LOD	4792,63	439390,40	662,55	<LOD	<LOD	1245,83	4358,83	134,89	<LOD	<LOD	<LOD	743,46	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	<LOD	3422,00	450225,45	428,68	<LOD	<LOD	808,09	3639,54	96,32	<LOD	<LOD	33,88	534,04	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	<LOD	4178,68	443186,46	418,73	<LOD	<LOD	944,71	3344,66	109,26	<LOD	<LOD	34,65	550,53	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	<LOD	<LOD	446100,35	400,51	<LOD	<LOD	219,95	2791,17	54,51	<LOD	<LOD	30,80	292,74	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	9183,09	9116,47	399277,53	488,84	240,20	<LOD	1692,87	4309,56	186,17	15,40	<LOD	<LOD	774,07	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	8698,07	15817,10	406769,96	462,71	<LOD	<LOD	5625,12	12590,50	728,38	17,00	<LOD	109,92	3989,89	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	<LOD	3965,65	444748,66	438,96	<LOD	<LOD	865,36	3645,54	99,19	<LOD	<LOD	<LOD	524,53	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	<LOD	6428,62	440438,25	545,78	407,80	<LOD	1428,10	5035,27	153,94	<LOD	<LOD	40,55	789,87	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	<LOD	4475,66	441140,34	590,95	505,60	<LOD	1153,70	3925,29	142,08	<LOD	<LOD	<LOD	660,97	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	<LOD	2330,35	457415,95	426,15	<LOD	<LOD	580,17	3647,54	76,67	<LOD	<LOD	<LOD	445,68	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	<LOD	16884,41	416257,83	494,77	263,67	<LOD	2817,02	6219,80	269,19	11,60	<LOD	45,43	1237,09	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	12642,14	50618,95	339262,24	1105,09	1242,20	<LOD	8408,40	11970,78	665,01	23,75	76,60	102,10	3728,05	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	9815,84	15095,86	405740,62	623,57	677,20	<LOD	3254,93	9900,75	330,77	13,67	<LOD	54,29	1631,47	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	<LOD	5385,48	437259,67	407,31	359,67	420,80	1083,48	4795,65	141,48	<LOD	<LOD	<LOD	642,10	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	<LOD	5178,38	444450,62	447,95	255,00	<LOD	1086,64	4124,35	127,47	<LOD	<LOD	<LOD	636,09	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	9733,22	35970,94	360463,38	843,83	1325,60	853,80	6398,97	11270,35	525,80	20,75	<LOD	61,45	2422,31	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	9779,52	430820,11	489,28	381,40	<LOD	1866,01	5857,94	185,93	12,33	<LOD	<LOD	1050,32	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	9391,93	11413,81	412052,69	591,74	358,80	<LOD	2538,80	7895,55	281,53	13,00	<LOD	38,12	1287,56	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	<LOD	3630,17	444055,73	452,74	335,50	<LOD	716,12	3753,64	101,59	<LOD	<LOD	<LOD	526,91	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[10.09.15-17.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[17.09.15-24.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[24.09.15-01.10.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[01.10.15-08.10.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	6094,19	444693,46	427,72	<LOD	<LOD	1127,47	4426,80	133,58	<LOD	<LOD	<LOD	728,92	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	10113,35	247452,15	776,40	<LOD	249,62	2193,12	3624,43	514,40	<LOD	41,43	39,84	1860,20	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	6052,61	433494,34	391,09	594,33	<LOD	8737,00	26910,48	1491,51	<LOD	<LOD	182,50	6146,31	701,00	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	12251,53	1316,63	15800,64	3010,40	856,00	6700,26	6194,09	<LOD	<LOD	<LOD	920,40	6961,34	<LOD	15,00
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	218774,18	7282,25	<LOD	430965,80	<LOD	<LOD	112,16	<LOD	126,25	283,00	665,45	21,00	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	453442,62	397,54	5261,00	109717,00	6170,22	114,60	<LOD	<LOD	<LOD	745,20	<LOD	<LOD	12,50
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	454624,78	359,18	<LOD	3295,80	2968,08	3549,87	1993,92	<LOD	<LOD	380,67	773,44	2520,00	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	<LOD	452882,96	413,94	506,00	7443,75	2603,88	5465,96	1351,34	<LOD	<LOD	59,75	1091,42	2344,00	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	255908,98	<LOD	4955,80	498,17	4644,57	73,44	<LOD	<LOD	49,67	860,19	<LOD	<LOD
Promedio	9317,83	32908,81	390607,59	18595,38	970,63	62076,02	2651,89	5985,82	499,11	65,54	101,43	177,79	1459,14	1489,24	11,94
Desviación Estándar	2022,11	106402,49	118922,67	64642,98	1294,84	142820,23	2470,78	5049,38	791,36	157,76	35,11	248,01	1704,88	1084,87	3,37
n	7	23	28	29	17	9	29	29	27	10	2	20	28	5	3

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

S/I=Sin información. No se recolectaron muestras.

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
CHAÑARAL AEROPUERTO	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
[09.04.15-16.04.15]	45,00	20,75	<LOD	<LOD	21,75	35,75	<LOD	75,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	11,00	<LOD	<LOD	21,80	37,20	<LOD	75,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	18,40	23,00	<LOD	<LOD	22,40	36,40	<LOD	77,00	<LOD	12,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	13,60	15,20	<LOD	<LOD	20,80	36,00	<LOD	77,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	17,80	15,60	<LOD	<LOD	20,80	33,40	<LOD	75,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	10,25	15,80	<LOD	<LOD	22,20	36,20	<LOD	73,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	30,20	24,40	<LOD	<LOD	21,00	36,00	<LOD	78,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	69,75	30,25	<LOD	<LOD	21,75	39,75	<LOD	75,00	<LOD	14,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	16,80	12,20	<LOD	<LOD	22,20	35,80	<LOD	76,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	28,80	15,20	<LOD	<LOD	21,00	36,20	<LOD	77,00	<LOD	14,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	22,80	17,20	<LOD	<LOD	19,60	36,60	<LOD	77,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	12,60	16,40	<LOD	<LOD	22,20	35,60	<LOD	76,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	32,00	16,00	<LOD	<LOD	20,80	35,40	<LOD	77,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	128,80	78,60	8,00	<LOD	22,80	36,20	10,00	82,00	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	53,80	22,60	<LOD	<LOD	22,20	36,80	<LOD	78,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	19,00	21,40	<LOD	<LOD	22,20	35,80	<LOD	76,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	17,20	17,20	<LOD	<LOD	22,00	38,20	<LOD	80,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	130,20	49,80	<LOD	<LOD	23,80	34,20	<LOD	81,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	45,80	19,40	<LOD	<LOD	22,40	37,40	<LOD	73,80	<LOD	12,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	48,00	23,20	<LOD	<LOD	21,40	37,60	<LOD	78,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	17,60	14,20	<LOD	<LOD	22,80	37,80	<LOD	75,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[10.09.15-17.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[17.09.15-24.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[24.09.15-01.10.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[01.10.15-08.10.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[08.10.15-15.10.15]	24,40	31,00	<LOD	<LOD	21,40	35,40	<LOD	75,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	34,60	34,60	<LOD	<LOD	18,20	29,60	<LOD	71,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	70,75	27,25	<LOD	<LOD	20,75	31,40	<LOD	75,75	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	25,40	<LOD	<LOD	21,75	35,80	<LOD	77,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	12,60	34,25	<LOD	<LOD	23,80	37,50	<LOD	85,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	14,40	<LOD	<LOD	22,00	33,00	<LOD	79,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	17,33	16,00	<LOD	<LOD	27,25	35,25	45,00	76,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	17,25	14,75	<LOD	<LOD	16,00	30,60	<LOD	45,25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	12,80	<LOD	<LOD	<LOD	13,25	31,00	<LOD	32,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	33,94	24,09	21,30	21,85	22,92	35,05	52,73	74,29	71,80	13,00					
Desviación Estándar	31,31	14,00	18,81	0,13	4,93	3,97	29,09	10,99		1,41					
n	29	26	2	3	29	27	6	26	1	5	0	0	0	0	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															
S/I=Sin información. No se recolectaron muestras.															

ELEMENTOS EN MPS (PPM)														
CHAÑARAL AEROPUERTO	Sb	Ba	La	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
[09.04.15-16.04.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	<LOD	329,33	<LOD											
[30.04.15-07.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	<LOD	315,00	<LOD											
[25.06.15-02.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	<LOD	295,00	<LOD											
[23.07.15-30.07.15]	<LOD	281,50	<LOD											
[30.07.15-06.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[10.09.15-17.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[17.09.15-24.09.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[24.09.15-01.10.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[01.10.15-08.10.15]	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	306,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	311,00	<LOD											
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	306,00	306,37	<LOD											
Desviación Estándar		18,51	<LOD											
n	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN  
S/I=Sin información. No se recolectaron muestras.

## I.5 PAIPOTE

<b>MPS</b>			
<b>Paipote</b>	<b>Gravimetría</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>
	<b>(g/m<sup>2</sup>) x mes</b>		<b>μS/cm</b>
[09.04.15-16.04.15]	79,78	6,98	21,12
[16.04.15-23.04.15]	35,03	6,33	29,90
[23.04.15-27.04.15]	15,69	6,01	23,70
[30.04.15-07.05.15]	12,65	5,40	19,10
[07.05.15-14.05.15]	16,98	5,41	42,11
[14.05.15-21.05.15]	10,06	5,48	21,20
[21.05.15-28.05.15]	10,81	5,26	19,23
[28.05.15-04.06.15]	9,13	5,12	22,33
[04.06.15-11.06.15]	11,37	5,19	21,78
[11.06.15-18.06.15]	8,81	5,61	23,96
[18.06.15-25.06.15]	13,67	5,66	34,02
[25.06.15-02.07.15]	11,19	4,91	45,15
[02.07.15-09.07.15]	11,51	5,12	51,27
[09.07.15-16.07.15]	8,01	5,14	22,36
[16.07.15-23.07.15]	11,19	5,36	32,25
[23.07.15-30.07.15]	7,61	4,68	41,02
[30.07.15-06.08.15]	11,10	5,47	56,73
[06.08.15-13.08.15]	7,39	5,95	32,05
[13.08.15-20.08.15]	8,71	5,66	39,01
[20.08.15-27.08.15]	10,68	4,77	19,36
[27.08.15-03.09.15]	9,02	7,78	22,40
[03.09.15-10.09.15]	7,93	7,84	31,70
[10.09.15-17.09.15]	7,11	7,16	60,90
[17.09.15-24.09.15]	9,02	7,26	44,01
[24.09.15-01.10.15]	7,37	6,79	31,20
[01.10.15-08.10.15]	8,05	6,66	29,70
[08.10.15-15.10.15]	7,06	8,11	29,90
[15.10.15-22.10.15]	6,43	7,82	28,20
[22.10.15-29.10.15]	6,70	5,11	24,40
[29.10.15-05.11.15]	2,57	5,23	42,50
[05.11.15-12.11.15]	3,21	5,36	61,20
[12.11.15-19.11.15]	3,72	6,02	60,10
[19.11.15-26.11.15]	3,81	6,18	20,80
[26.11.15-03.12.15]	3,10	6,02	33,25
[03.12.15-10.12.15]	3,25	5,14	41,26
<b>Promedio</b>	<b>11,42</b>	<b>5,94</b>	<b>33,69</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>13,16</b>	<b>0,97</b>	<b>12,79</b>
<b>n</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>
<b>&lt;LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN</b>			

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
Paipote	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[09.04.15-16.04.15]	10146,32	24904,79	335649,62	507,68	309,25	200,00	7386,00	23179,44	1350,75	37,00	<LOD	275,97	10419,01	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	18285,67	66136,11	243579,03	779,79	1035,50	192,33	14079,08	36322,25	2197,73	60,75	38,50	349,20	13493,15	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	12193,26	28325,09	372236,64	581,97	784,60	<LOD	4600,03	12290,51	496,21	17,60	42,00	78,39	2451,95	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	10527,29	22274,29	395385,55	537,24	1048,60	<LOD	3431,39	8093,05	313,52	18,25	21,00	62,37	2106,93	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	11364,44	22991,93	348811,41	533,88	864,75	<LOD	3444,29	7229,79	374,23	18,75	23,00	51,01	1718,32	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	12990,83	16437,51	393979,60	510,12	526,40	<LOD	2900,02	8005,23	350,06	20,50	33,50	50,97	1722,34	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	11085,07	16262,73	357714,43	491,46	562,80	<LOD	2863,00	9088,36	302,14	17,33	<LOD	53,90	1872,06	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	9431,28	6123,39	386061,61	391,44	363,60	<LOD	1243,84	3904,15	141,36	11,00	<LOD	35,57	1064,44	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	11260,22	17808,68	324003,85	527,65	516,80	<LOD	3624,11	11845,69	538,98	13,00	<LOD	65,91	2599,44	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	10520,84	31967,89	335809,43	631,42	1298,40	189,00	5828,09	17341,35	692,32	24,60	29,33	107,95	3919,29	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	9296,81	20976,01	388821,87	562,53	1329,40	242,00	3427,07	10810,96	354,97	16,40	24,00	59,75	2083,02	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	11451,87	27013,91	361447,14	556,99	1304,00	<LOD	4826,45	14382,64	526,67	19,25	29,00	74,88	2776,25	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	<LOD	2163,43	440454,41	383,24	231,75	<LOD	556,93	3602,13	89,13	8,00	<LOD	<LOD	506,50	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	16208,52	65668,26	267268,12	778,26	3087,60	275,25	12938,87	15831,66	1507,56	40,20	46,40	185,72	9912,52	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	10792,01	23709,15	380642,64	525,90	1156,00	<LOD	4019,86	10897,07	439,55	18,20	26,00	62,22	2382,89	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	10694,93	18648,94	395327,92	507,33	1015,80	<LOD	3242,31	8982,41	327,77	14,75	31,00	65,45	1996,48	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	12230,65	16757,03	410660,19	498,44	955,60	<LOD	2939,86	8377,22	303,45	13,33	<LOD	67,76	1869,41	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	12035,64	33497,13	330989,52	655,48	1412,00	251,67	6201,10	19002,25	761,09	32,75	38,00	120,74	4674,07	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	<LOD	453915,13	370,51	151,00	<LOD	203,52	3026,93	56,55	8,00	<LOD	35,42	371,17	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	10101,46	11540,77	402262,31	533,49	879,20	<LOD	2283,50	8825,75	255,53	13,50	26,00	49,02	1664,04	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	<LOD	9162,70	429796,82	487,62	646,80	<LOD	1544,13	5935,05	182,81	10,00	<LOD	42,35	978,60	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	<LOD	2507,99	451267,70	378,10	214,50	<LOD	579,67	3715,37	78,23	<LOD	<LOD	32,73	549,97	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	<LOD	1663,71	451012,82	398,50	189,50	<LOD	303,95	3445,91	62,42	<LOD	<LOD	<LOD	400,25	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	7312,16	271452,90	152307,88	747,60	820,50	1179,43	3749,21	3009,86	296,33	<LOD	39,27	540,89	2392,00	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	9224,38	26799,45	303144,52	1624,60	1185,60	<LOD	4967,73	15231,97	1211,20	24,00	20,02	96,88	5349,00	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	9599,13	22026,43	346393,45	1494,40	690,00	<LOD	4048,24	12216,61	1038,20	21,00	<LOD	67,24	4642,20	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	8423,91	17881,36	320623,43	556,68	<LOD	<LOD	206,84	2636,66	51,15	14,33	28,00	42,00	445,40	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	389,75	498,00	127,82	1496,12	3220,70	500,40	<LOD	82,00	181,04	2309,00	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	208484,52	76350,40	242,50	<LOD	182,81	2598,25	694,00	431,00	<LOD	41,00	242,27	1537,00	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	454282,56	453,79	173,00	<LOD	338,64	3859,74	54,51	<LOD	<LOD	50,00	510,97	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	451084,99	84009,44	254,40	<LOD	285,19	3791,63	54,39	<LOD	<LOD	<LOD	410,87	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	1996,80	440667,74	84663,96	267,33	965,50	554,44	4773,80	79,79	9,00	<LOD	59,00	935,96	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	458225,16	421,61	271,00	<LOD	231,74	3616,70	57,86	<LOD	<LOD	46,25	592,19	<LOD	<LOD
Promedio	11528,48	19724,27	353460,78	33138,46	792,14	500,90	3083,03	8777,98	1405,27	140,49	30,05	79,55	2289,57	3245,84	
Desviación Estándar	2326,34	16182,20	108068,29	84243,12	615,34	358,56	3439,04	7262,60	3297,41	306,03	7,67	72,64	3127,02	1650,75	
n	19	27	32	32	32	11	31	33	33	28	16	29	33	5	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
Paipote	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
[09.04.15-16.04.15]	133,40	59,60	14,67	<LOD	24,20	56,80	11,00	78,40	<LOD	16,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	209,75	54,00	9,33	<LOD	25,75	52,00	<LOD	86,25	<LOD	11,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	97,80	30,00	<LOD	<LOD	22,20	35,20	<LOD	80,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	150,40	23,00	10,00	<LOD	23,40	35,80	<LOD	76,60	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	94,75	18,50	<LOD	<LOD	20,50	36,75	<LOD	77,00	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	66,00	18,60	<LOD	<LOD	22,40	34,20	<LOD	76,80	<LOD	17,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	93,60	29,20	<LOD	<LOD	22,60	36,00	<LOD	80,20	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	72,80	60,80	<LOD	<LOD	21,20	36,80	<LOD	76,40	<LOD	14,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	78,40	35,00	8,00	<LOD	21,80	40,60	<LOD	78,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	154,80	38,40	9,00	<LOD	20,60	37,80	<LOD	81,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	85,40	30,80	9,50	<LOD	21,60	38,60	<LOD	79,40	<LOD	12,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	162,00	30,25	<LOD	<LOD	23,00	39,00	<LOD	82,00	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	29,60	14,00	<LOD	<LOD	22,40	35,40	<LOD	82,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	610,00	122,40	14,00	<LOD	25,00	40,40	<LOD	86,00	<LOD	13,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	150,20	28,00	<LOD	<LOD	21,80	38,80	<LOD	77,40	<LOD	12,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	158,80	40,40	<LOD	<LOD	23,20	37,00	<LOD	78,80	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	121,40	27,80	<LOD	<LOD	23,40	38,00	<LOD	77,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	180,20	75,40	8,00	<LOD	25,20	40,60	<LOD	82,00	<LOD	13,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	14,25	17,40	<LOD	<LOD	21,40	33,60	<LOD	74,40	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	125,40	31,60	<LOD	<LOD	21,00	34,20	<LOD	76,40	<LOD	10,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	54,20	21,00	10,00	<LOD	22,60	36,20	<LOD	76,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	18,00	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	28,20	16,20	<LOD	<LOD	21,40	37,40	10,00	76,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	21,00	20,80	<LOD	<LOD	20,80	35,00	<LOD	77,20	<LOD	10,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	70,67	71,00	41,50	<LOD	22,33	32,20	37,00	78,00	79,50	12,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	223,80	57,60	<LOD	<LOD	23,60	39,60	<LOD	83,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	109,80	42,00	<LOD	<LOD	23,60	38,20	<LOD	82,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	13,20	13,75	<LOD	<LOD	20,40	35,60	<LOD	67,40	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	13,00	56,20	20,00	<LOD	24,00	35,00	<LOD	80,00	12,00	<LOD	16,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	14,50	20,40	10,00	<LOD	22,75	38,00	10,00	75,75	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	18,00	13,40	<LOD	<LOD	22,00	36,60	<LOD	75,80	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	13,00	14,60	<LOD	<LOD	22,60	37,20	9,00	78,60	<LOD	14,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	16,40	10,33	<LOD	<LOD	15,00	34,40	9,00	41,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	12,75	10,25	<LOD	<LOD	13,00	31,20	<LOD	30,60	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	98,83	42,02	18,83		21,92	36,77	20,48	75,66	64,28	12,39	16,00		18,00		
Desviación Estándar	112,06	42,38	16,02		2,52	5,95	14,76	11,26	34,89	1,85					
n	31	33	14	0	31	33	8	31	4	21	1	0	1	0	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN															

ELEMENTOS EN MPS (PPM)														
Paipote	Sb	Ba	La	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
[09.04.15-16.04.15]	<LOD	332,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	22,00	<LOD	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	330,00	301,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	<LOD	293,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	<LOD	301,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	<LOD	295,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	14,00	<LOD	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	<LOD	281,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD						
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	330,00	304,63	281,50							14,00	22,00			
Desviación Estándar		15,78												
n	1	5	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN														

## I.6 TIERRA AMARILLA

MPS			
TIERRA AMARILLA	Gravimetría (g/m <sup>2</sup> ) x mes	pH	CE μS/cm
[09.04.15-16.04.15]	104,84	6,57	44,70
[16.04.15-23.04.15]	22,43	5,48	58,70
[23.04.15-27.04.15]	8,88	5,17	149,70
[30.04.15-07.05.15]	10,32	6,01	74,13
[07.05.15-14.05.15]	7,65	4,95	26,71
[14.05.15-21.05.15]	9,81	6,03	29,87
[21.05.15-28.05.15]	13,31	5,74	15,25
[28.05.15-04.06.15]	10,72	6,02	41,99
[04.06.15-11.06.15]	11,98	5,32	41,58
[11.06.15-18.06.15]	10,31	5,09	23,26
[18.06.15-25.06.15]	12,37	5,32	63,25
[25.06.15-02.07.15]	8,99	5,45	23,33
[02.07.15-09.07.15]	9,95	5,43	47,02
[09.07.15-16.07.15]	10,31	4,75	20,14
[16.07.15-23.07.15]	11,21	5,03	35,02
[23.07.15-30.07.15]	8,99	5,01	22,78
[30.07.15-06.08.15]	10,78	6,02	17,06
[06.08.15-13.08.15]	8,25	4,92	21,25
[13.08.15-20.08.15]	8,95	5,03	11,25
[20.08.15-27.08.15]	10,91	5,01	16,99
[27.08.15-03.09.15]	11,09	7,87	17,68
[03.09.15-10.09.15]	11,12	7,82	20,80
[10.09.15-17.09.15]	8,39	7,56	47,70
[17.09.15-24.09.15]	11,50	8,01	16,95
[24.09.15-01.10.15]	7,11	7,01	66,02
[01.10.15-08.10.15]	6,20	6,65	28,01
[08.10.15-15.10.15]	5,42	7,51	23,90
[15.10.15-22.10.15]	8,67	8,02	19,70
[22.10.15-29.10.15]	6,34	5,15	17,17
[29.10.15-05.11.15]	2,38	5,24	32,80
[05.11.15-12.11.15]	3,34	7,00	21,20
[12.11.15-19.11.15]	3,35	6,65	28,60
[19.11.15-26.11.15]	3,53	5,95	21,50
[26.11.15-03.12.15]	3,40	5,95	27,89
[03.12.15-10.12.15]	4,26	6,96	18,23
Promedio	11,63	6,05	34,06
Desviación Estándar	16,65	1,03	25,61
n	35	35	35
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN			

ELEMENTOS EN MPS (PPM)															
TIERRA AMARILLA	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[09.04.15-16.04.15]	13205,94	47993,00	304420,77	597,49	1130,80	250,00	13541,95	21371,31	1711,70	39,40	<LOD	242,40	9635,16	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	18040,19	60971,59	250396,06	697,86	949,20	207,60	12156,68	28972,41	1737,22	37,25	42,67	226,38	8349,69	<LOD	<LOD
[23.04.15-27.04.15]	<LOD	9282,89	431751,59	526,25	436,20	<LOD	1729,72	4300,99	163,17	11,67	24,00	43,12	1105,26	<LOD	<LOD
[30.04.15-07.05.15]	<LOD	15180,05	425604,65	525,93	1151,00	<LOD	2384,38	5792,68	196,02	11,00	<LOD	47,48	1315,17	<LOD	<LOD
[07.05.15-14.05.15]	9078,47	13684,91	395033,90	479,25	834,00	<LOD	2545,61	5324,01	256,37	14,80	<LOD	49,13	1371,58	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	10847,85	17399,44	398957,63	485,01	791,80	<LOD	3091,75	6598,65	294,95	11,20	<LOD	62,95	1777,98	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	9679,48	14604,10	414137,00	454,92	835,80	<LOD	2463,61	6368,74	229,54	12,60	<LOD	34,46	1256,94	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	<LOD	9913,99	424221,87	420,04	615,60	<LOD	1657,51	4603,59	158,85	9,75	<LOD	41,58	936,80	<LOD	<LOD
[04.06.15-11.06.15]	<LOD	6228,45	449710,17	427,80	249,00	<LOD	745,67	4106,50	103,03	8,00	<LOD	37,73	624,07	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	<LOD	<LOD	458815,73	379,49	<LOD	<LOD	151,89	2569,11	54,87	<LOD	<LOD	36,19	288,97	<LOD	<LOD
[18.06.15-25.06.15]	<LOD	11370,96	426839,49	486,31	851,40	<LOD	2098,74	6646,77	200,43	11,25	22,00	46,97	1254,15	<LOD	<LOD
[25.06.15-02.07.15]	9845,78	9253,16	418856,97	417,43	824,60	<LOD	1931,24	5497,94	192,28	9,50	<LOD	37,99	1302,94	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	10924,75	14012,47	409961,09	461,72	2116,00	<LOD	2783,49	6636,77	311,36	11,67	<LOD	55,44	2128,73	<LOD	<LOD
[09.07.15-16.07.15]	13366,82	51795,34	289682,15	718,70	3040,80	300,00	10520,42	11133,69	1067,30	33,20	39,67	131,82	6390,96	<LOD	<LOD
[16.07.15-23.07.15]	7291,48	10524,24	426532,02	437,05	1274,00	<LOD	2109,03	6069,14	211,33	16,00	<LOD	52,36	1442,18	<LOD	<LOD
[23.07.15-30.07.15]	9689,61	16823,47	397623,69	488,06	1641,40	<LOD	2966,75	6609,50	285,36	13,50	<LOD	50,82	1726,67	<LOD	<LOD
[30.07.15-06.08.15]	<LOD	<LOD	459269,47	370,25	167,00	<LOD	207,67	3047,78	55,95	<LOD	<LOD	42,35	385,85	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	8538,72	10676,81	407665,78	419,43	1219,40	<LOD	2221,41	5408,26	236,25	14,00	<LOD	36,38	1569,12	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	<LOD	446785,34	394,41	<LOD	<LOD	185,26	2927,97	53,07	8,50	<LOD	<LOD	314,69	<LOD	<LOD
[20.08.15-27.08.15]	10145,23	17649,56	377222,24	546,83	2617,40	<LOD	3800,90	10768,41	371,74	17,40	31,00	60,98	2977,60	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	<LOD	7915,96	432341,78	477,07	740,20	<LOD	1651,87	4979,29	151,43	8,50	<LOD	37,73	1109,03	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	<LOD	<LOD	457541,48	371,47	<LOD	<LOD	184,92	2970,38	51,75	<LOD	<LOD	33,11	330,91	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	<LOD	<LOD	449966,83	373,83	132,00	<LOD	207,50	2954,25	53,55	<LOD	<LOD	<LOD	356,07	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	8163,42	267957,69	144387,94	935,20	1549,00	1529,97	4305,71	3849,65	341,75	<LOD	35,93	656,64	3602,50	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	12148,04	14496,98	429660,17	405,39	698,50	<LOD	1157,35	3736,65	137,05	10,00	<LOD	43,89	756,74	<LOD	<LOD
[01.10.15-08.10.15]	10860,51	14878,87	361257,38	489,45	549,60	<LOD	2664,80	7938,68	275,30	15,00	<LOD	52,51	1769,45	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	<LOD	<LOD	452096,91	392,92	<LOD	<LOD	245,51	3029,50	66,49	<LOD	<LOD	<LOD	404,16	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	8677,47	7423,03	419782,00	478,73	234,00	<LOD	1394,07	4992,43	166,28	19,50	<LOD	44,28	1119,94	<LOD	<LOD
[22.10.15-29.10.15]	9469,87	<LOD	399119,03	369,03	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	13047,12	3493,16	36696,38	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	450195,66	388,21	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	457819,71	455,01	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	456660,99	398,94	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	2747,36	446172,17	482,48	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	455431,48	473,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	10738,14	16918,22	398656,69	5610,70	1001,45	576,65	2797,49	6773,61	451,51	29,80	31,87	63,36	1880,62	3602,50	
Desviación Estándar	2543,80	14766,98	87693,53	24911,62	727,81	649,33	3448,11	5704,36	797,29	68,58	9,19	54,96	2331,36		
n	16	24	35	35	24	4	28	28	28	23	5	25	28	1	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

ELEMENTOS EN MPS (PPM)																
TIERRA AMARILLA	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn	
[09.04.15-16.04.15]	118,00	55,80	11,00	<LOD	25,00	48,60	<LOD	86,00	<LOD	12,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[16.04.15-23.04.15]	92,40	35,40	7,00	<LOD	24,60	44,60	<LOD	89,40	<LOD	12,00	<LOD	<LOD	18,00	<LOD	<LOD	
[23.04.15-27.04.15]	40,00	17,80	<LOD	<LOD	21,80	34,80	<LOD	76,80	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[30.04.15-07.05.15]	57,75	18,00	<LOD	<LOD	22,75	39,00	<LOD	77,25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[07.05.15-14.05.15]	75,60	15,60	<LOD	<LOD	22,40	34,00	<LOD	79,00	<LOD	14,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[14.05.15-21.05.15]	63,20	19,20	7,00	<LOD	21,60	36,80	<LOD	75,00	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[21.05.15-28.05.15]	57,20	16,00	<LOD	<LOD	22,00	37,00	<LOD	76,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[28.05.15-04.06.15]	50,80	18,00	<LOD	<LOD	21,40	37,00	<LOD	77,60	<LOD	12,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[04.06.15-11.06.15]	27,40	13,80	<LOD	<LOD	21,20	34,60	<LOD	77,40	<LOD	16,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[11.06.15-18.06.15]	10,00	14,60	<LOD	<LOD	23,20	37,40	9,00	76,40	<LOD	12,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[18.06.15-25.06.15]	55,80	23,20	<LOD	<LOD	21,60	36,60	<LOD	78,00	<LOD	11,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[25.06.15-02.07.15]	60,60	18,00	<LOD	<LOD	22,60	36,80	<LOD	76,60	<LOD	10,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[02.07.15-09.07.15]	154,80	23,00	<LOD	<LOD	22,00	36,40	<LOD	76,40	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[09.07.15-16.07.15]	243,80	70,40	<LOD	<LOD	23,40	36,40	<LOD	83,20	<LOD	14,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[16.07.15-23.07.15]	101,00	16,80	<LOD	<LOD	22,60	36,00	<LOD	76,80	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[23.07.15-30.07.15]	115,00	24,00	<LOD	<LOD	21,60	35,00	<LOD	79,20	<LOD	12,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[30.07.15-06.08.15]	17,20	16,80	<LOD	<LOD	23,00	34,80	<LOD	79,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[06.08.15-13.08.15]	107,20	23,80	<LOD	<LOD	22,40	35,80	<LOD	75,60	<LOD	13,00	<LOD	<LOD	18,00	<LOD	<LOD	
[13.08.15-20.08.15]	11,50	18,20	<LOD	<LOD	23,80	35,80	<LOD	73,80	<LOD	11,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[20.08.15-27.08.15]	203,00	33,40	<LOD	<LOD	23,20	39,80	<LOD	79,80	<LOD	14,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[27.08.15-03.09.15]	51,80	17,60	<LOD	<LOD	22,40	36,20	<LOD	78,80	<LOD	12,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[03.09.15-10.09.15]	19,00	12,40	<LOD	<LOD	22,60	33,60	9,00	76,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[10.09.15-17.09.15]	13,00	15,00	<LOD	<LOD	20,20	33,60	<LOD	74,40	<LOD	10,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[17.09.15-24.09.15]	62,00	69,20	24,50	<LOD	21,67	29,40	40,50	77,00	77,50	12,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[24.09.15-01.10.15]	40,00	15,80	<LOD	<LOD	23,00	36,00	<LOD	75,20	<LOD	12,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[01.10.15-08.10.15]	84,60	26,40	<LOD	<LOD	22,00	35,40	<LOD	78,00	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[08.10.15-15.10.15]	14,00	12,80	<LOD	<LOD	22,20	37,80	10,00	75,40	3,00	12,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[15.10.15-22.10.15]	23,80	20,40	<LOD	<LOD	22,00	36,20	<LOD	77,00	<LOD	11,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
Promedio	70,37	24,34	12,38		22,44	36,62	17,13	77,93	40,25	12,40			18,00			
Desviación Estándar	57,24	15,55	8,30		1,01	3,44	15,59	3,37	52,68	1,32			0,00			
n	28	28	4	0	28	28	4	28	2	24	0	0	2	0	0	
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN																

ELEMENTOS EN MPS (PPM)														
TIERRA AMARILLA	Sb	Ba	La	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
[09.04.15-16.04.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[16.04.15-23.04.15]	<LOD	252,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[23.04.15-27.04.15]	<LOD	297,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[30.04.15-07.05.15]	<LOD	295,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[07.05.15-14.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[14.05.15-21.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[21.05.15-28.05.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[28.05.15-04.06.15]	<LOD	297,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[04.06.15-11.06.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[11.06.15-18.06.15]	<LOD	332,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[18.06.15-25.06.15]	<LOD	285,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[25.06.15-02.07.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	27,00	<LOD	<LOD	<LOD
[02.07.15-09.07.15]	<LOD	340,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[09.07.15-16.07.15]	<LOD	303,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[16.07.15-23.07.15]	<LOD	321,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[23.07.15-30.07.15]	<LOD	306,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[30.07.15-06.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[06.08.15-13.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[13.08.15-20.08.15]	<LOD	318,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[20.08.15-27.08.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[27.08.15-03.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.09.15-10.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	23,00	<LOD	<LOD
[10.09.15-17.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[17.09.15-24.09.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[24.09.15-01.10.15]	<LOD	391,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[01.10.15-08.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[08.10.15-15.10.15]	295,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	25,00	<LOD	<LOD
[15.10.15-22.10.15]	<LOD	310,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
[22.10.15-29.10.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[29.10.15-05.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[05.11.15-12.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[12.11.15-19.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[19.11.15-26.11.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[26.11.15-03.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[03.12.15-10.12.15]	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Promedio	295,50	311,35									27,00	24,00		
Desviación Estándar		32,59										1,41		
n	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0
<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN														

## I.7 HUASCO

### MPS

HUASCO	Gravimetría (g/m <sup>2</sup> ) x mes	pH	CE μS/cm
[24.06.16-01.07.16]	0,53	6,57	181,7
[01.07.16-08.07.16]	0,60	7,59	164,2
[08.07.16-15.07.16]	0,66	7,32	147,5
[15.07.16-22.07.16]	0,80	7,11	125,1
Promedio	0,65	7,15	154,63
Desviación Estándar	0,11	0,43	24,13
n	4	4	4

### ELEMENTOS EN MPS (PPM)

HUASCO	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[24.06.16-01.07.16]	<LOD	2837,77	375039,67	371,47	1087,00	963,80	177,12	3144,46	70,92	<LOD	<LOD	<LOD	1945,18	<LOD	<LOD
[01.07.16-08.07.16]	<LOD	337354,73	<LOD	1662,00	1099,60	<LOD	4267,44	131,42		<LOD	45,33	4269,77	<LOD	<LOD	16,80
[08.07.16-15.07.16]	<LOD	1323,03	136277,79	315,32	920,20	472,80	285,85	1623,49	133,34	<LOD	84,20	<LOD	3680,65	<LOD	<LOD
[15.07.16-22.07.16]	11648,27	4180,26	45071,66	<LOD	1091,00	631,00	765,92	3397,78	275,84	<LOD	<LOD	67,40	10480,53	<LOD	<LOD
Promedio	11648,27	86423,95	185463,04	782,93	1049,45	689,20	1374,08	2074,29	160,03		64,77	2168,59	5368,79		16,80
Desviación Estándar	167291,26	170393,99	761,82	86,33	250,62	1945,79	1513,81	105,03			27,48	2971,53	4511,14		
n	1	4	3	3	4	3	4	4	3	0	2	2	3	0	1

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

### ELEMENTOS EN MPS (PPM)

HUASCO	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
[24.06.16-01.07.16]	18,60	<LOD	<LOD	<LOD	9,00	107,20	<LOD	32,40	<LOD						
[01.07.16-08.07.16]	10,80	<LOD	<LOD	9,25	96,40	<LOD	30,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
[08.07.16-15.07.16]	7,80	<LOD	<LOD	<LOD	7,30	69,40	<LOD	25,20	<LOD						
[15.07.16-22.07.16]	7,80	10,00	<LOD	<LOD	8,50	64,40	<LOD	25,20	<LOD						
Promedio	11,25	10,00		9,25	30,30	80,33	30,80	27,60							
Desviación Estándar	5,10				44,07	23,40		4,16							
n	4	1	0	1	4	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

### ELEMENTOS EN MPS (PPM)

HUASCO	Sb	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
[24.06.16-01.07.16]	<LOD														
[01.07.16-08.07.16]	<LOD														
[08.07.16-15.07.16]	<LOD														
[15.07.16-22.07.16]	<LOD														
Promedio															
Desviación Estándar															
n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

### IONES EN MPS (μEq/L)

HUASCO	Aniones			Cationes				
	Cloruro	Nitrato	Sulfato	Sodio	Amonio	Potasio	Magnesio	Calcio
[24.06.16-01.07.16]	92,30	11,08	91,49	74,42	3,80	3,02	40,23	49,24
[01.07.16-08.07.16]	729,56	17,73	152,12	598,43	LOD	5,43	55,36	317,22
[08.07.16-15.07.16]	93,01	34,60	148,10	77,48	3,55	4,08	58,07	86,17
[15.07.16-22.07.16]	33,39	15,15	74,51	18,85	6,51	1,87	14,17	48,92
Promedio	237,06	19,64	116,55	192,30	4,62	3,60	41,96	125,39
Desviación Estándar	329,51	10,34	39,39	272,09	1,64	1,52	20,12	129,08
n	4	4	4	4	3	4	4	4

## I.8 SITIO CONTROL HUASCO (PARCELA CAMINO A VALLENAR)

### MPS

SITIO CONTROL HUASCO	Gravimetría (g/m <sup>2</sup> ) x mes	pH	CE (μS/cm)
[24.06.16-01.07.16]	0,96	7,05	145,11
[01.07.16-08.07.16]	1,29	7,33	179,20
[08.07.16-15.07.16]	1,24	7,62	163,50
[15.07.16-22.07.16]	1,20	7,27	187,59
Promedio	1,17	7,32	168,85
Desviación Estándar	0,15	0,23	18,71
n	4	4	4

### ELEMENTOS EN MPS (PPM)

SITIO CONTROL HUASCO	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
[24.06.16-01.07.16]	<LOD	2519,63	439226,20	343,66	1773,60	1112,00	155,38	4452,65	50,20	<LOD	<LOD	<LOD	465,39	<LOD	<LOD
[01.07.16-08.07.16]	<LOD	1760,69	209414,76	370,69	973,60	495,00	373,17	1244,79	108,54	<LOD	80,40	<LOD	650,21	<LOD	<LOD
[08.07.16-15.07.16]	<LOD	<LOD	154878,50	325,52	1352,00	<LOD	295,81	785,54	84,58	<LOD	86,40	<LOD	537,81	<LOD	<LOD
[15.07.16-22.07.16]	11863,18	2837,77	44611,95	<LOD	1191,40	695,00	658,19	2693,92	276,02	<LOD	<LOD	<LOD	4856,65	<LOD	<LOD
Promedio	11863,18	2372,69	212032,85	346,62	1322,65	767,33	370,64	2294,22	129,83		83,40		1627,52		
Desviación Estándar		553,37	166252,87	22,73	338,27	314,80	211,84	1652,87	100,36		4,24		2154,10		
n	1	3	4	3	4	3	4	4	4	0	2	0	4	0	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

### ELEMENTOS EN MPS (PPM)

SITIO CONTROL HUASCO	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
[24.06.16-01.07.16]	18,60	9,60	<LOD	<LOD	9,50	112,00	<LOD	33,40	<LOD						
[01.07.16-08.07.16]	11,80	<LOD	<LOD	<LOD	8,80	76,40	<LOD	26,60	<LOD						
[08.07.16-15.07.16]	9,80	6,33	<LOD	<LOD	7,33	64,20	<LOD	20,80	<LOD						
[15.07.16-22.07.16]	8,60	6,50	<LOD	<LOD	7,75	66,60	<LOD	27,40	<LOD						
Promedio	12,20	7,48			8,35	79,80		27,05							
Desviación Estándar	4,47	1,84			0,99	22,11		5,15							
n	4	3	0	0	4	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

### ELEMENTOS EN MPS (PPM)

SITIO CONTROL HUASCO	Sb	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
[24.06.16-01.07.16]	<LOD														
[01.07.16-08.07.16]	<LOD														
[08.07.16-15.07.16]	<LOD														
[15.07.16-22.07.16]	<LOD														
Promedio															
Desviación Estándar															
n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

### IONES EN MPS (μEq/L)

SITIO CONTROL HUASCO	Aniones			Cationes				
	Cloruro	Nitrato	Sulfato	Sodio	Amonio	Potasio	Magnesio	Calcio
[24.06.16-01.07.16]	29,81	10,25	55,93	19,66	2,9682	1,76	18,53	173,50
[01.07.16-08.07.16]	45,90	10,51	49,11	36,12	3,32	2,01	22,85	155,34
[08.07.16-15.07.16]	38,87	16,42	55,16	24,92	2,80	6,46	20,91	118,70
[15.07.16-22.07.16]	50,12	11,27	70,81	32,97	6,03	2,56	22,00	79,56
Promedio	41,18	12,11	57,75	28,42	3,78	3,20	21,07	131,78
Desviación Estándar	8,88	2,91	9,22	7,50	1,51	2,20	1,87	41,61
n	4	4	4	4	4	4	4	4

## II. SUELOS

**ELEMENTOS EN SUELO (PPM)**

Lugar	Fecha	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Copiapó	Abr-15	<LOD	53330,78	187319,20	545,53	7349,44	797,11	13826,42	45731,54	3165,72	108,89	<LOD	630,72	30533,95	<LOD	<LOD
Tierra Amarilla	Abr-15	<LOD	57406,67	190926,26	423,02	6305,22	500,89	16458,81	32869,55	2564,52	91,22	<LOD	633,28	26031,07	<LOD	<LOD
Chañaral	Abr-15	<LOD	33026,79	130502,06	532,86	6780,00	20345,67	10539,76	19923,93	1902,42	<LOD	<LOD	381,15	18176,33	<LOD	<LOD
El Salado	Abr-15	<LOD	41930,66	214567,35	1328,88	1360,67	1323,44	13678,40	68235,31	1875,87	<LOD	<LOD	268,22	15952,66	<LOD	<LOD
Diego de Almagro	Abr-15	<LOD	51843,94	188608,77	749,19	3514,67	13105,00	12747,42	51232,71	2673,24	70,5	<LOD	586,87	26117,90	<LOD	<LOD
Chañaral Socavón	Nov-15	<LOD	25298,47	108347,92	885,95	2908,60	40416,20	12017,74	29451,50	2081,53	63,00	<LOD	568,60	18824,77	<LOD	<LOD
Chañaral Sur	Nov-15	<LOD	30432,74	178122,58	2355,88	2782,40	3893,20	10904,04	73069,19	1776,39	71,00	<LOD	354,60	14827,75	<LOD	<LOD
Diego de Almagro Impactado	Nov-15	<LOD	38708,20	171500,52	574,91	3656,60	2084,20	14589,41	52340,91	2669,38	83,20	<LOD	653,00	23722,66	<LOD	<LOD
Diego de Almagro No Impactado	Nov-15	<LOD	44791,06	159655,06	521,98	14132,20	20675,60	16887,68	16662,05	2366,77	64,00	<LOD	197,60	14473,49	<LOD	<LOD
El Salado	Nov-15	<LOD	22450,34	99481,55	858,40	7826,40	35087,00	9977,10	54006,67	2063,44	<LOD	<LOD	554,40	17597,88	<LOD	<LOD
Tierra Amarilla	Nov-15	<LOD	38421,06	139162,92	224,00	10541,20	1485,40	13652,50	29713,25	2363,06	58,33	<LOD	930,60	21472,72	<LOD	<LOD
Planta Enami Paipote Escorial	Nov-15	<LOD	25658,93	115286,14	637,34	2859,80	<LOD	7324,58	74232,87	1834,26	<LOD	69,5	879,40	88823,33	<LOD	82,67
Planta Enami Paipote Agencia Carga y Descarga	Nov-15	<LOD	30375,07	173063,57	296,33	45541,00	1294,40	10887,61	38793,90	2958,10	73,40	<LOD	657,20	45883,06	<LOD	62,33
Paipote	Nov-15	<LOD	41231,00	170776,76	643,45	2783,00	<LOD	13468,91	40568,62	2958,70	88,40	<LOD	750,00	30567,41	<LOD	<LOD
Huasco Ciudad	Abr-16	<LOD	33130,64	163755,04	2710,26	1606,00	1247,80	14228,86	36771,57	3425,80	<LOD	<LOD	692,80	24459,69	<LOD	<LOD
Sitio Control Huasco	Abr-16	<LOD	37171,88	164945,33	300,93	4560,60	952,40	16061,66	27610,52	3064,00	72,40	<LOD	891,40	25426,82	<LOD	<LOD
Sur Huasco - Camino Costero	Abr-16	<LOD	22478,80	100247,15	2025,66	4015,20	1570,80	2709,62	166281,89	2344,37	230,60	<LOD	405,20	40606,73	<LOD	<LOD
Cerca Planta Pellets CAP	Abr-16	<LOD	31098,32	130962,68	1839,05	1831,20	1043,20	9011,14	112099,86	4404,45	116,00	<LOD	663,40	33557,87	<LOD	<LOD

<LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

**ELEMENTOS EN SUELO (PPM)**

Lugar	Fecha	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn
Copiapó	Abr-15	53,11	67,44	14,00	<LOD	69,00	353,33	20,56	153,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Tierra Amarilla	Abr-15	81,89	84,00	13,11	<LOD	94,33	402,78	20,44	165,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Chañaral	Abr-15	141,50	45,00	11,33	<LOD	104,17	297,33	14,83	71,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
El Salado	Abr-15	84,78	27,89	10,14	<LOD	77,33	482,44	24,78	141,89	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Diego de Almagro	Abr-15	220,50	71,67	22,33	<LOD	60,33	364,83	18,33	135,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Chañaral Socavón	Nov-15	218,80	58,80	18,40	<LOD	81,20	322,40	18,60	131,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Chañaral Sur	Nov-15	95,20	37,20	18,33	<LOD	60,20	481,80	17,20	136,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Diego de Almagro Impactado	Nov-15	112,60	61,60	20,80	<LOD	85,00	265,20	21,60	149,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Diego de Almagro No Impactado	Nov-15	1427,60	53,60	55,20	<LOD	64,40	344,00	11,80	147,40	<LOD	70,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
El Salado	Nov-15	203,20	64,00	33,40	<LOD	65,80	318,20	20,20	137,40	<LOD	17,50	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Tierra Amarilla	Nov-15	101,40	87,60	18,00	<LOD	90,60	412,20	18,00	177,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Planta Enami Paipote Escorial	Nov-15	2592,00	5612,20	38,50	<LOD	45,00	262,00	<LOD	94,00	<LOD	65,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Planta Enami Paipote Agencia Carga y Descarga	Nov-15	28726,40	2452,40	2699,40	<LOD	40,00	254,80	32,20	228,80	<LOD	184,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Paipote	Nov-15	548,60	147,20	31,00	<LOD	71,40	394,80	20,20	149,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Huasco Ciudad	Abr-16	26,60	43,60	<LOD	<LOD	87,20	303,40	22,20	253,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Sitio Control Huasco	Abr-16	42,60	57,40	9,40	<LOD	86,60	241,60	25,40	200,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Sur Huasco - Camino Costero	Abr-16	36,60	20,60	<LOD	<LOD	22,60	1341,20	11,20	171,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Cerca Planta Pellets CAP	Abr-16	42,00	37,80	<LOD	<LOD	36,80	584,00	27,20	269,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

&lt;LOD=BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN

**ELEMENTOS EN SUELO (PPM)**

Lugar	Fecha	Sb	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
Copiapó	Abr-15	<LOD	533,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Tierra Amarilla	Abr-15	<LOD	479,86	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	39,17	<LOD	<LOD
Chañaral	Abr-15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
El Salado	Abr-15	<LOD	421,57	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Diego de Almagro	Abr-15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Chañaral Socavón	Nov-15	<LOD	438,60	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Chañaral Sur	Nov-15	<LOD	375,44	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Diego de Almagro Impactado	Nov-15	<LOD	614,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Diego de Almagro No Impactado	Nov-15	<LOD	414,80	83,27	<LOD	35,33	<LOD	<LOD	<LOD							
El Salado	Nov-15	<LOD	373,04	83,27	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
Tierra Amarilla	Nov-15	<LOD	496,80	83,27	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD								
Planta Enami Paipote Escorial	Nov-15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	305,60	<LOD	<LOD	<LOD
Planta Enami Paipote Agencia Carga y Descarga	Nov-15	214,80	355,28	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	825,40	58,67	<LOD	<LOD
Paipote	Nov-15	<LOD	600,80	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,00	<LOD	<LOD	<LOD
Huasco Ciudad	Abr-16	<LOD	685,40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Sitio Control Huasco	Abr-16	<LOD	456,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Sur Huasco - Camino Costero	Abr-16	<LOD	94,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Cerca Planta Pellets CAP	Abr-16	<LOD	94,20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

III. TRAZABILIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD ANALÍTICA (QA/QC)

III.1 MEDICIÓN DE ELEMENTOS



S1 TITAN Model 600/800 GeoChem/Soil Check Sample Report

Date of Report: November 24, 2014

Instrument Serial Number: 600N2713

Sample: CS-M2

Measurement	Al2O3	SiO2	K2O	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb
1	12.4479	71.7834	4.8204	0.0984	1.6247	0.0031	0.0206	0.0773
2	12.2261	70.8609	4.7605	0.0999	1.6382	0.0048	0.0209	0.0776
3	12.4801	71.9124	4.9238	0.0996	1.6357	0.0036	0.0203	0.0783
4	12.6398	70.0763	4.8337	0.1042	1.6075	0.0043	0.0204	0.0809
5	12.0522	71.2696	4.8424	0.1016	1.6273	0.0028	0.0198	0.0734
6	12.1495	71.0635	4.8270	0.0959	1.6265	0.0042	0.0216	0.0825
7	12.3253	72.3763	4.8538	0.1009	1.6413	0.0034	0.0202	0.0767
8	12.5492	71.1079	4.8559	0.0925	1.6475	0.0027	0.0204	0.0788
9	12.5065	71.6110	4.8556	0.0976	1.6209	0.0037	0.0218	0.0792
10	12.6902	70.8576	4.8769	0.0908	1.6172	0.0029	0.0203	0.0784

Average Measured Value	12.4067	71.2919	4.8450	0.0981	1.6287	0.0036	0.0206	0.0783
Standard Deviation	0.2116	0.6534	0.0418	0.0041	0.0121	0.0007	0.0006	0.0024
Acceptance Limit MIN	11.3485	68.0247	4.6359	0.0570	1.5682	0.0000	0.0143	0.0539
Acceptance Limit MAX	13.4649	74.5591	5.0541	0.1393	1.6892	0.0106	0.0269	0.1027

General instrument performance may be checked by taking ten measurements of the supplied CS-M2 sample\* and then calculating the average measured values. Between each measurement, the sample should be removed from the instrument, shaken up, and replaced on the instrument nose. The average measured value for each element should be within the acceptance limits shown above. If not, contact Bruker for support.  
 Email: [hhservice@bruker-elemental.net](mailto:hhservice@bruker-elemental.net).

Measurement values are in Weight Percent (%)

\*Use the following configuration to check instrument performance:

APPLICATION:	GeoChem or Soil
METHOD:	GeoChem Trace or Soil
SETTINGS:	Phase 1: 30 seconds, Phase 2: 30 seconds



S1 TITAN 600-800  
GeoChem Calibration (P/N: 730.0088)

GEOCHEM TRACE (PHASE1 and 2)																							
Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	
LOD (ppm) on pure SiO2	<7000	500	80	135	41	37	20	8	19	18	13	5	5	5	5	3	3	3	3	3	4	4	3
Upper Range (wt %)	45%	100%	14.50%	15%	7.50%	5%	37%	2.50%	0.20%	1.60%	3.20%	28%	0.30%	1.20%	3.20%	0.80%	0.01%	0.055%	0.055%	0.50%	0.25%	1.50%	
Default Reporting as	OX	OX	OX	EL	EL	EL	OX	OX	EL	EL	OX	OX	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Conversion factor OX -> EL	0.603	0.529	0.467	0.436	-	0.83	0.714	0.599	-	-	0.77	0.699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GEOCHEM TRACE (PHASE1 and 2)																					
Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba(K,L)	La(K,L)	Ce(LB)	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
LOD (ppm) on pure SiO2	2	6	15	29	10	19	30	188.4	166.53	35	6	4	6	6.8	6.6	6	5	11	12	17	53
Upper Range (wt %)	1%	0.60%	0.06%	0.14%	0.05%	0.65%	1.65%	53%	0.40%	4.80%	1.10%	82%	54%	0.35%	0.10%	86%	0.07%	2.10%	0.15%	0.10%	0.15%
Default Reporting as	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL

GEOCHEM GENERAL (PHASE1 and 2)																						
Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr
LOD (ppm) on pure SiO2	<1000	800	140	132	113	40	38	25	5	12	24	12	15	4	4	1	10	3	1	4	4	9
Upper Range (wt %)	30%	100%	14.50%	30%	3.00%	34%	33%	60%	58%	69%	80%	70%	79%	80%	85%	85%	80%	55%	40%	1.00%	0.25%	74%
Default Reporting as	OX	OX	OX	EL	EL	OX	OX	OX	EL	EL	OX	OX	OX	EL	EL	EL						
Conversion factor OX -> EL	0.603	0.529	0.467	0.436	-	0.83	0.714	0.599	-	-	0.77	0.699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GEOCHEM GENERAL (PHASE1 and 2)																					
Nb	Mo	Rh	Pd	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba(K,L)	La(K,L)	Ce(LB)	Hf	Ta	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
LOD (ppm) on pure SiO2	7	3	10	27	50	14	108	34	160.4	85	25	74	53	23	7	40	5	3	5	25	10
Upper Range (wt %)	70%	69%	0.06%	0.14%	0.05%	0.8%	89%	56%	0.40%	5%	1.10%	82%	80%	0.35%	0.10%	86%	0.02%	94%	0.20%	0.15%	0.15%
Default Reporting as	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL

NOTE: Actual real world samples (soil or rocks) may contain interfering elements that the hardware settings or selection of analyte lines does not correct for; therefore the actual working (and displayed) LOD's for these samples may be HIGHER than those determined with the interference free standards.

Sample Prep: All calibration samples were prepared as dry sample powders and measured with a 4 micron foil

LOD = Limit of Detection. The smallest concentration which can be detected in a non-interfering matrix.

- a) In this document LOD is specified for SiO2 matrix in three sigma 99.7% confidence level (3 sigma) and 120 second analysis time in Dual mode
- b) For Dual parameter methods, 120 sec measurement (60 sec phase 1 and 60 sec phase 2) is used for both measurement conditions.
- c) Individual elemental LOD's improve as a function of the square root of the analysis time. Multiply with 0.75 for 120 sec single phase comparison
- d) Detection limits are specified for SiO2 matrix samples where only few elements are present in a sample. For samples which contain significant amount of other overlapping elements, LOD for specific element can be significantly higher than reported.
- e) Limit of Detection is dependent on several factors, such as: Matrix Interferences, Overlapping elements, Level of statistical confidence and Testing time.
- f) Convert the Oxide displayed value with the coefficient listed to get elemental concentration

Calibration range is based on available reference materials and is extrapolated up to 10% (relative) over highest value

Geochem Trace LOD for Ag, As, Cd, U, and Pb: Geochem Trace has higher LOD for Ag, As, Cd, U, and Pb than GeoChem General due to the use of classical comparison ratio as recommended per EPA 6.000

## III.2 MEDICIÓN DE IONES

### III.2.1 CERTIFICADO DEL ESTÁNDAR DE SULFATO



**TraceCERT**<sup>®</sup>  
Traceable Certified Reference Materials



**Fluka**  
Analytical

# Certificate

Produced in double accredited  
laboratory fulfilling  
**ISO/IEC 17025** and  
**ISO Guide 34**

This certificate is designed in accordance with ISO Guide 31<sup>[1]</sup>.

Object of certification: **Sulfate standard for IC**

Product No.: 90071 Lot: BCBM4469V

Composition: Sodium sulfate (pure material) in water *TraceSELECT*<sup>®</sup>Ultra, 18.2 MΩ cm, 0.22 μm filtered)

Density at 20°C: ρ = 999 kg m<sup>-3</sup>  $u_c(\rho) = 0.5 \text{ kg m}^{-3}$

Intended use: Calibration of ion chromatography or any other analytical technique.

Storing and handling: This reference material shall be stored between 5 °C and 30 °C whereas the certified value is guaranteed when the long-term storage temperature will not exceed 25 °C. Before every use of the material the bottle must be shaken well and its temperature has to be 20 °C. If storage of a partially used bottle is necessary, the cap should be tightly sealed and the bottle should be stored at reduced temperature (e.g. refrigerator) to minimize transpiration rate.

Expiry date: **DEC 2016**

Bottle opening date: -----

Certified value traceable to SI unit kg and uncertainty according to ISO Guide 35 <sup>[2]</sup> and Eurachem/CITAC Guide <sup>[3]</sup>			
Constituent	Certified value at 20°C <sup>[4]</sup> and expanded uncertainty [ $U = k u_c$ ; $k = 2$ ]		
<b>Sulfate</b>	<b>1004 ±</b>	<b>4 mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>1003 ±</b> <b>4 mg L<sup>-1</sup></b>

#### 1. CONCEPT OF CERTIFICATION AND TRACEABILITY STATEMENT

To guarantee top reliability of the values for this *TraceCERT*<sup>®</sup> certified reference material three independent procedures were followed. The values have to agree in the range of their uncertainties, but the impurity corrected value from the gravimetric preparation has been chosen as certified value<sup>[5]</sup>.

1. Gravimetric preparation using pure materials is a practical realization of concentration units, through conversion of masses and mole fraction to mass fraction<sup>[5]</sup>. If the purity of the materials is demonstrated and if contamination and loss of material is strictly prevented this approach allows highest accuracy and small uncertainties. The certified value of *TraceCERT*<sup>®</sup> reference materials is based on this approach and directly traceable to the SI unit kilogram.

Therefore comprehensively characterized materials of highest purity are used (see paragraph 2). All balances are certified by DKD and calibrated with OIML Class E2 (up to 12 kg) and F2 (up to 64 kg) weights. The bulk solution was homogenized by overhead tumbling in a PVDF container for at least 6 hours. A peristaltic pump with perfluorinated polymer tubings was used for bottling.

2. The starting material is measured against a certified reference material (i.e. NIST, BAM or EMPA) followed by gravimetric preparation using balances calibrated with SI-traceable weights. Consequently the value calculated by this unbroken chain of comparisons is traceable to the reference to which the starting material is compared.

3. Whenever applicable the bottled *TraceCERT*<sup>®</sup> calibration solution is compared to a second reference (e.g. from NIST, BAM or EMPA) which is independent from the first reference.

## 2. PURITY OF STARTING MATERIALS

For high purity materials ( $P > 99.9\%$ ) the most appropriate way of purity determination is to quantify the impurities ( $w_i$ ) and to subtract the sum from 100%. Impurities below the detection limit are considered with a contribution of half of the detection limit ( $DL_j$ ).

$$P = 100\% - \sum_i w_i - \sum_j \left( \frac{DL_j}{2} \right)$$

Water containing materials were dried to absolute dryness by individual drying conditions (up to 600°C). When drying is impossible due to decomposition water was determined by high-precision KF-titration under supervision of H. Hoffmann at Sigma-Aldrich Laborchemikalien, Seelze (Germany). Water *TraceSELECT*<sup>®</sup> Ultra (18.2 MΩ·cm; 0.22 μm filtered, all metallic traces at ng kg<sup>-1</sup>-level) and acid in *TraceSELECT*<sup>®</sup> quality was used for preparation.

## 3. TRACEABILITY MEASUREMENTS

Only internationally accepted reference materials e.g. from NIST (USA), BAM (Germany) or EMPA – Material Science & Technology (Switzerland) have been carefully selected to provide the basis for traceability to the SI unit mole. When no such reference is available, an elemental metal or an adequate salt of highest available purity is used to confirm traceability to this pure material (and therefore to the SI unit kg).

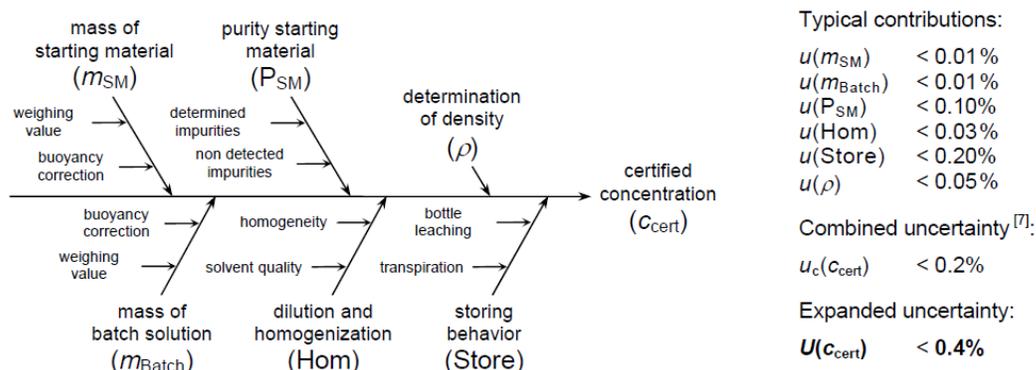
To underpin the certified gravimetric value all traceability measurements are performed with the most accurate and precise analytical technique available. Therefore titrimetry measurement series are applied whenever possible (corrected for trace impurities). When no titrimetric technique is available, the traceability measurements are performed with another analytical technique, e.g. ICP-OES or AAS.

Reference and applied technique used for traceability measurements of the

starting material: NIST SRM 3181 / ion chromatography  
 bottled solution: Sodium sulfate, certified by EMPA and BAM / ion chromatography

## 4. UNCERTAINTY EVALUATION

All uncertainties are calculated according to Eurachem/CITAC Guide [3] and reported as combined expanded uncertainties at the 95% confidence level. For gravimetric preparation the uncertainty contributions are illustrated by the following cause-effect diagram [6].



## 5. TRACE IMPURITIES IN BOTTLED SOLUTION

The following anions were measured as possible impurities (in mg l<sup>-1</sup>, <X = below detection limit, m = matrix):

Bromide	Chloride	Fluoride	Iodide	Nitrite	Nitrate	Phosphate	Sulfate
< 0.0250	0.025	< 0.0250	0.052	< 0.0250	0.042	0.035	m

Certification laboratory	Certification body	Date of release	Quality systems
 R. Mueller, Ph.D.	 K.-D. Schmidt, Ph.D.	4 February 2014	  

- [1] ISO Guide 31, 1-7, 2<sup>nd</sup> Ed. (2000), "Reference materials - Contents of certificates and labels"
- [2] ISO Guide 35, 1-64, 3<sup>rd</sup> Ed. (2006), "Reference materials - General and statistical principles for certification"
- [3] Eurachem/CITAC Guide, 1-120, 2<sup>nd</sup> Ed. (2000), "Quantifying uncertainty in analytical measurement"
- [4] The mg kg<sup>-1</sup> value is the certified value whereas the mg L<sup>-1</sup> value is calculated with the density
- [5] Eurachem/CITAC Guide, 1-37, 1<sup>st</sup> Ed. (2003) "Traceability in chemical measurement"
- [6] Reichmuth, A., Wunderli, S., Weber, M., Meyer, V. R. (2004), "The uncertainty of weighing data obtained with electronic analytical balances", Microchimica Acta 148: 133-141.
- [7] Calculated by combination of the squared contribution values

### III.2.2 CERTIFICADO DEL ESTÁNDAR DE NITRATO



**TraceCERT**<sup>®</sup>  
Traceable Certified Reference Materials



**Fluka**  
Analytical

# Certificate

Produced in double accredited laboratory fulfilling  
**ISO/IEC 17025** and  
**ISO Guide 34**

This certificate is designed in accordance with ISO Guide 31<sup>[1]</sup>.

Object of certification: **Nitrate standard for IC**

Product No.: 74246                      Lot: BCBK9683V

Composition: Sodium nitrate (pure material) in water *TraceSELECT*<sup>®</sup>Ultra, 18.2 MΩ cm, 0.22 μm filtered)

Density at 20°C: ρ = 999 kg m<sup>-3</sup>                      u<sub>c</sub>(ρ) = 0.5 kg m<sup>-3</sup>

Intended use: Calibration of ion chromatography or any other analytical technique.

Storing and handling: This reference material shall be stored between 5°C and 30°C whereas the certified value is guaranteed when the long-term storage temperature will not exceed 25°C. Before every use of the material the bottle must be shaken well and its temperature has to be 20°C. If storage of a partially used bottle is necessary, the cap should be tightly sealed and the bottle should be stored at reduced temperature (e.g. refrigerator) to minimize transpiration rate.

Expiry date: **MAY 2016**

Bottle opening date: -----

Certified value traceable to SI unit kg and uncertainty according to ISO Guide 35 <sup>[2]</sup> and Eurachem/CITAC Guide <sup>[3]</sup>			
Constituent	Certified value at 20°C <sup>[4]</sup> and expanded uncertainty [U = k u <sub>c</sub> ; k = 2]		
Nitrate	1001 ±	4 mg kg <sup>-1</sup>	1000 ± 4 mg L <sup>-1</sup>

#### 1. CONCEPT OF CERTIFICATION AND TRACEABILITY STATEMENT

To guarantee top reliability of the values for this *TraceCERT*<sup>®</sup> certified reference material three independent procedures were followed. The values have to agree in the range of their uncertainties, but the impurity corrected value from the gravimetric preparation has been chosen as certified value<sup>[5]</sup>:

1. Gravimetric preparation using pure materials is a practical realization of concentration units, through conversion of masses and mole fraction to mass fraction<sup>[5]</sup>. If the purity of the materials is demonstrated and if contamination and loss of material is strictly prevented this approach allows highest accuracy and small uncertainties. The certified value of *TraceCERT*<sup>®</sup> reference materials is based on this approach and directly traceable to the SI unit kilogram.  
  
Therefore comprehensively characterized materials of highest purity are used (see paragraph 2). All balances are certified by DKD and calibrated with OIML Class E2 (up to 12 kg) and F2 (up to 64 kg) weights. The bulk solution was homogenized by overhead tumbling in a PVDF container for at least 6 hours. A peristaltic pump with perfluorinated polymer tubings was used for bottling.
2. The starting material is measured against a certified reference material (i.e. NIST, BAM or EMPA) followed by gravimetric preparation using balances calibrated with SI-traceable weights. Consequently the value calculated by this unbroken chain of comparisons is traceable to the reference to which the starting material is compared.
3. Whenever applicable the bottled *TraceCERT*<sup>®</sup> calibration solution is compared to a second reference (e.g. from NIST, BAM or EMPA) which is independent from the first reference.

## 2. PURITY OF STARTING MATERIALS

For high purity materials ( $P > 99.9\%$ ) the most appropriate way of purity determination is to quantify the impurities ( $w_i$ ) and to subtract the sum from 100%. Impurities below the detection limit are considered with a contribution of half of the detection limit ( $DL_j$ ).

$$P = 100\% - \sum_i w_i - \sum_j \left( \frac{DL_j}{2} \right)$$

Water containing materials were dried to absolute dryness by individual drying conditions (up to 600°C). When drying is impossible due to decomposition water was determined by high-precision KF-titration under supervision of H. Hoffmann at Sigma-Aldrich Laborchemikalien, Seelze (Germany). Water *TraceSELECT*<sup>®</sup>Ultra (18.2 MΩ cm; 0.22 μm filtered, all metallic traces at ng kg<sup>-1</sup>-level) and acid in *TraceSELECT*<sup>®</sup> quality was used for preparation.

## 3. TRACEABILITY MEASUREMENTS

Only internationally accepted reference materials e.g. from NIST (USA), BAM (Germany) or EMPA – Material Science & Technology (Switzerland) have been carefully selected to provide the basis for traceability to the SI unit mole. When no such reference is available, an elemental metal or an adequate salt of highest available purity is used to confirm traceability to this pure material (and therefore to the SI unit kg).

To underpin the certified gravimetric value all traceability measurements are performed with the most accurate and precise analytical technique available. Therefore titrimetry measurement series are applied whenever possible (corrected for trace impurities). When no titrimetric technique is available, the traceability measurements are performed with another analytical technique, e.g. ICP-OES or AAS.

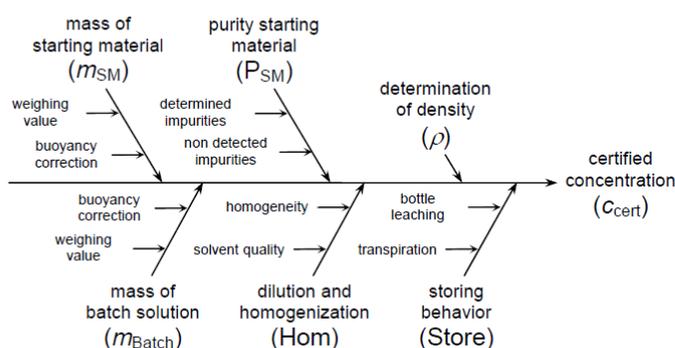
Reference and applied technique used for traceability measurements of the

starting material: NIST SRM 3185 / ion chromatography

bottled solution: Sodium nitrate, certified by EMPA and BAM / ion chromatography

## 4. UNCERTAINTY EVALUATION

All uncertainties are calculated according to Eurachem/CITAC Guide<sup>[3]</sup> and reported as combined expanded uncertainties at the 95% confidence level. For gravimetric preparation the uncertainty contributions are illustrated by the following cause-effect diagram<sup>[6]</sup>:



Typical contributions:

$u(m_{SM})$	< 0.01 %
$u(m_{Batch})$	< 0.01 %
$u(P_{SM})$	< 0.10 %
$u(Hom)$	< 0.03 %
$u(Store)$	< 0.20 %
$u(\rho)$	< 0.05 %

Combined uncertainty<sup>[7]</sup>:

$u_c(C_{cert})$	< 0.2 %
-----------------	---------

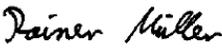
Expanded uncertainty:

$U(C_{cert})$	< 0.4 %
---------------	---------

## 5. TRACE IMPURITIES IN BOTTLED SOLUTION

The following anions were measured as possible impurities (in mg l<sup>-1</sup>, <X = below detection limit, m = matrix):

Bromide	Chloride	Fluoride	Iodide	Nitrite	Nitrate	Phosphate	Sulfate
n.a.	< 0.0125	< 0.0125	< 0.0125	< 0.0125	m	< 0.0125	0.032

Certification laboratory	Certification body	Date of release	Quality systems
 R. Mueller, Ph.D.	 K.-D. Schmidt, Ph.D.	17 July 2013	  

- [1] ISO Guide 31, 1-7, 2<sup>nd</sup> Ed. (2000), "Reference materials - Contents of certificates and labels"
- [2] ISO Guide 35, 1-64, 3<sup>rd</sup> Ed. (2006), "Reference materials - General and statistical principles for certification"
- [3] Eurachem/CITAC Guide, 1-120, 2<sup>nd</sup> Ed. (2000), "Quantifying uncertainty in analytical measurement"
- [4] The mg kg<sup>-1</sup> value is the certified value whereas the mg L<sup>-1</sup> value is calculated with the density
- [5] Eurachem/CITAC Guide, 1-37, 1<sup>st</sup> Ed. (2003) "Traceability in chemical measurement"
- [6] Reichmuth, A., Wunderli, S., Weber, M., Meyer, V. R. (2004), "The uncertainty of weighing data obtained with electronic analytical balances", Microchimica Acta 148: 133-141.
- [7] Calculated by combination of the squared contribution values

### III.2.3 CURVA DE CALIBRADO SULFATO

#### Curva de Calibrado Sulfato

Concentración ppm	0,05	0,1	0,5	1	2	4	8
Inyección 1	0,0142	0,0329	0,1613	0,3307	0,6888	1,4044	2,9778
Inyección 2	0,0132	0,0335	0,1622	0,3334	0,6926	1,3852	2,9824
Inyección 3	0,0149	0,0344	0,1626	0,3310	0,6808	1,4047	2,9790
Promedio	0,0141	0,0336	0,1620	0,3322	0,6874	1,3981	2,9797
RSD	0,0614	0,0217	0,0040	0,0043	0,0087	0,0080	0,0008

N° Observación	Nivel	Conc. Real (mg/mL)	Areas Promedio	$\Sigma x^2$	$\Sigma x$	$\Sigma y^2$	$\Sigma y$	$(\Sigma x)^2$
1	0,05	0,05	0,01411	85,26250	15,6500	11,44	5,61	244,9225
2	0,1	0,1	0,03361					
3	0,5	0,5	0,16203					
4	1,0	1	0,33217					
5	2,0	2	0,68739					
6	4,0	4	1,39809					
7	8,0	8	2,97975					

y estimado	residuo e	Pendiente	Intercepto
-0,01	-0,03	0,37169	-0,030
0,01	-0,03		
0,16	-0,01		
0,34	0,01		
0,71	0,03		
1,46	0,06		
2,94	-0,04		

#### EVALUACION DE LA PENDIENTE:

##### 1. Análisis de Regresión lineal

Pendiente:	0,37169
R <sup>2</sup>	0,9990

#### Criterio

Si R<sup>2</sup> es cercano a 1 la curva es lineal

##### 2. Test de student

n=	7
N° Observaciones (n)	7
Variancia Residual S <sup>2</sup> y <sub>x</sub> =	0,0013818
Variancia Pendiente S <sup>2</sup> b=	0,0000275
t experimental (texp) = (b) / Sb	70,9
t tabla (α=0,05; n-1)	1,9432

(b=pendiente / Sb= varianza de la pendiente)

#### Criterio:

Si texp es mayor que t tabla, existe una pendiente significativamente distinta de cero  
El rango de concentraciones estudiado está dentro de una pendiente lineal

##### 3. Test de Proporcionalidad

Se evalúa mediante una prueba de t de Student

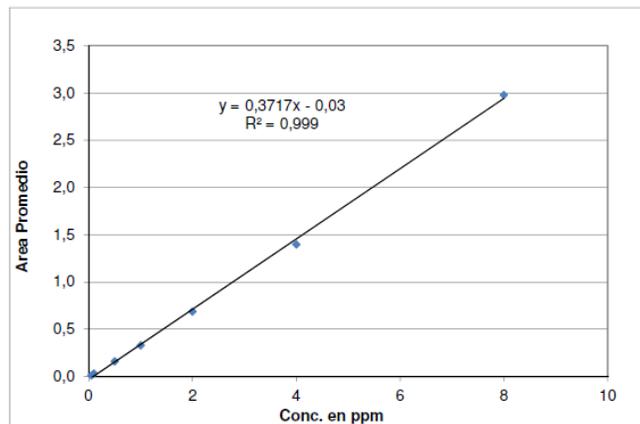
t exp=(a)/Sa (a= intercepto/ Sa= asociado a cálculo de varianza residual)

Sa <sup>2</sup> =	0,0003
Sa=	0,01830
texp=	-1,6
t tabla (α=0,05; n-2)	2,0150

Intervalo de confianza= a ± texp x Sa  
Intervalo -0,060 0,000

#### Criterio:

Si t exp es menor que t tabla cumple con test de proporcionalidad o de variable independiente



### III.2.3 CURVA DE CALIBRADO NITRATO

#### Curva de Calibrado Nitrato

Concentración ppm	0,05	0,1	0,5	1	2	4	8
Inyección 1	0,010765	0,026949	0,133019	0,258706	0,525766	1,08455	2,297365
Inyección 2	0,0121	0,0267	0,1351	0,2574	0,5296	1,0950	2,2992
Inyección 3	0,0116	0,0271	0,1326	0,2599	0,5284	1,0889	2,2979
<b>Promedio</b>	<b>0,0115</b>	<b>0,0269</b>	<b>0,1336</b>	<b>0,2587</b>	<b>0,5279</b>	<b>1,0895</b>	<b>2,2981</b>
<b>RSD</b>	<b>0,0574</b>	<b>0,0074</b>	<b>0,0098</b>	<b>0,0049</b>	<b>0,0037</b>	<b>0,0048</b>	<b>0,0004</b>

N° Observación	Nivel	Conc. Real (mg/mL)	Areas Promedio	$\Sigma x^2$	$\Sigma x$	$\Sigma y^2$	$\Sigma y$	$(\Sigma x)^2$
1	0,05	0,05	0,0115	85,26250	15,6500	6,83	4,35	244,9225
2	0,1	0,1	0,0269					
3	0,5	0,5	0,1336					
4	1	1	0,2587					
5	2	2	0,5279					
6	4	4	1,0895					
7	8	8	2,2981					

y estimado	residuo e	Pendiente	Intercepto
-0,01	-0,02	0,2866	-0,020
0,01	-0,02		
0,12	-0,01		
0,27	0,01		
0,55	0,03		
1,13	0,04		
2,27	-0,02		

#### EVALUACION DE LA PENDIENTE:

##### 1. Análisis de Regresión lineal

Pendiente:	0,2866
R <sup>2</sup>	0,9992

#### Criterio

Si R<sup>2</sup> es cercano a 1 la curva es lineal

##### 2. Test de student

N° Observaciones (n)	7,0
Variancia Residual S <sup>2</sup> y <sub>x=</sub>	0,0
Variancia Pendiente S <sup>2</sup> b <sub>=</sub>	0,0
t experimental (t <sub>exp</sub> ) = (b) / Sb	77,5 (b=pendiente / Sb= varianza de la pendiente)
t tabla (α=0,05; n-1)	1,9432

#### Criterio:

Si t<sub>exp</sub> es mayor que t<sub>tabla</sub>, existe una pendiente significativamente distinta de cero  
El rango de concentraciones estudiado está dentro de una pendiente lineal

##### 3. Test de Proporcionalidad (Sólo informativo)

Se evalúa mediante una prueba de t de Student

t<sub>exp</sub>=(a)/Sa (a= intercepto/ Sa= asociado a cálculo de varianza residual)

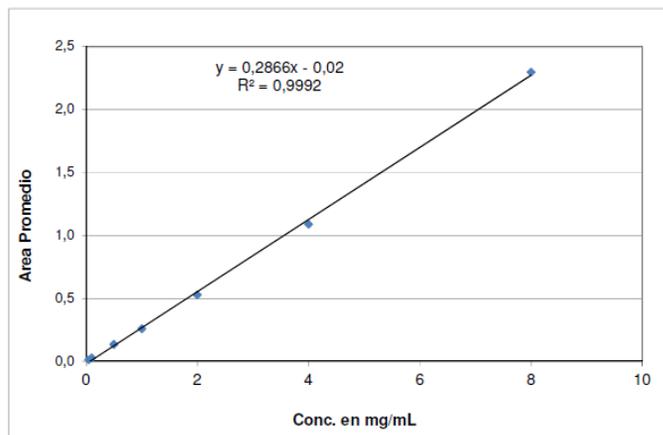
Sa <sup>2</sup> =	0,0002
Sa=	0,01291
t <sub>exp</sub> =	69,5
t tabla (α=0,05; n-2)	2,0150

Intervalo de confianza= a ± t<sub>exp</sub> x Sa

Intervalo 0,748 -0,788

#### Criterio:

Si t<sub>exp</sub> es menor que t<sub>tabla</sub> cumple con test de proporcionalidad o de variable independiente



### III.2.4 LOD Y LOQ ANÁLISIS SULFATO Y NITRATO

Ion	Nitrato	Sulfato
Concentración punto		
<i>Ecuación de la recta</i>	$y = 0,2866x - 0,02$	$y = 0,3717x - 0,03$
N°	Área	Área
1	0,0006	0,0002
2	0,0016	0,0002
3	0,0010	0,0005
4	0,0010	0,0006
5	0,0009	0,0009
6	0,0007	0,0009
7	0,0005	0,0008
8	0,0009	0,0010
9	0,0010	0,0008
10	0,0007	0,0009
<b>Desviación Estándar</b>	<b>0,00031</b>	<b>0,0003</b>
<b>LOD (ppm)</b>	<b>0,0032</b>	<b>0,0023</b>
<b>LOQ (ppm)</b>	<b>0,0108</b>	<b>0,0078</b>
<b>LOD (uEq/L)</b>	<b>0,052</b>	<b>0,049</b>
<b>LOQ (uEq/L)</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>

#### Instrumentos utilizados para análisis Físico y Químico

Instrumento	Marca	Modelo	Incertidumbre
Balanza Analítica	Sartorius	BP211D	± 0,01 mg
pHmetro	Sper Scientific	Benchtop Meter, 860033	± 0,01 unidades de pH
Conductímetro	Sper Scientific	Benchtop Meter, 860033	± 0,1 µS/cm
Cromatografo Ionico	Metrohm	Professional 850	N/A