

**“MANTENCIÓN CALIBRACIÓN Y OPERACIÓN DE LAS  
ESTACIONES DE MONITOREO INSTALADAS EN LA CIUDAD DE  
ANTOFAGASTA, PARA LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL  
AIRE DE LOS CONTAMINANTES MATERIAL PARTICULADO  
RESPIRABLE (MP10), PLOMO (Pb) Y MATERIAL PARTICULADO  
SEDIMENTABLE (MPS)”**

**INFORME MENSUAL**

**PERÍODO: 22 DE OCTUBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2015**

**PARA : SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE,  
REGIÓN DE ANTOFAGASTA  
DE : SERPRAM S.A.**

**Elaborado por:  
Daniela Ruz**

**Revisado por:  
Daniela Caniu**

**Aprobado por:  
Luis Carrasco**

**FEBRERO 2016**

---

ÍNDICE

	<u>PAG.</u>
<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>3</b>
2.1 Material Particulado Respirable MP10	3
2.2 Plomo en el Material Particulado Respirable, MP10	7
2.3 Material Particulado Sedimentable	9
2.4 Elementos de interés en el MPS	12
2.5 Estaciones de monitoreo y equipos de medición utilizados	14
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>20</b>
3.1 Monitoreo de Calidad de Aire	20
3.2 Material Particulado Respirable MP10	20
3.3 Plomo en el Material Particulado Respirable, MP10	22
3.4 Material Particulado Sedimentable	25
3.5 Elementos de interés en el MPS	26
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>31</b>
4.1 Material Particulado Respirable MP10	31
4.2 Plomo en el Material Particulado Respirable, MP10	32
4.3 Material Particulado Sedimentable	33
4.4 Elementos de interés en el MPS	34
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>37</b>

---

## **ANEXOS**

<b>ANEXO 1</b>	<b>ACREDITACIONES INN</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>PLANILLA DE CÁLCULO DE CONCENTRACIÓN DE MP10 Y PLOMO</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>PLANILLA DE CÁLCULO MPS</b>
<b>ANEXO 5</b>	<b>ANÁLISIS QUÍMICO</b>
<b>ANEXO 6</b>	<b>BITÁCORAS DE LAS ESTACIONES RENDIC Y ONCOLÓGICO</b>
<b>ANEXO 7</b>	<b>METODOLOGÍAS</b>
<b>ANEXO 8</b>	<b>VARIABLES CAA D.S. N°61</b>
<b>ANEXO 9</b>	<b>NORMATIVA INTERNACIONAL DE REFERENCIA</b>
<b>ANEXO 10</b>	<b>LÍMITES DE DETECCIÓN</b>

## **1. ANTECEDENTES**

Servicios y Proyectos Ambientales S.A. (SERPRAM S.A.) es contratado por la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Antofagasta, para prestar servicios en la consultoría: **“Mantención, calibración y operación de las estaciones de monitoreo instaladas en la ciudad de Antofagasta, para la vigilancia de la calidad del aire de los contaminantes Material Particulado Respirable (MP10), Plomo (Pb) y Material Particulado Sedimentable (MPS)”**.

El programa de monitoreo consiste en realizar mediciones de calidad de aire, de acuerdo a lo siguiente:

- Material Particulado Respirable, MP10
- Plomo en el Material Particulado Respirable MP10
- Material Particulado Sedimentable, MPS
- Elementos Químicos de Interés Presentes en el MPS.

Las principales actividades del servicio se pueden resumir como sigue:

1. Desarrollar en las estaciones de monitoreo de Calidad del Aire Rendic y Oncológico, una campaña de monitoreo semi-continuo, mediante metodología gravimétrica de alto volumen.
2. Realizar el muestreo de las dos estaciones de MP10, con una frecuencia de 24 horas cada tres días, según la metodología vigente, chequear los flujos, limpiar los cabezales y los equipos, cambiar la silicona de la placa de impacto y chequear el controlador de flujo volumétrico cada tres meses con orificios calibrados.
3. Proporcionar los filtros para las dos estaciones de MP10, de modo tal de realizar el muestreo con una frecuencia de 24 horas, cada tres días.
4. Realizar el análisis gravimétrico de MP10, para los filtros monitoreados durante la campaña, de modo tal de obtener la concentración de dicho contaminante.
5. Realizar análisis químico a los filtros de MP10, para obtener la concentración de Pb presente en el aire. Realizar el análisis químico de acuerdo a lo que se establece en el D.S. N°136/2001, del MINSEGPRES.
6. Realizar una campaña de monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS), en cuatro puntos al interior de la ciudad de Antofagasta. Incluir caracterización química de los elementos de interés presentes en el MPS (Arsénico (As), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Selenio (Se), Vanadio (V), Zinc (Zn), Plomo (Pb) y Hierro (Fe)), utilizando como referencia el D.S. N° 4/1992, del Ministerio de Agricultura, la Resolución N° 099/1992 modificada por Resolución



Exenta N° 177 de Marzo de 2008 del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Región de Atacama, el informe “Especificaciones Técnicas para Implementación de Red de Monitoreo Material Particulado Sedimentable en Cuenca Río Huasco”, realizado por el Centro de Investigación Minería y Metalúrgica, CIMM y normativa internacional de referencia.

7. Realizar una propuesta de selección y localización de puntos para medición de Material Particulado Sedimentable, para cuatro puntos de la ciudad de Antofagasta.
8. Instalar equipos para monitorear el Material Particulado Sedimentable.
9. Transportar los filtros muestreados de las dos estaciones de MP10 y las botellas con Material Particulado Sedimentable a laboratorio acreditado, para su posterior análisis químico.
10. Enviar un informe mensual con los resultados del muestreo de las dos estaciones de MP10, Plomo en el Material Particulado Respirable, los resultados de MPS y los elementos de interés presentes en el MPS, de acuerdo a lo requerido en las bases técnicas.

El monitoreo de MP10 y análisis de Plomo en los filtros de MP10 comenzó el 22 de Octubre de 2015, en estaciones Rendic y Oncológico.

El monitoreo de MPS comenzó el día 20 de Noviembre de 2015, a excepción del punto identificado como MPS 02 Medio Ambiente, el cual inició su medición el 21 de Noviembre de 2015.

En Diciembre de 2015, los días de monitoreo para el punto identificado como MPS 02 Medio Ambiente, fueron 28, debido a que los días 14 y 15 de Diciembre de 2015 se realizó una actividad en la terraza donde se localiza el equipo, por lo que no estuvo expuesto a la intemperie.

El presente documento corresponde al informe N° 3, el cual contiene resultados de MP10 y Pb en MP10 para el periodo comprendido entre el 1 al 31 de Diciembre de 2015, así como los resultados de MPS y elementos de interés presentes en el MPS obtenidos para el mes de Diciembre de 2015.

Cabe mencionar que desde Mayo de 2014, los laboratorios de gravimetría y estufas a leña de SERPRAM S.A., están acreditados por el INN, acreditación LE1194 y LE1195, para operar como laboratorios de ensayo según la norma NCh-ISO 17025.Of 2005. El alcance de esta acreditación está especificado en el documento verificador adjuntado en Anexo 1.

## 2. METODOLOGÍA

Para asegurar la calidad de los datos obtenidos, se estableció un programa que contempla los siguientes aspectos:

- Procedimientos de calibración para los equipos utilizados en la medición
- Programa de operación, control y mantención
- Procedimientos para el procesamiento de datos
- Procedimiento para el manejo de muestras de partículas
- Procedimiento de localización de sitios para MPS

Por último, cabe hacer notar que la operación de las estaciones de calidad del aire se realiza bajo las directrices del D.S. N° 61/2008, del Ministerio de Salud, mientras que el monitoreo de MPS se basa en el D.S. N° 4/1992 del Ministerio de Agricultura, en la Ordenanza Sobre Control de Contaminación del Aire; y en la Norma ASTM D 1739-98 (Última modificación año 2010) “Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall” (Settleable Particulate Matter).

### 2.1. Material Particulado Respirable MP10

#### 2.1.1 El D.S. N° 59/1998, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, establece la norma de calidad primaria para Material Particulado Respirable MP10.

La normativa vigente corresponde al D.S. N° 59 de 1998, del MINSEGPRES, que establece Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia. Luego que el Segundo Tribunal Ambiental por sentencia anuló el D.S. N° 20/2013, del Ministerio del Medio Ambiente. Dicho fallo entró en vigencia el día 17 de octubre de 2015, con la publicación en el Diario Oficial de su parte resolutive y señaló que, en consecuencia, a partir de la publicación mencionada se deberá entender que recobra su vigencia y validez plena el mencionado D.S. N° 59 de 1998.

La actual normativa establece límites anuales y diarios para el MP10:

**TABLA 2.1**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES MP10**

CONTAMINANTE	NORMA ANUAL	NORMA DIARIA
MP10 (µg/m³N)	50	150



## I) Norma Diaria:

La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, es ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ), como concentración de 24 horas.

*Se considerará sobrepasada la norma diaria de calidad del aire para material particulado MP10 cuando:*

- a) El Percentil 98 de los valores promedios de 24 horas, registradas durante el período anual de cualquier estación monitorea calificada como EMRP, sea mayor o igual a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .*
- b) Asimismo, se considerará superada la norma, si antes que concluya el período anual de mediciones de las estaciones monitoras de material particulado respirable MP10 calificada con EMRP, se registrare un número de días con mediciones sobre el valor de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  mayor que siete (7).*

## II) Norma Anual:

La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado respirable MP10, es cincuenta microgramos por metro cúbico normal ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ), como concentración anual.

Se considerará sobrepasada la norma primaria anual de calidad del aire para material particulado respirable MP10 cuando:

- a) La concentración anual calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual que  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .*

Para evaluar el cumplimiento de la norma de calidad primaria para Material Particulado Respirable MP10, la estación donde se realice el monitoreo de calidad del aire, debe estar clasificada como Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional (EMRP)

Una estación de monitoreo podrá clasificarse como EMRP si cumple simultáneamente los siguientes criterios:

- Que exista al menos un área edificada habitada en un círculo de radio 2 km, contados de la estación.
- Que esté ubicada a más de 15 m de la calle o avenida más cercana, y a más de 50 m de la calle o avenida más cercana que tenga un flujo igual o superior a 2500 vehículos/día.

- Que esté ubicada a más de 50 m de la salida de un sistema de calefacción (que utilice carbón, leña o petróleo equivalente a petróleo - 2 o superior) o de otras fuentes fijas similares.

Además, según Artículo 8° del D.S. N°59/1998, indica que para efectos del emplazamiento de un colector de muestras de MP10 en una EMRP, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Los colectores deben estar a una distancia mínima de separación.
- Se requiere tomar la muestra a alturas que vayan desde los 2 a 15 m sobre el nivel del suelo.
- Obstrucciones espaciales:
  - Si el monitor es colocado sobre un techo o sobre otra estructura similar, entonces debería estar mínimo a 2 m de distancia de la pared más cercana, de una casa o cualquier otro obstáculo vertical;
  - Es aconsejable que los colectores estén a una distancia de aproximadamente 10 veces la altura del obstáculo mayor que esté en la misma dirección del viento.
  - En el caso de emisiones de chimeneas producidas por la combustión de gas natural, se debiera tomar como precaución ubicar el muestreador a lo menos a 5 m de distancia de la chimenea.
  - Los árboles proporcionan una buena superficie para la acumulación de partículas, además de restringir un flujo expedito del aire. De esta forma, es favorable que un muestreador sea colocado a lo menos a 20 m. de la línea de goteo de la rama más larga de un grupo determinado de árboles y a 10 m de ella, si es que este obstáculo actúa como un reductor del flujo.
  - La posición de un colector debe ser tal, que permita un área libre de obstáculos que proporcione a lo menos un arco de 270° para poder recolectar libremente y sin restricciones las muestras de MP10.

Por otro lado, el Decreto Supremo N° 61/2008 del Ministerio de Salud, indica las directrices y disposiciones en cuanto a las calibraciones de equipos de medición, mantención de monitores, registros mínimos que deben mantenerse en la estación, disposiciones para el tratamiento de los datos e informes, características físicas de los sistemas y subsistemas que integran las estaciones, entre otras.

### **2.1.2 Procedimiento de muestreo:**

Para el muestreo de MP10 se utiliza un muestreador para material particulado Tich Environmental de alto volumen (Hi-Vol), el cual mide las partículas en suspensión de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 micrones (MP10). A este quipo se realizó un chequeo antes del inicio de las mediciones, usando un calibrador de flujo másico BIOS, para conocer el caudal de aire muestreado. Cabe hacer notar, que estos equipos tienen un



controlador de flujo másico, el cual viene calibrado de fábrica, para aspirar aire a 16,7 litros/min.

El muestreo de MP10, se realiza con una frecuencia de 24 horas cada tres días, utilizando un filtro de fibra de vidrio, por su eficiencia de retención de partículas finas y por sus propiedades no higroscópicas, los cuales son enviados al laboratorio de gravimetría de SERPRAM S.A., en Santiago, para determinar la concentración de MP10. Los filtros son pesados antes y después de muestreados en una balanza electrónica (precisión  $10^{-4}$  gramos). Luego con la masa de MP10 obtenida, es posible realizar el cálculo de la concentración de material particulado en condiciones normales ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

#### • Evaluación y tratamiento de los filtros antes del muestreo

- Los filtros para realizar muestreo de Material Particulado, deben ser chequeados para detección de fallas de fabricación.
- Cuando se adquiere filtros que no vienen codificados de fábrica, es necesario rotularlos con un código de identificación para el control de calidad durante la cadena de custodia (ID), este código debe ser impreso mediante un foliador en esquinas contrapuestas del filtro en la superficie que no se expondrá a recibir la muestra (cara más lisa).

Al usar filtros codificados, estos tienen una serie numérica (N° ID de filtro), se debe registrar este código en forma correlativa. Si los filtros no están codificados, se deben rotular correlativamente.

Cuando se adquieren filtros que vienen codificados de fábrica, estos no se mezclan con aquellos que son foliados en las esquinas contrapuestas del filtro.

- Los filtros deben tratarse para ser estandarizados, expuestos con la cara más rugosa hacia arriba en la cabina de ambientación correspondiente por un periodo mínimo de 24 horas.

Comprobar que la temperatura y la humedad relativa de la sala de balanzas, se han mantenido dentro de los límites permitidos ( $T^\circ$ :  $20^\circ\text{C} \pm 5.6^\circ\text{C}$ , H.R.  $< 50\%$ ), para las últimas 24 horas.

- Para el pesaje de los filtros primeramente, se retiran los filtros de la cabina de ambientación acercándolos al sector, donde se utiliza la balanza de la siguiente manera:

Se abre la cámara de pesaje y se deposita el primer filtro tomándolo con pinza lisa, teniendo especial cuidado con los bordes del filtro, ya que se dañan fácilmente. Debe



quedar centrado en el soporte de pesaje para no alterar su peso. Cerrar la cámara y esperar a que el peso se estabilice por un período mínimo de 30 segundos antes de transferir el peso a la planilla de registro.

- El display de la balanza debe mostrar 0,0000 g., después de pesar filtros de 8x10 pulg. Antes de cada pesada tarar si es necesario.
- Cada filtro de 8x10 pulg. es pesado 2 veces, de la misma manera, y se registran los dos valores.
- Después de concluida la etapa de determinación gravimétrica, los filtros son almacenados. Este proceso de medición es no destructivo y el material particulado puede ser objeto de posteriores análisis físicos o químicos.
- Las muestras luego del pesaje son almacenadas en bolsas plásticas selladas y rotuladas para ser enviadas al laboratorio DICTUC.

## **2.2 Plomo en el Material Particulado Respirable MP10**

**2.2.1 El D.S. N° 136/2000, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, establece la norma de calidad primaria para Plomo en el aire.**

### **I) Norma Anual:**

La norma primaria de calidad del aire para el contaminante plomo será de 0,5 microgramos por metro cúbico normal ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ), como concentración anual.

Se considerará sobrepasada la norma primaria anual de calidad primaria para Plomo en el aire cuando:

- a) El promedio aritmético de los valores de concentración anual de dos años sucesivos supera el nivel de la norma en cualquier estación de monitoreo con representatividad poblacional EMPB, es decir lugares con niveles de contaminación representativos de la calidad del aire, al cual están expuestas las personas.*
- b) Asimismo se considerará sobrepasada la norma si la concentración anual correspondiente al primer período anual contado desde la entrada en vigencia de la presente norma, es superior en más de un 100 % al nivel de la norma, en cualquier estación EMPB.*

Para evaluar el cumplimiento de la norma de calidad primaria para Plomo, la estación donde se realice el monitoreo de calidad del aire, debe estar clasificada como Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional (EMPB).

Una estación de monitoreo podrá clasificarse como EMPB si cumple simultáneamente los siguientes criterios:

- a) Que la estación se utilizará para el muestreo de material particulado de 24 horas con el fin de realizar un análisis de plomo.
- b) Que exista al menos un área habitada en un radio de 2 kilómetros (km), contados desde la ubicación de la estación.
- c) Que se ubique a más de 15 metros de la calle o avenida más cercana, y a más de 50 metros de la calle o avenida más cercana que tenga un flujo igual o superior a 2.500 vehículos/día.
- d) Que se ubique a más de 50 metros de una fuente fija emisora de plomo.

La medición de la concentración de plomo en aire comprenderá dos etapas: el muestreo de material particulado respirable MP10 y el análisis de plomo en éste.

### **2.2.2 Procedimiento de muestreo:**

Para dar cumplimiento con el artículo 4° del D.S N° 136/2000 del MINSEGPRES, SERPRAM utiliza el método gravimétrico de muestreador de alto volumen equipado con cabezal MP10 en estaciones Oncológico y Rendic para la determinación de Material Particulado MP10; una vez finalizado el muestreo de los filtros, éstos son enviados a Santiago al laboratorio de SERPRAM para ser pesados en la sala de gravimetría y de éste modo obtener posteriormente, la concentración del MP10 en unidad  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ . A continuación, para el análisis de Plomo (Pb), los filtros de MP10, son trasladados al laboratorio DICTUC, en donde, por medio del método Espectrofotometría de Emisión de Plasma (ICP), se determina la masa de Plomo contenida en los filtros de MP10, en unidad mg/filtro. Si bien el D.S. N° 136/2000, indica que el método de análisis del Plomo en el Material Particulado corresponde a la Espectrometría de Absorción Atómica, se utiliza el método señalado anteriormente (ICP), debido a que tiene rangos más bajos de límites de detección, lo que permite determinar la presencia de Plomo (Pb) en bajas concentraciones. Para mayor información y detalles de esta metodología ver Anexo N° 7 Metodologías, “Determinación de Metales en muestras sólidas por Espectrofotometría de Emisión de Plasma”.

El método utilizado para la determinación de plomo en filtros corresponde a los métodos descritos en la norma TMECC “Test Methods for the Examination Composting and Compost” basados en la EPA 3050 y 6010. Estos métodos TMECC describen un



pretratamiento de muestras sólidas, que consiste en una digestión en medio ácido para obtener así los analitos a determinar en solución (TMECC 04.12), posteriormente la muestra digestada es analizada por plasma inductivamente acoplado ICP-OES (TMECC 04.14), cuantificando los metales requeridos.

En Anexo N° 1 se adjuntan los certificados del laboratorio Dictuc, y en Anexo N° 7 las metodologías.

### **2.3 Material Particulado Sedimentable**

El país no dispone de una norma primaria o secundaria de calidad de Material Particulado Sedimentable (MPS), para la zona de estudio, por lo que se utilizará como referencia, la normativa nacional (D.S. N° 4/1992) e internacional (Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire), que se describen a continuación:

#### **2.3.1 D.S. N° 4/1992, del Ministerio de Agricultura, que establece Normas de Calidad de Aire para Material Particulado sedimentable en la cuenca del río Huasco.**

Este Decreto Supremo, corresponde a una norma de calidad secundaria que establece lo siguiente:

##### **I) Norma Mensual:**

- a) *El límite de material particulado sedimentable es 150 miligramos por metro cuadrado por día ( $\text{mg}/(\text{m}^2\text{día})$ ), como concentración media aritmética mensual.*

##### **II) Norma Anual:**

- a) *Material particulado sedimentable: 100 ( $\text{mg}/(\text{m}^2\text{día})$ ), como concentración media aritmética anual.*

#### **2.3.2 Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire, de 1993.**

El objetivo de esta ordenanza es proteger a los seres humanos, animales, plantas, sus comunidades biológicas y hábitats, y al suelo, de los efectos nocivos o trastornos producidos por la contaminación del aire, para ello dicha norma regulará:

- a) Las medidas preventivas para limitar las emisiones de fuentes que contaminan el aire y la incineración de desperdicios al aire libre;
- b) Las normas para los combustibles;
- c) El contenido máximo permitido de contaminantes;
- d) Procedimientos a seguir si se alcanzan niveles excesivos de contaminación.

De acuerdo a lo comunicado por el Dr. Martin Schiess, Jefe de División de Gestión de Aire y Control de la Contaminación Química, de la oficina Federal del Medio Ambiente (FOEN), de la Confederación Suiza, esta Ordenanza no tiene la intención de poseer objetivos de protección separados. Para ajustar la norma de MPS, los valores se definieron en base a la protección de la fertilidad del suelo, vegetación y aguas, lo que en última instancia conduce a la protección humana y salud animal<sup>1</sup>.

#### **I) Norma Anual MPS:**

*a) Se define el límite de Material Particulado Sedimentable en 200 (mg/(m<sup>2</sup>día)), como promedio anual.*

La evaluación del cumplimiento normativo se realiza determinando el promedio aritmético de las tasas de sedimentación mensuales (mg/m<sup>2</sup>d), registradas durante un año de medición.

#### **2.3.3 Procedimiento de muestreo:**

La metodología y colectores de material particulado sedimentable cumplen con las exigencias establecidas en el D.S. N° 4/1992 del Ministerio de Agricultura, donde se establecen las Normas de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la Cuenca del río Huasco, también con la Resolución exenta N° 099 del SAG III Región, con las especificaciones descritas en el informe “Especificaciones Técnicas para Implementación de Red de Monitoreo Material Particulado Sedimentable en Cuenca Río Huasco”, realizado por el Centro de Investigación Minería y Metalúrgica, CIMM y según las especificaciones establecidas en la norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), última modificación en el año 2010. Ver Anexo N° 9, Normativa Internacional de referencia.

Para la selección de los lugares donde se instalaron los equipos colectores de Material Particulado Sedimentable (MPS), se consideraron diversos criterios, los cuales se encuentran establecidos en el informe del Centro de Investigación Minería y Metalúrgica, CIMM. En el siguiente cuadro resumen se aprecian los criterios para la selección e instalación de los puntos de medición de material particulado sedimentable. También es importante señalar que el lugar donde se instaló el equipo debe estar protegido del ingreso de personas ajenas al monitoreo.

---

<sup>1</sup> Comunicación interna entre profesional de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente y la Oficina Federal del Medio Ambiente (FOEN), de la Confederación Suiza, de fecha 11 de febrero de 2016.



**TABLA 2.2**

**CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL LUGAR DE INSTALACIÓN DE MPS**

Criterios	Comentarios
Altura	- La altura ideal es a nivel del suelo. - Boca del depósito entre 1.5 y 15 m del suelo.
Distancias obstrucciones	- Mayor a 2 m en caso de estar en un techo u otra estructura.
Otros criterios	- La distancia del muestreador a un obstáculo tal como árboles y edificios, deberá ser el doble de la altura que el obstáculo sobresale del muestreador. - El flujo del aire alrededor del muestreador no deberá estar restringido en un arco de 270 ° - No debe haber cerca chimeneas de incineradores u hornos. - Debe haber una distancia mínima desde los caminos. - A 2 metros de altura se recomienda una separación mínima de 5 metros para caminos con tráfico menor a 3000 vehículos por día y una separación mínima de 25 metros para caminos con un tráfico mayor a 3000 vehículos por día.

Para la elección de los lugares de monitoreo, durante el mes de Octubre y parte de Noviembre del 2015, SERPRAM elaboró una propuesta de localización de puntos para la medición de Material Particulado Sedimentable (MPS), en donde se analizaron los criterios mencionados anteriormente. Ver Anexo N° 7, de informe N° 1.

En dicho documento SERPRAM analizó las características de ocho posibles puntos para la instalación de los quipos colectores de MPS, esta propuesta fue presentada a la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) del Medio Ambiente, quien aprobó dos puntos de monitoreo, los cuales corresponden a Regimiento Logístico y Terraza primer piso del Edificio Productivo. Debido a que los puntos de monitoreo son cuatro, la SEREMI propuso dos nuevos puntos, los cuales corresponden a la Plaza del Edificio de Obras Publicas y la Casa de Retiro del Colegio San Luis. De esta forma los cuatro lugares aprobados para la instalación de equipos colectores de MPS son:

- 1. Regimiento Logístico
- 2. Terraza primer piso Edificio Productivo
- 3. Plaza Edificio de Obras Públicas
- 4. Casa de Retiro del Colegio San Luis.

Una vez aprobados los sitios de muestreo por la SEREMI, se instaló un colector tipo ASTM, basado en el equipo standard británico, al que se le modificó el diámetro del depósito del colector (50 cm). El colector se monta en una estructura de acero, tipo trípode, a una altura de 1.5 m. El colector permite recoger las partículas existentes en el aire, las que se depositan por gravedad. Su parte inferior termina en un embudo de acero inoxidable. Ver figuras 2.3 a 2.6.



El muestreador se deja al aire libre durante un mes calendario. El día 1 de cada mes en que se inicia el programa de muestreo, se coloca la botella que recolecta el material particulado sedimentable, lavada previamente con detergente y enjuagada con agua destilada. El día 1 del mes siguiente, de preferencia a la misma hora, el muestreador se lava cuidadosamente con agua destilada para arrastrar todo el material particulado sedimentable depositado en las paredes, se saca la botella y se reemplaza por otra igual. Se tapa la botella con la muestra y se traslada al laboratorio DICTUC.

El día de recambio de la botella puede atrasarse o adelantarse en dos días, siempre que se tome nota del día en que se hizo el cambio.

El tratamiento de las muestras de MPS en el laboratorio, es el siguiente:

Para muestras líquidas: mida el volumen, normalmente corresponde a 1 lt. Agite vigorosamente y tome 200 ml, filtre a través de filtro de membrana 0,45µm (previamente pesado).

Luego del filtrado, los filtros se traspasan a placas Petri; y se llevan a estufa de secado por un período de 48 a 72 horas o hasta peso constante, a una temperatura de 36 °C. Se calcula el peso de las muestras por diferencia, entre el peso del filtro con y sin muestra, se expresa el valor en miligramo (mg). Una vez que los filtros se encuentran secos se traspasan a vasos previamente rotulados y se digieren según indica el protocolo de digestión para filtros ambientales.

## **2.4. Elementos de Interés en el MPS**

El país no dispone de norma primaria o secundaria de calidad para elementos de interés presentes en el Material Particulado Sedimentable (MPS), para la zona de estudio, por lo que se utilizará como referencia la normativa nacional (D.S. N° 4/1992) e internacional (Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire), que se describen a continuación:

### **2.4.1 D.S. N° 4/1992 del Ministerio de Agricultura, que establece Normas de Calidad de Aire para Material Particulado sedimentable en la cuenca del río Huasco**

Este Decreto Supremo, corresponde a una norma de calidad secundaria que establece lo siguiente:

#### **I) Norma Mensual:**

- a) *Hierro en el material particulado sedimentable: 60 mg/m<sup>2</sup> día, como concentración media aritmética mensual, con excepción de los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y primera mitad de Diciembre en el que ésta será de 30 mg/m<sup>2</sup> día, como concentración media aritmética mensual.*

Para el mes de Diciembre se considerara el valor más restrictivo, es decir 30 mg/m<sup>2</sup>día.

## **II) Norma Anual:**

- a) *Hierro en el material particulado sedimentable: 30 mg/m<sup>2</sup> día, como concentración media aritmética anual.*

### **2.4.2 Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire**

A continuación, se mencionan como referencia los límites definidos por la *Confederación Suiza*.

## **I) Norma Anual:**

- a) *Plomo (Pb) en Material Particulado Sedimentable: 100 ug/m<sup>2</sup>día, como concentración media aritmética anual.*
- b) *Zinc (Zn) en Material Particulado Sedimentable: 400 ug/m<sup>2</sup> día, como concentración media aritmética anual.*

La evaluación del cumplimiento normativo de los elementos Plomo (Pb) y Zinc (Zn) se realiza determinando el promedio aritmético de los valores de las tasas de sedimentación trimestral correspondientes a un año.

### **2.4.3 Procedimiento de muestreo:**

La metodología utilizada por el laboratorio Dictuc para el análisis de elementos de interés en el MPS, se describe brevemente en el anexo N° 8 Metodologías:” Determinación de metales en muestra sólida”, la cual se basa en los protocolos descritos en TMECC 02.02: Laboratory simple preparation, TMECC 04.12-B Nitric Acid Digestion of Compost and Soils y TMECC 04.14: Inductively Coupled Plasma Analysis.

La determinación de los elementos de interés en el MPS comprende dos etapas: el muestreo de MPS y el análisis químico de los elementos de interés en el MPS.

El muestreo de MPS se realiza como se indica en el numeral 2.3.3 “Procedimiento de muestreo para el MPS” del presente informe, luego, para determinar los elementos de interés, se debe ajustar y verificar el equipo (Espectrómetro), el cual determina el porcentaje de metal en las muestras, metodología que se detalla a partir del punto 6.5 del documento Determinación de metales en muestra sólida, elaborado por el Dictuc y adjuntado en el Anexo N° 8.

Cabe mencionar que Dictuc ha presentado una solicitud de renovación de su acreditación al Instituto Nacional de Normalización (INN), para incluir el análisis de Zn, Mo, Se, Mn, V,

Ni, Al, Cd, Cr y Pb en Polvos sedimentables, la cual se incorpora en el Anexo N° 1. Cabe hacer notar que la metodología usada en su determinación, es la misma que se usa en filtros y suelos, para lo cual el DICTUC está acreditado.

**2.5 Estaciones de Monitoreo y Equipos de Medición Utilizados**

**2.5.1 Estaciones de monitoreo de MP10 y análisis de Plomo en MP10:**

A continuación se presenta un detalle de los equipos instalados en el sector norte y centro de la ciudad de Antofagasta, para realizar el monitoreo de Calidad del Aire.

Las estaciones de monitoreo de MP10 se describen a continuación:

**ESTACIÓN RENDIC**

**Lugar:** Avenida Antonio Rendic N° 6071, Antofagasta

**Mediciones de calidad del aire:** MP10 y Análisis de Plomo.

Las coordenadas geográficas (UTM) son según Datum WGS 84:

7 387 679 N  
358 921 E

En el siguiente cuadro se describen los equipos instalados.

**TABLA 2.3**  
**EQUIPOS INSTALADOS EN ESTACIÓN RENDIC**

PARÁMETRO	EQUIPO	MODELO	Nº DE SERIE	PRINCIPIO OPERACIÓN
MP10	Tisch Environmental	TE-10557	P7272-X	Gravimetría, control flujo volumétrico



A continuación en figura 2.1 se presenta una fotografía de la estación Rendic y su equipo de monitoreo:



2.1. Equipo de monitoreo Estación Rendic

**ESTACIÓN ONCOLÓGICO**

**Lugar:** Calle 21 de Mayo N° 1352, Antofagasta

**Mediciones de calidad del aire:** MP10 y Análisis de Plomo.

Las coordenadas geográficas (UTM) son según WGS 84:

7 382 847 N  
357 711 E

En el siguiente cuadro se describen los equipos instalados.

**TABLA 2.4**

**EQUIPOS INSTALADOS EN ESTACIÓN ONCOLÓGICO**

PARÁMETRO	EQUIPO	MODELO	Nº DE SERIE	PRINCIPIO OPERACIÓN
MP10	Tisch Environmental	TE-10557	P7232- X	Gravimetría, control flujo volumétrico

A continuación en figura 2.2 se presenta una fotografía de la estación Oncológico y su equipo de monitoreo:



**2.2. Equipo de monitoreo Estación Oncológico**

**2.5.2 Equipos de muestreo de Material Particulado Sedimentable**

En el siguiente cuadro se presentan las coordenadas geográficas (UTM), según Datum WGS 84, de los lugares donde fueron instalados los colectores de Material Particulado Sedimentable.



**TABLA 2.5**  
**ESTACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE**

ESTACIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM
MPS 01 MOP	Patio Sur Edificio Ministerio de Obras Públicas-Intercepción Calle Latorre y Avenida Grecia (Latorre 2027), Antofagasta, Región de Antofagasta.	0356972E; 7383619N
MPS 02 Medio Ambiente	Terraza de Edificio Productivo (CORFO) - Calle Carrera 1701, Antofagasta, Región de Antofagasta.	0356994E; 7382873N
MPS 03 San Luis	Casa de Retiro Colegio San Luis - Avenida Pedro Aguirre Cerda 9451, Antofagasta, Región de Antofagasta.	0358006E; 7391641N
MPS 04 Ejército	Regimiento Logístico - Av. Ejército 01750, Antofagasta, Región de Antofagasta	0355362E; 7379652N

En el siguiente cuadro se describen los equipos instalados.

**TABLA 2.6**  
**EQUIPOS DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE**

PARÁMETRO	EQUIPO	PRINCIPIO PERACIÓN
MPS	Colector ASTM basado en equipo standard británico	Gravimetría

En las Figuras 2.3 a 2.6, se presentan fotografías de los equipos de monitoreo de Material Particulado Sedimentable.



**FIGURA 2.3. MPS 01- MOP**



**FIGURA 2.4. MPS 02-Medio Ambiente**



**FIGURA 2.5. MPS 03- San Luis**



**FIGURA 2.6. MPS 04-Ejército**



### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Monitoreo de Calidad de aire**

El programa de monitoreo para el mes de Diciembre, consiste en realizar las siguientes mediciones de calidad de aire:

- MP10 Material Particulado Respirable
- Análisis de Plomo (Pb) en MP10
- Material Particulado Sedimentable
- Elementos de Interés Presentados en el MPS

#### **3.2 Material Particulado Respirable MP10**

En la Tabla 3.1, se presentan los resultados de las mediciones realizadas de material particulado respirable MP10, realizadas en Estaciones RENDIC y ONCOLÓGICO, para el período de mediciones comprendido entre el 22 de Octubre al 31 de Diciembre de 2015.

En Anexo 2 se presenta un detalle de cada uno de los parámetros tomados en terreno que permitieron determinar la concentración de material particulado respirable.

**TABLA 3.1**  
**RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE**  
**MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10 EN EL AIRE AMBIENTE**  
**ESTACIONES RENDIC Y ONCOLÓGICO**

**PERÍODO 22 DE OCTUBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2015**

Concentración expresada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$

FECHA MUESTREO	RENDIC	ONCOLÓGICO
22-10-15	29	43
25-10-15	36	33
28-10-15	48	38
31-10-15	34	48
<b>PROMEDIO MES</b>	<b>37</b>	<b>41</b>
03-11-15	36	31
06-11-15	34	27
09-11-15	38	27
12-11-15	34	28
15-11-15	36	25
18-11-15	31	26
21-11-15	33	33
24-11-15	31	38
27-11-15	31	16
30-11-15	17	32
<b>PROMEDIO MES</b>	<b>32</b>	<b>28</b>
03-12-15	39	30
06-12-15	22	18
09-12-15	33	31
12-12-15	25	22
15-12-15	25	22
18-12-15	25	20
21-12-15	36	30
24-12-15	31	29
27-12-15	16	17
30-12-15	21	17
<b>PROMEDIO MES</b>	<b>27</b>	<b>24</b>
<b>PROMEDIO PERÍODO</b> <i>22 de Octubre al 31 de Diciembre de 2015</i>	<b>32</b>	<b>31</b>
<b>Valor Máximo</b>	<b>54</b>	<b>48</b>
<b>Valor Mínimo</b>	<b>16</b>	<b>16</b>



3.3 Plomo en el Material Particulado Respirable MP10

3.3.1 Plomo en el Material Particulado Respirable MP10 Estación Rendic

En la Tabla 3.2, se presentan los resultados de las mediciones realizadas de material particulado respirable MP10 en estación Rendic y los resultados de plomo, para el período comprendido entre el 22 de Octubre al 31 de Diciembre de 2015.

En Anexo 2 se presenta un detalle de cada uno de los parámetros utilizados para determinar la concentración de plomo en el MP10 y su aporte porcentual.

**TABLA 3.2**  
**PLOMO EN MP10**  
**PERÍODO 22 DE OCTUBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2015**  
**ESTACIÓN RENDIC**

Nº FILTRO	FECHA	CONCENTRACIÓN MP10 µg/m³N	PLOMO (Pb)	
			µg/m³N	%
15102456	22-10-15	29	0,004	0,014
15102451	25-10-15	36	0,004	0,010
15102460	28-10-15	48	0,005	0,011
15102478	31-10-15	34	0,004	0,010
15092280	03-11-15	36	0,011	0,031
15102452	06-11-15	34	0,009	0,026
15071753	09-11-15	38	0,013	0,035
15071558	12-11-15	34	0,009	0,026
15071562	15-11-15	36	0,013	0,036
15112801	18-11-15	31	<0,002	<0,002
15112792	21-11-15	33	0,022	0,067
15112790	24-11-15	31	<0,002	<0,002
15112787	27-11-15	31	0,016	0,054
15123019	30-11-15	17	0,007	0,041
15071560	03-12-15	39	0,003	0,007
15122998	06-12-15	22	0,006	0,026
15123021	09-12-15	33	0,008	0,023
15123003	12-12-15	25	0,006	0,026
15123224	15-12-15	25	0,005	0,019
15123005	18-12-15	25	0,005	0,021
15123026	21-12-15	36	0,007	0,020
15123006	24-12-15	31	0,009	0,030
15123222	27-12-15	16	0,012	0,076
15123205	30-12-15	21	0,004	0,019

A continuación se presenta el aporte porcentual del Plomo en el MP10, en la estación Rendic.

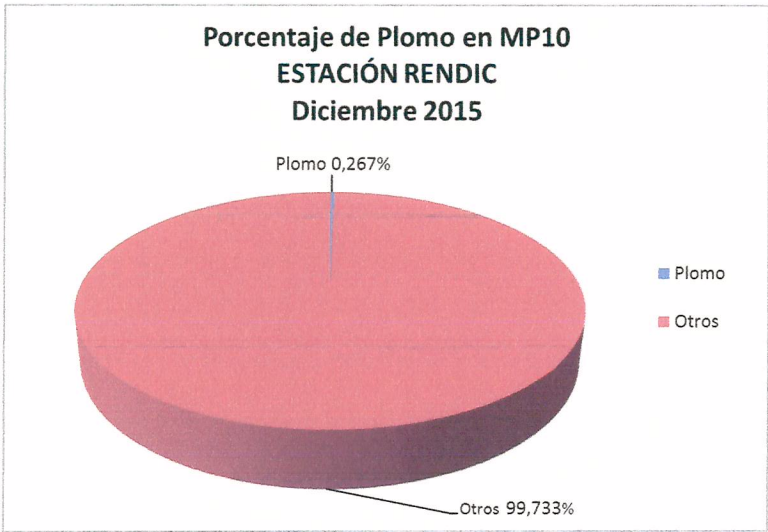


Gráfico N°1: Porcentaje de Plomo contenido en el MP10, estación Rendic

3.3.2 Plomo en el Material Particulado Respirable MP10 Estación Oncológico

En la Tabla 3.3, se presentan los resultados de las mediciones realizadas de material particulado respirable MP10, en estación Oncológico, y los resultados de plomo, para el período comprendido entre el 22 de Octubre al 31 de Diciembre de 2015.

En Anexo 2 se presenta un detalle de cada uno de los parámetros utilizados para determinar la concentración de plomo en el MP10 y su aporte porcentual.

**TABLA 3.3**  
**PLOMO EN MP10**  
**PERÍODO 22 DE OCTUBRE AL 31 DE DICIEMBRE DE 2015**  
**ESTACIÓN ONCOLÓGICO**

N° FILTRO	FECHA	CONCENTRACIÓN MP10 µg/m³N	PLOMO (Pb)	
			µg/m³N	%
15082011	22-10-15	43	0,021	0,048
15071563	25-10-15	33	0,010	0,031
15102458	28-10-15	38	0,009	0,024
15102459	31-10-15	48	0,007	0,001
15071752	03-11-15	31	0,027	0,084
15102453	06-11-15	27	0,025	0,093
15071557	09-11-15	27	0,005	0,020
15112802	12-11-15	28	0,036	0,127
15112793	15-11-15	25	0,017	0,069
15112789	18-11-15	26	0,009	0,033
15071559	21-11-15	33	0,018	0,056
15112788	24-11-15	38	0,020	0,054
15123018	27-11-15	16	0,007	0,044
15123027	30-11-15	32	0,006	0,019
15071561	03-12-15	30	0,008	0,028
15122999	06-12-15	18	0,006	0,033
15123020	09-12-15	31	0,009	0,028
15123004	12-12-15	22	0,004	0,016
15123223	15-12-15	22	0,005	0,024
15123206	18-12-15	20	0,006	0,030
15123007	21-12-15	30	0,006	0,020
15123000	24-12-15	29	0,009	0,031
15123221	27-12-15	17	0,004	0,021
15123207	30-12-15	17	0,004	0,024



A continuación se presenta el aporte porcentual del Plomo en el MP10, en la estación Oncológico.

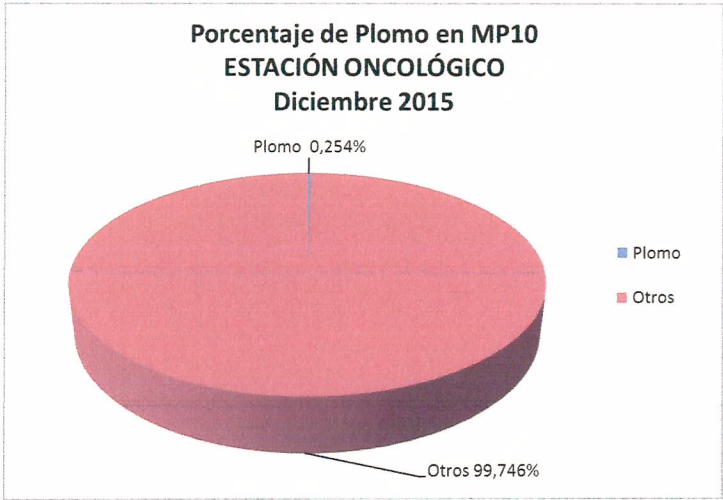


Gráfico N°2: Porcentaje de Plomo en el MP10, estación Oncológico

3.4 Material Particulado Sedimentable

En la Tabla 3.4, se presentan los resultados del contenido de Material Particulado Sedimentable en cada punto de monitoreo, expresado como tasa de sedimentación. Cabe mencionar que en Anexo N° 4, se presenta planilla de cálculo con la cual se obtuvo el valor de la tasa de sedimentación.

**TABLA 3.4**  
**RESULTADOS DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE**  
**DICIEMBRE 2015**

ESTACIÓN	MPS (mg)	MPS (mg/m²día)
MPS 01 MOP	688	117
MPS 02 Medio Ambiente	300	55
MPS 03 San Luis	236	40
MPS 04 Ejército	175	30

**3.5 Elementos de interés en el Material Particulado Sedimentable**

En las Tablas 3.5 A y B, se presentan los resultados del contenido de Arsénico (As), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Selenio (Se), Vanadio (V), Zinc (Zn) y Hierro (Fe) en el Material Particulado Sedimentable, como tasa de sedimentación expresado en mg/(m<sup>2</sup>día) y aporte porcentual de cada elemento de interés en el MPS. En anexo N° 4, se presenta planilla Excel con valores y cálculos de MPS, así como también los valores de elementos de interés contenidos en el MPS.

**TABLA 3.5 A**

**RESULTADOS DE ELEMENTOS DE INTERÉS EN EL MPS  
TASA DE SEDIMENTACIÓN**

**DICIEMBRE 2015**

ESTACIÓN	MPS mg/m <sup>2</sup> día	As mg/m <sup>2</sup> día	Cu mg/m <sup>2</sup> día	Mn mg/m <sup>2</sup> día	Mo mg/m <sup>2</sup> día	Ni mg/m <sup>2</sup> día	Pb mg/m <sup>2</sup> día	Se mg/m <sup>2</sup> día	V mg/m <sup>2</sup> día	Zn mg/m <sup>2</sup> día	Fe mg/m <sup>2</sup> día	Otros mg/m <sup>2</sup> día
<b>MOP</b>	117	0,023	3,791	0,047	0,008	0,005	0,152	<0,001	0,007	4,875	10,516	97,50
<b>MEDIO AMBIENTE</b>	55	0,005	0,341	0,022	0,002	0,010	0,013	<0,001	0,003	0,415	1,861	51,96
<b>SAN LUIS</b>	40	0,001	0,073	0,024	0,001	0,024	0,004	<0,001	0,003	0,059	1,700	38,15
<b>EJERCITO</b>	30	0,004	0,244	0,016	0,002	0,046	0,009	<0,001	0,002	0,209	1,855	27,35

**TABLA 3.5 B**

**RESULTADOS DE ELEMENTOS DE INTERÉS EN EL MPS  
APORTE PORCENTUAL**

**DICIEMBRE 2015**

ESTACIÓN	As (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Pb (%)	Se (%)	V (%)	Zn (%)	Fe (%)	Otros (%)
<b>MOP</b>	0,02	3,242	0,04	0,007	0,004	0,13	<0,001	0,006	4,169	8,994	83,388
<b>MEDIO AMBIENTE</b>	0,01	0,624	0,041	0,003	0,019	0,023	<0,001	0,006	0,76	3,407	95,107
<b>SAN LUIS</b>	0,003	0,182	0,06	0,002	0,059	0,009	<0,001	0,007	0,148	4,247	95,283
<b>EJERCITO</b>	0,013	0,822	0,054	0,007	0,154	0,03	<0,001	0,007	0,702	6,237	91,974



A continuación se presentan gráficos con la composición de elementos de interés en el MPS para cada punto de muestreo:

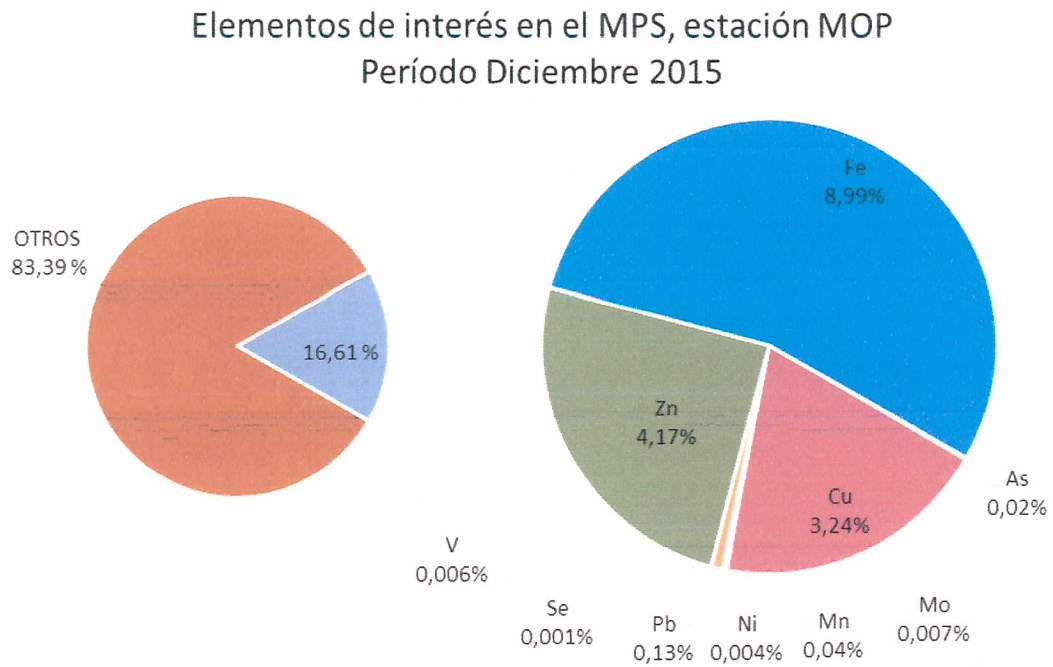


Gráfico N° 3: Aporte porcentual de elementos de interés, estación MOP

Elementos de interés en el MPS, estación  
MEDIO AMBIENTE  
Período Diciembre 2015

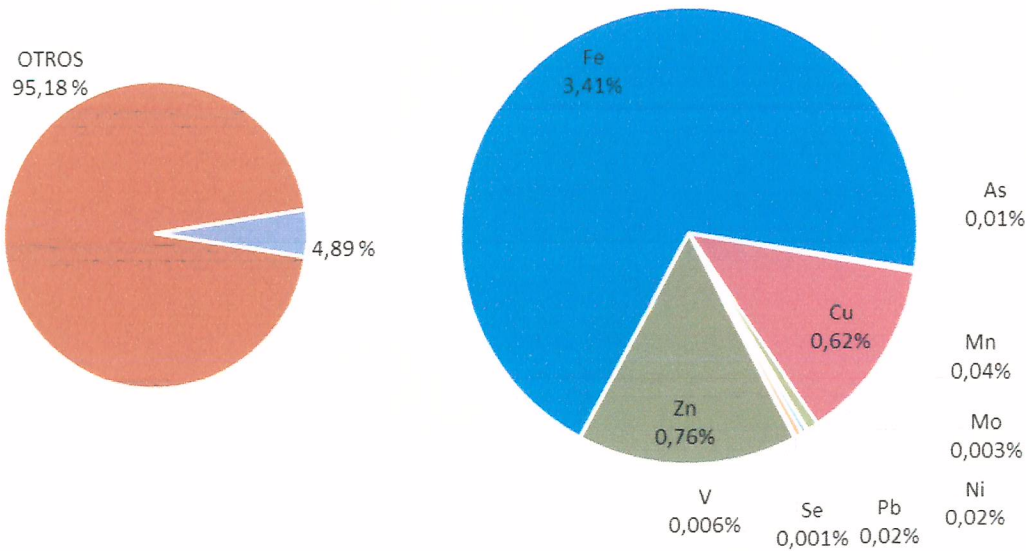


Gráfico N° 4: Aporte porcentual de elementos de interés, estación Medio Ambiente

Elementos de interés en el MPS, estación SAN LUIS  
Período Diciembre 2015

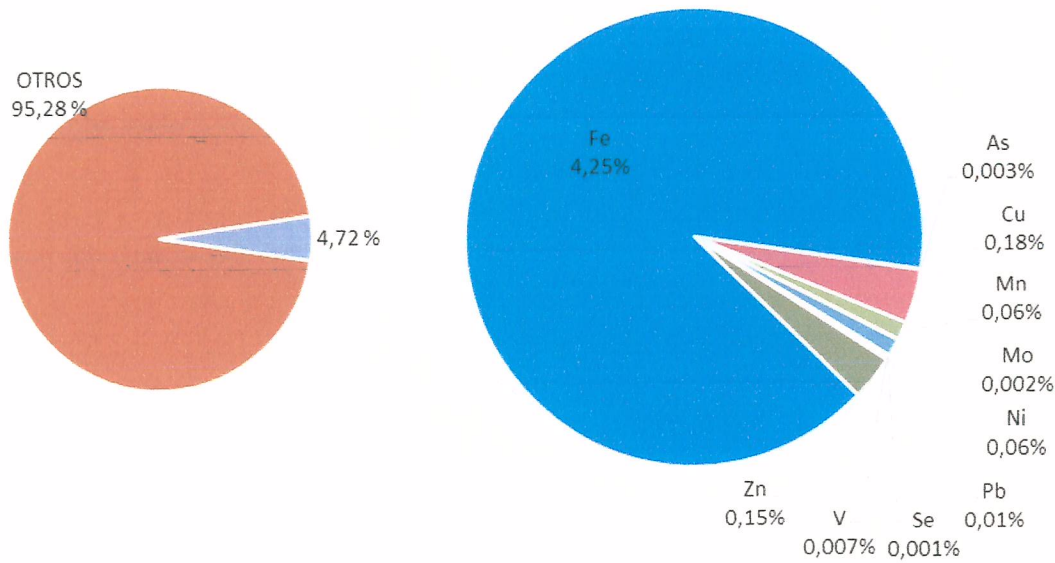


Gráfico N° 5: Aporte porcentual de elementos de interés, estación San Luis

Elementos de interés en el MPS, estación EJÉRCITO  
Período Diciembre 2015

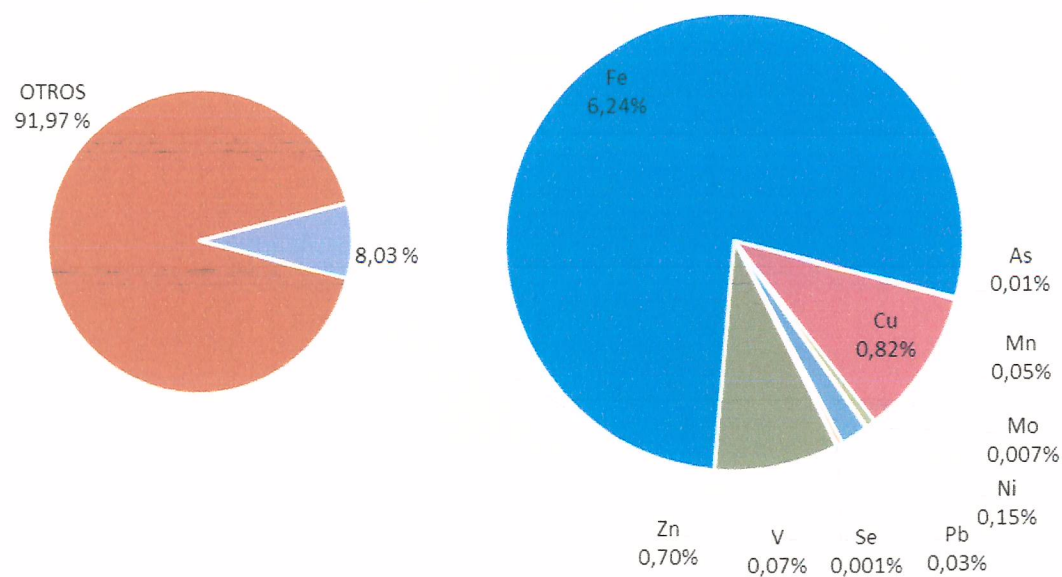


Gráfico N° 6: Aporte porcentual de elementos de interés, estación Ejército



## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Material Particulado Respirable MP10**

De la Tabla 3.1 donde se presentaron los valores de MP10, en las estaciones Rendic y Oncológico, se puede observar lo siguiente:

#### **OCTUBRE**

Los valores promedios diarios en estación RENDIC estuvieron comprendidos entre 29 y 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de octubre fue de 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Los valores promedios diarios en estación ONCOLÓGICO estuvieron comprendidos entre 33 y 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de octubre fue de 41  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

#### **NOVIEMBRE**

Los valores medios diarios en estación RENDIC estuvieron comprendidos entre 17 y 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor medio fue de 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Los valores medios diarios en estación ONCOLÓGICO estuvieron comprendidos entre 16 y 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor medio fue de 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

#### **DICIEMBRE**

Los valores medios diarios en estación RENDIC estuvieron comprendidos entre 16 y 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ; y el valor medio fue de 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Los valores medios diarios en estación ONCOLÓGICO estuvieron comprendidos entre 17 y 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ; y el valor medio fue de 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Al revisar los resultados que se presentaron en la Tabla 3.1, con el valor medio de 24 horas de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , fijado en la norma de calidad, podemos inferir que no fue sobrepasado durante el período de monitoreo comprendido entre el 22 de Octubre al 31 de Diciembre de 2015, en las dos estaciones de monitoreo.

## 4.2 Plomo en el Material Particulado Respirable MP10

De las Tablas 3.2 y 3.3, donde se presentaron los contenidos medidos de plomo (Pb), en los filtros MP10, se puede observar lo siguiente:

### OCTUBRE

Los valores promedios diarios en estación RENDIC estuvieron comprendidos entre 0,004 y 0,005  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de Octubre fue de 0,004  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Los valores promedios diarios en estación ONCOLÓGICO estuvieron comprendidos entre 0,007 y 0,021  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de Octubre fue de 0,012  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

### NOVIEMBRE

Los valores promedios diarios en estación RENDIC estuvieron comprendidos entre <0,002 y 0,022  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de Noviembre fue de 0,013  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Los valores promedios diarios en estación ONCOLÓGICO estuvieron comprendidos entre 0,005 y 0,036  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de Noviembre fue de 0,017  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

### DICIEMBRE

Los valores promedios diarios en estación RENDIC estuvieron comprendidos entre 0,003 y 0,012  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de Diciembre fue de 0,007  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Los valores promedios diarios en estación ONCOLÓGICO estuvieron comprendidos entre 0,004 y 0,009  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el valor promedio de las mediciones del mes de Diciembre fue de 0,006  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Al observar los resultados que se presentaron en las Tablas 3.2 y 3.3, con el valor establecido en norma primaria de calidad del aire para el contaminante plomo de 0,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) como concentración anual, podemos inferir que no fue sobrepasado durante todo el período de monitoreo comprendido entre el 22 de Octubre al 31 de Diciembre de 2015, en las dos estaciones de monitoreo.







4.3 Material Particulado Sedimentable

I) Análisis con respecto a normativas de referencia

Los resultados de MPS obtenidos durante el mes de Diciembre, y los valores establecidos en el D.S N° 4/1992 y la Ordenanza de la Confederación Suiza, se presentan en la tabla 4.1.

TABLA 4.1  
MPS Y NORMATIVA DE REFERENCIA  
DICIEMBRE 2015

ESTACIÓN	MPS (mg)	MPS (mg/m²día)	Ordenanza Confederación Suiza (mg/m²día)	D.S N°4/1992 (mg/m²día)	
	Mensual	Mensual	Anual	Mensual	Anual
MPS 01 MOP	688	117	200	150	100
MPS 02 Medio Ambiente	300	55			
MPS 03 San Luis	236	40			
MPS 04 Ejército	175	30			

De la Tabla 4.1, es posible inferir que en la estación denominada MOP se concentra la mayor cantidad de MPS, mientras que en la estación Ejército se presenta la menor cantidad de MPS medido durante el mes de Diciembre.

Con respecto a la norma mensual de MPS, indicada en el D.S.N°4/1992, se observa que todas las estaciones se encuentran **bajo dicha norma**.

Con respecto a la norma anual del D.S.N°4/1992 y de la Ordenanza de la Confederación Suiza, los resultados obtenidos se encuentran bajo el valor de dichas normas, excepto la estación MOP, la cual se encuentra **sobre el valor de la norma** anual establecida en el D.S. N°4/1992.

No es posible comparar los resultados obtenidos con la norma anual de MPS, debido a que no se cuenta con la cantidad de datos requeridos por las normas de referencia utilizadas.

4.4 Elementos de interés en el Material Particulado Sedimentable

II) Análisis con respecto a normativas de referencia

En la tabla 4.2 se observan los valores de Arsénico (As), cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Selenio (Se), Vanadio (V), zinc (Zn) y Hierro (Fe), contenidos en el MPS y la normativa de referencia con la cual se compara.

TABLA 4.2

ELEMENTOS DE INTERÉS Y NORMATIVA DE REFERENCIA  
DICIEMBRE 2015

ESTACIÓN	As mg/m² día	Cu mg/m² día	Mn mg/m² día	Mo mg/m² día	Ni mg/m² día	Pb mg/m² día	Se mg/m² día	V mg/m² día	Zn mg/m² día	Fe mg/m² día
MOP	0,023	3,791	0,047	0,008	0,005	0,152	<0,001	0,007	4,875	10,516
MEDIO AMBIENTE	0,005	0,341	0,022	0,002	0,010	0,013	<0,001	0,003	0,415	1,861
SAN LUIS	0,001	0,073	0,024	0,001	0,024	0,004	<0,001	0,003	0,059	1,700
EJERCITO	0,004	0,244	0,016	0,002	0,046	0,009	<0,001	0,002	0,209	1,855
D.S N° 4/1992 (mg/m² día) desde segunda quincena de Diciembre hasta Agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60
D.S N° 4/1992 (mg/m² día) Septiembre- Octubre- Noviembre y primera quincena de Diciembre.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
Ordenanza Confederación Suiza (mg /m² día)	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,4	-



Con respecto al mes de diciembre, se consideró el valor más restrictivo, 30 mg/m<sup>2</sup>día

De la tabla 4.2, se observan los elementos de interés contenidos en el MPS, expresados en mg/m<sup>2</sup>día. A partir de ella, es posible observar en cuál(es) estación(es) se presenta(n) los elementos con mayor aporte al MPS y aquellos con menor aporte, como se expresa a continuación:

**As:** El contenido de Arsénico varía entre 0,001 y 0,023 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación SAN LUIS y MOP respectivamente.

**Cu:** El contenido de Cobre varía entre 0,073 y 3,791 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación SAN LUIS y MOP respectivamente.

**Mn:** El contenido de Manganeseo varía entre 0,016 y 0,047 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación EJÉRCITO y MOP respectivamente.

**Mo:** El contenido de Molibdeno varía entre 0,001 y 0,008 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación SAN LUIS y MOP respectivamente.

**Ni:** El contenido de Níquel varía entre 0,005 y 0,46 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación MOP y EJÉRCITO respectivamente.

**Pb:** El contenido de Plomo varía entre 0,004 y 0,152 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación SAN LUIS y MOP respectivamente.

**Se:** El contenido de Selenio en todas las estaciones no es detectable por el instrumento de medición, los valores fueron inferiores a 0,001 mg/m<sup>2</sup>día.

**V:** El contenido de Vanadio varía entre 0,002 y 0,007 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación EJÉRCITO y MOP respectivamente.

**Zn:** El contenido de Zinc varía entre 0,059 y 4,875 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación SAN LUIS y MOP respectivamente.

**Fe:** El contenido de Hierro varía entre 1,700 y 10,516 mg/m<sup>2</sup>día, registrándose su valor mínimo y máximo en estación SAN LUIS y MOP respectivamente.

De todos los elementos analizados, el Hierro (Fe), es el único elemento posible de evaluar con la norma D.S N°4/1992, que establece el hierro en el material particulado sedimentable como 30 mg/ (m<sup>2</sup>día) como concentración media aritmética mensual para el mes de Diciembre, el cual se encuentra **bajo dicha norma**.

Con respecto a la norma anual de Hierro (Fe), indicada en el D.S.N°4/1992, no es posible comparar los resultados con dicha norma, debido que no se cuenta con la cantidad de datos requeridos para su evaluación.

De los resultados de Hierro (Fe) obtenidos, se observa que se encuentran bajo el **valor de la norma anual**, en todas las estaciones.

En cuanto al Plomo (Pb) y Zinc (Zn), no es posible comparar estos resultados con la norma anual indicada en la Ordenanza de la Confederación Suiza, debido a que no se cuenta con la cantidad de datos requeridos por dicha norma.

De los resultados obtenidos para el Plomo (Pb), se puede observar que sólo en la estación MOP, este elemento se encuentra **sobre el valor** establecido en la Ordenanza de la Confederación Suiza.

Para el caso del Zinc (Zn), se presentan valores altos en dos estaciones, MOP y Medio Ambiente. Cabe señalar, que en la estación MOP el valor obtenido supera ampliamente el **valor** indicado por la Ordenanza de la Confederación Suiza.

### III) Análisis con respecto al aporte porcentual de los elementos de interés en el MPS.

De los gráficos N° 3, 4, 5 y 6, es posible observar lo siguiente:

En la estación MOP, la suma de todos elementos analizados es de 16,61 %, siendo los elementos con mayor aporte porcentual el Fe (8,99 %), Zn (4,17 %) y Cu (3,24 %).

En la estación Medio Ambiente, la suma de todos elementos analizados es de 4,89 %, siendo los elementos con mayor aporte porcentual el Fe (3,41 %), Zn (0,76 %) y Cu (0,62 %).

En la estación San Luis, la suma de todos elementos analizados es de 4,72 %, siendo los elementos con mayor aporte porcentual el Fe (4,25 %), Zn (0,15 %) y Cu (0,18 %).

En la estación Ejército, la suma de todos elementos analizados es de 8,03 %, siendo los elementos con mayor aporte porcentual el Fe (6,24 %), Zn (0,70 %) y Cu (0,82 %).



## **6. CONCLUSIONES**

De las mediciones efectuadas en el período 22 de Octubre al 31 de Diciembre de 2015, se puede inferir, que en los dos lugares de medición de material particulado respirable (MP10), estaciones RENDIC y ONCOLÓGICO, no se supera el valor límite máximo permisible de 24 horas de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , fijado por la legislación Chilena para material particulado respirable, D.S. N° 59/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.

Con respecto al análisis de Plomo (Pb), de las mediciones de Pb en MP10 se puede inferir que no se supera el valor límite máximo permisible  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , fijado por la legislación chilena para Plomo en el Aire, D.S. N° 136/2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.

En cuanto a las mediciones de Material Particulado Sedimentable (MPS), durante el mes de Diciembre de 2015, es posible evaluar los resultados de todas las estaciones con la norma mensual definida en el D.S N° 4/1992, que establece el límite de material particulado sedimentable en  $150 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{día})$ , no sobrepasándose esta norma en ninguna de las estaciones en estudio.

En cuanto a la Ordenanza Sobre Control de Contaminación del Aire de la Confederación Suiza que establece el límite de Material Particulado Sedimentable en  $200 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{día})$ , como promedio anual. No se dispone de la cantidad de datos suficientes para evaluar dicha Ordenanza, sin embargo a modo referencial los valores obtenidos se encuentran bajo el valor señalado, en todos los puntos de monitoreo.

Con respecto a los elementos de interés en el MPS, el Hierro (Fe), es el único elemento que es posible evaluar en relación con la norma mensual indicada en el D.S N°4/1992. Los valores obtenidos se encuentran bajo dicha norma en todos los puntos de monitoreo.

Con respecto al Zinc (Zn) se observa que la estación MOP y Medio Ambiente presentan los valores más altos comparados con el resto de las estaciones. Cabe señalar, que con respecto al Zinc (Zn) es posible inferir que de seguir una tendencia similar durante un año, el valor podría sobrepasar ampliamente la norma indicada en la Ordenanza Suiza.

En cuanto al Selenio (Se), es posible observar que el instrumento no detectó este elemento en el MPS, en ninguno los puntos de medición, por lo cual los valores de este elemento se expresan en como inferiores a 0,001 %.

Con respecto al Plomo (Pb), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Hierro (Fe), los mayores aportes se registran en la estación MOP.