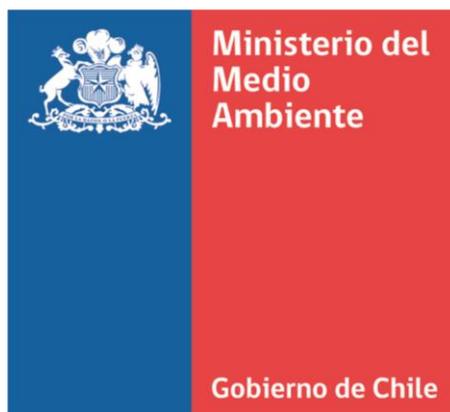


**EVALUACION DE RED MONITOREO  
DE CALIDAD DE AIRE Y  
ACTUALIZACIÓN DE LA METEOROLOGÍA  
EN EL POLÍGONO DE ZONA SATURADA DE ANDACOLLO**

**Informe Final**



**Preparado para** : **SEREMI Coquimbo, Ministerio del Medio Ambiente**

**Por** : **AMBIMET® Ltda.**

<b>CÓDIGO</b>	<b>REVISIÓN</b>	<b>ELABORADO</b>	<b>FECHA</b>	<b>REVISADO</b>	<b>APROBADO</b>	<b>FECHA</b>	<b>COMENTARIOS</b>
AMB157-21	B	JVV/VVA/JGC	16/12/15	VVA	EAR	16/12/15	

**Diciembre 2015**

**EVALUACION DE RED MONITOREO  
DE CALIDAD DE AIRE Y  
ACTUALIZACIÓN DE LA METEOROLOGÍA  
EN EL POLÍGONO DE ZONA SATURADA DE ANDACOLLO**

**Informe Final**

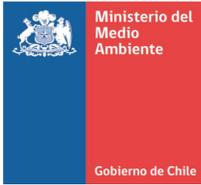


**Preparado para** : **SEREMI Coquimbo, Ministerio del Medio Ambiente**

**Por** : **AMBIMET® Ltda.**

**Erwin Alegría Rocha  
Gerente General**

**Diciembre 2015**



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al Informe Final del estudio: *“Evaluación de Red Monitoreo de Calidad de Aire y Actualización de la Meteorología en el Polígono de Zona Saturada de Andacollo”*, encargado por la SEREMI de Medio Ambiente de la Región de Coquimbo a la empresa AMBIMET®.

Para este estudio se consideró a las cinco estaciones de monitoreo allí existentes, las que son: Urmeneta y Chepiquilla (ambas pertenecientes a Minera Teck, Carmen de Andacollo), Hospital de Andacollo y El Sauce (pertenecientes a Cía. Minera Dayton) y Hospital de Andacollo (perteneciente al Ministerio del Medio Ambiente). Estas cinco estaciones de monitoreo se encuentran declaradas como Estaciones de Monitoreo con Representatividad Poblacional (EMRP) a través de diversas Resoluciones.

Producto del trabajo realizado y a modo de resumen se puede concluir lo siguiente:

### **Respecto a la representatividad poblacional de las estaciones de monitoreo:**

Las estaciones que forman parte de la red de Monitoreo de Calidad del Aire en Andacollo cumplen con la calificación EMRP. Sin embargo, la estación El Sauce, si bien cumple con los criterios que determinaron su calificación como EMRP, ésta se encuentra rodeada por cerros siendo afectada con una condición de microclima y un régimen local de circulación del viento.

Por otro lado, es afectada por la flora en su entorno por la altura que estos presentan (presencia de árboles y arbustos en el entorno).

Además se constata la duplicidad de información tanto de calidad del aire como meteorológica, en el sector de Hospital ya que en dicho lugar se encuentra la estación Hospital del MMA y estación Hospital de Minera Dayton; distante a pocos metros entre sí.

### **Respecto al estado de equipos:**

Las estaciones pertenecientes a la Minera Carmen de Andacollo son mantenidas por una empresa contratista externa. En las dos estaciones pertenecientes a esta compañía, todos los equipos tienen la documentación necesaria para verificar la correcta mantención y calibraciones. Presentan la información de las mantenciones en un formato de fichas de acuerdo al Art 17 del DS61/2008.

Se recomienda agregar inventario de los bienes y equipos existentes en la estación y calendario de mantenimiento. (Urmeneta y Chepiquilla).

La estación perteneciente a minera Dayton El Sauce, presenta serios problemas de funcionamiento. El monitor MP10 E-BAM se encontraba fuera de operación debido a problemas técnicos. Al momento de la visita la estación no contaba con energía eléctrica y sus equipos se encontraban apagados. Los equipos cuentan con la documentación que acredita su mantención y calibración en los plazos definidos por el DS61/2008. Se recomienda, para dar cumplimiento al DS61/2008, reemplazar de medición de material particulado MP10 marca MetOne modelo E-BAM por un equipo con acreditación US EPA o similar europeo, de los cuales se comercializan diversas marcas en Chile.

La estación perteneciente a MMA, estación Hospital (MMA) tiene sus mantenciones y calibraciones al día y su documentación permite acreditar el buen estado de funcionamiento de sus equipos.

Se recomienda mejorar el orden de los cables de señales de los sensores que podrían dañarse por acción de un agente externo. También la instalación de un sistema de respaldo UPS y extintor. (Hospital MMA)

Además se debe tapar el socavón que se encuentra dentro del perímetro, en el costado sur de la caseta, lo cual presenta un riesgo potencial para el operador y las instalaciones. (Hospital MMA)

### **Respecto a las instalaciones y personal de la red**

Las instalaciones de las estaciones pertenecientes a minera Carmen de Andacollo son adecuadas, tanto en su confección como equipamiento.

El personal dedicado a la red es adecuado e idóneo, tanto en formación como en cantidad. Cumple las exigencias del DS61/2008 de MINSAL. Sin embargo las estaciones no cuentan con visitas de operación semanal, según lo establece la normativa vigente ya que la empresa externa que realiza dicha función solo realiza la mantención y calibración una vez al mes. La norma establece visitas semanales a las estaciones que se encuentran en línea en cuanto a la recolección remota.

Se recomienda mayor rigurosidad en el llenado de la bitácora de monitoreo y en registro de parámetros operacionales.

La estación perteneciente a minera Dayton El Sauce presenta serios problemas en su empalme eléctrico (dependiente de una casa particular), además no cuenta con respaldo UPS ante cortes de energía o fluctuaciones de energía. Esto pudo ser la causa de los problemas técnicos que presenta Monitor de MP10 E-BAM. La estación Hospital no cumple con las exigencias planteadas por la normativa vigente en algunos aspectos; que aluden a su instalación, empalme eléctrico deficiente, instalación de sensores. El personal dedicado a la red no es adecuado e idóneo, no cumple las exigencias del DS61/2008 de MINSAL

Se recomienda instalar de empalme eléctrico independiente en ambas estaciones. Además de implementar respaldo eléctrico ante cortes de energía con sistema UPS que garantice autonomía de funcionamiento energético por unos 15 minutos al menos. También se necesita realizar mejoras en el sistema de cableado. Mejorar el estándar de instalación de la estación meteorológica, en especial el mástil meteorológico, que se encontraba visiblemente desaplomado en la estación Hospital.

Las instalaciones de las estaciones pertenecientes a MMA, estación Hospital (MMA) es adecuada, tanto en su confección como equipamiento; el personal dedicado a la red es adecuado e idóneo, tanto en formación como en cantidad. Cumple las exigencias del DS61/2008 de MINSAL.

#### **Respecto a la evaluación de la eficiencia y eficacia de la data obtenida:**

Del análisis de la data obtenida de las 5 estaciones de monitoreo, para el período considerado, se desprende que presentan niveles de cumplimiento bien disimiles en cuanto a cantidad satisfactoria y consistencia de los datos.

En lo que tiene relación con las variables meteorológicas se observa que solo la estación Chepiquilla presenta un 100% de cumplimiento en cuanto a la relación de las mediciones programadas versus las efectivamente realizadas, lo que otorga una robustez y consistencia a los datos obtenidos por dicha estación.

La estación Urmeneta presenta niveles de cumplimiento cercanos al 100% aunque con una baja considerable en el sensor de precipitación, con un cumplimiento del 78,9%. Las estaciones Hospital, El Sauce y Hospital (MMA), presentan niveles de cumplimiento por debajo de lo satisfactorio; presentando porcentajes de cumplimiento aproximados de 78%, 77% y 87% respectivamente.

En lo que tiene relación con el Material Particulado PM10, se observa que las estaciones Urmeneta, Chepiquilla y Hospital presentan niveles de cumplimiento satisfactorios, tanto

para PM10 Discreto como Continuo. Aunque en el caso de Urmeneta no se pudo contar con la información del PM10 Continuo de los años 2010 y 2011.

La estación El Sauce cumple con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (un 92,8%). Hay que recalcar que no se contó con la información del año 2010. Es importante hacer notar también, que el PM10 Continuo si bien presentan un porcentaje de cumplimiento, este fue marcado en amarillo, ya que como se pudo comprobar en terreno, este equipo de medición no cumple con el estándar EPA necesario para que la estación sea considerada EMRP para esta variable; lo que resta validez y consistencia al dato generado.

Las estación Hospital (MMA), presentan niveles de cumplimiento por debajo de lo satisfactorio para el PM10 Continuo; presentando porcentajes de cumplimiento aproximados de 82,6%

#### **Respecto al análisis meteorológico por periodo estacional:**

Las estaciones que forman parte de la red de Monitoreo de Calidad del Aire en Andacollo manifiestan diferencias entre sí en cuanto al comportamiento del viento, tanto en dirección como en velocidad, lo cual ocurre en distintas épocas del año.

En general los vientos de mayor velocidad se presentan entre los meses de Octubre y Marzo, los cuales coinciden con la época de Primavera y Verano; y a su vez los vientos de menor velocidad se presentan entre los meses de Abril y Septiembre los cuales coinciden con la época de Otoño e Invierno.

Junto con lo anterior, las estaciones en donde se presentan los vientos de mayor velocidad son Chepiquilla y Urmeneta.

Los regímenes de viento en cuanto a dirección son variables y principalmente tienen relación con la ubicación de la estación y no tanto con la época del año, ya que se mantienen en general vientos provenientes del Norte y sus adyacentes y provenientes del Sur y sus adyacentes durante todo el año. Solo en las estaciones El Sauce y Hospital se presentan vientos de múltiples direcciones, debido a condiciones geográficas del lugar.

Las estaciones meteorológicas que más similitudes tienen entre sí, son las estaciones Urmeneta y Chepiquilla. Lo cual se puede explicar principalmente por su ubicación geográfica, ya que ambas se ubican en un espacio abierto libre de obstáculos tanto naturales como artificiales. Esto mismo permite que en estos sectores se presenten

vientos de mayor velocidad y de direcciones más específicas, lo que permite que tengan una mejor ventilación.

### **Respecto al análisis de componentes del PM10:**

Dentro de los elementos químicos con mayor presencia en las muestras de PM10 enviadas, se encuentran de mayor a menor: Hierro, Azufre, Potasio, Cloro, Bario, Cobre, Zinc, Titanio, Manganeseo, Estroncio, Zirconio, Bromo, Vanadio, Arsénico, Estaño, Plomo, Terbio, Samario y Europio. Los elementos químicos de la tabla marcados en amarillo son los que actualmente se monitorean realizando análisis químicos a los filtros de PM10. El Silice también se monitorea actualmente.

Se puede observar por tanto, que los elementos que actualmente se consideran en los análisis químicos son adecuados y necesarios, ya sea por su preponderancia, por su importancia en la salud de las personas o por ser elementos normados en la legislación.

### **Respecto a propuesta de optimización y recomendaciones:**

Con respecto al funcionamiento general de las estaciones de monitoreo, es fundamental subsanar las deficiencias que presentan las estaciones El Sauce y Hospital, en relación con poner al día sus mantenciones, calibraciones y registros. Asimismo ambas estaciones presentan algunos errores en la instalación de sensores meteorológicos que es necesario corregir, como es el caso de los mástiles de viento, que se encuentran desajustados.

Con respecto a los equipos utilizados, lo primordial es cambiar el equipo de monitoreo de PM10 continuo de la estación El Sauce, ya que no cumple con los requisitos EPA para una estación EMRP. Adicionalmente, dentro de lo posible, sería ideal que las 5 estaciones midieran con el mismo tipo de equipo, o por lo menos que presenten el mismo principio de operación.

Otro punto importante es que resulta más eficaz medir Material Particulado con equipos Continuos, ya que de esta forma es posible conocer las concentraciones hora a hora y poder tomar medidas conociendo el ciclo horario de las concentraciones, además de evaluar posibles peak que ocurran en un día específico. Adicionalmente, el monitoreo continuo permite relacionar directamente las concentraciones de material particulado con las variables meteorológicas involucradas.

Los equipos de Monitoreo Discretos de Material Particulado PM10, cumplen perfecto la función para hacer análisis químico a los filtros que se muestrean, por lo tanto es conveniente mantenerlos. Actualmente se utilizan dos equipos discretos de alto volumen

que muestrean cada 3 días, pero, de esas 10 muestras aproximadas al mes, solo se les hace caracterización química a dos muestras mensuales. Sería conveniente realizar caracterización química a todas las muestras mensuales.

Para el análisis químico de elementos, el filtro recomendable para utilizar es el filtro de Cuarzo, que es el indicado para la mayoría de los análisis, a excepción del sílice, ya que por su propia composición, el filtro de cuarzo presenta algunas componentes de sílice, por lo que podría contaminar y alterar la muestra.

Lo indicado entonces, es que para realizar análisis químico de Sílice se utilice filtros de celulosa en uno de los dos equipos de alto volumen. Y en el otro equipo se utilice el mencionando filtro de cuarzo, para realizar los correspondientes análisis por todos los otros elementos químicos necesarios.

Con respecto a la ubicación de las estaciones de monitoreo, es importante señalar que según la normativa, cada estación de monitoreo de representatividad poblacional EMRP, tendría una representatividad de un radio de 2 Km alrededor de la estación. Bajo este punto de vista y considerando el tamaño del poblado de Andacollo, bastaría con una sola estación para cubrir el pueblo completamente y seguiría siendo representativa.

Sin embargo hemos visto que estaciones cercanas dan distintos valores de concentraciones de Material Particulado, por lo tanto, no sería conveniente quitar estaciones de la red; por el contrario, lo que sería más eficiente sería reubicar dos de las estaciones que no están siendo de utilidad en estos momentos, de modo de ocupar y distribuir espacialmente las estaciones de mejor manera.

La estación El Sauce, actualmente se encuentra ubicada en un lugar que podríamos llamar rural y tiene muy pocas personas cercanas a la estación; adicionalmente está rodeada por una serie de cerros y lomas que hacen que tenga un comportamiento de vientos algo erráticos y no muy representativos de lo que ocurre en poblado mismo de Andacollo

Por otro lado, la estación Hospital (Dayton), se encuentra exactamente en la misma ubicación que la estación Hospital (MMA), dándose una duplicidad de información que es del todo ineficiente.

Por lo tanto, la opción sería trasladar estas dos estaciones a dos ubicaciones a definir de la parte alta de Andacollo; ya que la zona alta, que es todo lo que está a lado Este de la calle principal donde se encuentra la plaza, presenta una importante cantidad de población que sería importante monitorear y así distribuir las estaciones de monitoreo donde realmente



se encuentran las personas, de modo de “cubrir” de mejor manera el pueblo de Andacollo.

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>DIAGNOSTICO DE ESTACIÓN DE MONITOREO</b> .....	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>Alcance</b> .....	<b>7</b>
<b>4.2</b>	<b>Metodología utilizada en el diagnóstico realizado a la red de monitoreo de calidad de aire del polígono de Zona Saturada de Andacollo</b> .....	<b>7</b>
<b>4.3</b>	<b>Hallazgos de Diagnostico de Red Andacollo</b> .....	<b>8</b>
4.3.1	Diseño de la red .....	8
4.3.2	Recursos e instalaciones .....	14
4.3.3	Descripción equipos y metodologías de monitoreo .....	14
4.3.4	Evaluación cumplimiento reglamento de Estaciones de monitoreo (DS 61/2008) .....	17
4.3.5	Aseguramiento y control de la calidad .....	20
4.3.6	Hallazgos encontrados en la presente revisión .....	21
<b>5</b>	<b>EVALUACION DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DE LA DATA</b> .....	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Metodología de Evaluación</b> .....	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS METEOROLÓGICO POR PERÍODO ESTACIONAL</b> .....	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS DEL MATERIAL PARTICULADO MP10</b> .....	<b>44</b>
<b>7.1</b>	<b>Análisis del MP10</b> .....	<b>44</b>
<b>7.2</b>	<b>Análisis de Componentes del MP10</b> .....	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS</b> .....	<b>50</b>
<b>8.1</b>	<b>Descripción del modelo de dispersión utilizado:</b> .....	<b>50</b>
<b>8.2</b>	<b>Inventario de emisiones:</b> .....	<b>50</b>
<b>8.3</b>	<b>Dominio de modelación:</b> .....	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE PARA EL POLIGONO DE ZONA SATURADA DE ANDACOLLO</b> .....	<b>57</b>

<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>11</b>	<b>ANEXO DIGITAL: .....</b>	<b>65</b>

**Animación 1: Secuencia Velocidad y Dirección del Viento**

**Animación 2: Secuencia Altura de la capa de mezcla**

**Animación 3: Secuencia Concentración de PM10 + Velocidad y Dirección del viento**

## 1 INTRODUCCIÓN

La SEREMI de Medio Ambiente de la Región de Coquimbo mediante Licitación Pública ID: 612228-7-LE15, publicada el día 03 de Agosto de 2015 a través del Portal Chile Proveedores, licitó el servicio denominado “*Consultoría Técnica Evaluación de Red Monitoreo de Calidad de Aire y Actualización de la Meteorología en el Polígono de Zona Saturada de Andacollo*”.

Esta licitación fue adjudicada a la empresa AMBIMET® mediante Resolución Exenta N° 205 de fecha 31 de Agosto de 2015 y Contrato de Prestación de Servicios S/N° de fecha 16 de Septiembre de 2015.

El presente documento corresponde al Informe Final de la consultoría técnica antes indicada y considera tanto lo presentado en los informes de avance, como lo correspondiente a la parte final del estudio.

Por lo que se incluye el diagnóstico realizado a la red de Monitoreo de la Calidad del Aire Emplazada en el Polígono de Zona Saturada de Andacollo, mediante una Inspección Técnica a las estaciones de monitoreo la cual fue realizada durante los días 7 al 9 de octubre de 2015, y que tuvo como objetivo el constatar el cumplimiento de los requerimientos normativos y reglamentarios que rigen a las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

Además, una evaluación de la eficiencia y eficacia de la red de Monitoreo de la Calidad del Aire Emplazada en el Polígono de Zona Saturada de Andacollo, en base a la data registrada en cada una de las 5 estaciones desde el año 2010 a la fecha. Además considera un estudio de la meteorología que incluye velocidad y dirección del viento; y comparación de diferentes situaciones estacionales.

También el análisis de componentes del MP10 en las estaciones monitoras, para lo cual se enviaron a analizar 10 filtros de la estación Urmeneta y 10 filtros de la estación Chepiquilla, correspondientes a distintas épocas del año contemplando la variable estacional. Con los resultados obtenidos de los análisis RFX, se podrán definir aquellos elementos específicos por los cuales deban ser caracterizadas las muestras que se recopilen a futuro, lo cual permitirá a la SEREMI de la Región de Coquimbo poder conocer una mayor cantidad de componentes del material particulado MP10 a los que está expuesta la población de Andacollo.

Además el informe incluye simulaciones de dispersión de contaminantes de material particulado (MP10), de esta forma se podrá definir aquellas zonas de mayor impacto, para optimizar la red de monitoreo.

Finalmente, a partir de los resultados de los informes anteriores y del presente informe, se entrega una propuesta de rediseño de la red de monitoreo de calidad de aire para el Polígono de Zona Saturada de Andacollo; en la cual se detallarán los contaminantes que deberían ser monitoreados, la forma de monitoreo (discreto o continuo), número de estaciones de monitoreo y sugerencias de su ubicación respecto a los resultados de la evaluación meteorológica y de la modelación de emisiones.

## **2 ANTECEDENTES**

La comuna de Andacollo se ubica en la Región de Coquimbo, Provincia de Elqui, IV Región, a una altura aproximada de 1.000 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una población de 8.300 habitantes (INE 2002 proyectada al año 2012) y una superficie de 310 km<sup>2</sup>. Su actividad económica es principalmente la pequeña y mediana minería.

Actualmente en la comuna operan dos faenas mineras importantes, Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo y Compañía Minera Dayton, ambas con Resolución de Calificación Ambiental. Por otro lado, debido a la actividad de la pequeña minería desarrollada históricamente en Andacollo, dentro del radio urbano se encuentran variados depósitos de relaves, hoy abandonados y que están siendo objeto de gestiones para su control.

El área de emplazamiento corresponde a una pequeña cuenca de la hoya hidrográfica del río Elqui y está limitada por una serie de cimas como el Cerro Toro (1.568 m) y el Cerro Yeguin (1.349 m). Corresponde a superficies de erosión en roca granítica, con depósitos de materiales tipo coluvial dentro de los cuales se incluyen gravas auríferas.

En lo que respecta a Cía. Minera Teck Carmen de Andacollo, según Resolución Exenta N°166 de fecha 26 de Enero del 2005 por la SEREMI de Salud región de Coquimbo, esta empresa minera debe mantener dos Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire con Representatividad Poblacional (EMRP) para material particulado MP10. Estas son las estaciones “Chepiquilla” y “Urmeneta”, ambas emplazadas dentro del Polígono de Zona Saturada de Andacollo, y cuyas coordenadas de ubicación se muestran en la Tabla N° 1.

La operación y mantención de estas dos estaciones de monitoreo Minera Teck Carmen de Andacollo la realiza a través de dos empresas contratistas externas, una de las cuales efectúa solo la operación de los equipos de medición discreta con muestreadores de alto volumen, además de generar un informe mensual; mientras que la segunda empresa

contratista es la que realiza las mantenciones periódicas de los equipos discretos, continuos y meteorológicos mediante visitas mensuales.

La data para los informes mensuales es obtenida mediante conexión remota con las estaciones.

En cuanto a la empresa Minera Dayton, según la Resolución Exenta N°3.040 de fecha 28 de Diciembre de 2006 de la SEREMI de Salud Región de Coquimbo, debe mantener dos Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire con Representatividad Poblacional (EMRP) para material particulado MP10. Estas son las estaciones “Hospital” y “El Sauce”, ambas también emplazadas dentro del Polígono de Zona Saturada de Andacollo, y cuyas coordenadas de ubicación se muestran en la Tabla N° 1.

En la actualidad, estas estaciones de monitoreo son operadas por personal de Cía. Minera Dayton y los equipos no se encuentran sometidos a un programa rutinario de mantenimiento y calibraciones.

Finalmente, y según Resolución Exenta N°6.192 de fecha 11 de Noviembre de 2009 de la SEREMI de Salud región de Coquimbo, la Subsecretaría del Ministerio del Medio Ambiente, debe mantener una Estación de Monitoreo de Calidad del Aire con Representatividad Poblacional (EMRP) para material particulado MP10, denominada Estación “Hospital (MMA)”, también emplazada dentro del Polígono de Zona Saturada de Andacollo y cuyas coordenadas de ubicación se muestran en la Tabla N° 1.

La operación, mantenimiento y calibraciones de esta estación realizada por una empresa externa al Ministerio del Medio Ambiente.

**Figura N° 1: Polígono de Zona Saturada de Andacollo**



**Tabla N° 1: Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire con Representatividad Poblacional (EMRP) para MP10 y Polígono declarado como Zona Saturada (coordenadas corregidas)**

Propietario	Estaciones de Monitoreo	Coordenadas UTM (WGS84 – Huso 19)		Cota m.s.n.m
		E	N	
<b>Minera Carmen de Andacollo</b>	Urmeneta	299.289	6.652.825	1.028
	Chepiquilla	299.426	6.651.099	1.066
<b>Minera Dayton</b>	Hospital	299.234	6.654.144	1.022
	El Sauce	298.439	6.653.538	1.042
<b>MMA</b>	Hospital (MMA)	299.235	6.654.140	1.022
<b>Polígono zona saturada de Andacollo (definido en PDA)</b>	Punto 1	294.250	6.650.900	1.414
	Punto 2	296.300	6.647.400	1.256
	Punto 3	301.450	6.648.850	1.330
	Punto 4	301.400	6.651.700	1.267
	Punto 5	302.500	6.654.500	968
	Punto 6	298.700	6.656.550	980
	Punto 7	293.600	6.656.800	990

**Tabla N° 2: Estaciones de monitoreo**

Estación	Parámetros Medidos
<b>Urmeneta</b>	MP10 Continuo, MP10 Discreto, Dirección y Velocidad del Viento, Temperatura Ambiente, Humedad Relativa, Presión Atmosférica, Radiación Solar Global, Radiación UV y Precipitaciones
<b>Chepiquilla</b>	MP10 Continuo, MP10 Discreto, Dirección y Velocidad del Viento, Temperatura Ambiente, Humedad Relativa, Radiación Solar Global y Radiación UV
<b>Hospital</b>	MP10 Continuo, Dirección y Velocidad del Viento, Temperatura Ambiente y Humedad Relativa
<b>El Sauce</b>	MP10 Continuo, Dirección y Velocidad del Viento, Temperatura Ambiente y Humedad Relativa
<b>Hospital (MMA)</b>	MP10 Continuo, Dirección y Velocidad del Viento, Temperatura Ambiente, Humedad Relativa, Presión Atmosférica y Radiación Solar Global

### 3 OBJETIVO

El objetivo de la consultoría es realizar una evaluación técnica de la operación actual de las cinco estaciones monitoras de calidad de aire del polígono de zona saturada de Andacollo y actualización de la meteorología en dicho polígono, y proponer alternativa (s) de rediseño y optimización de éstas, incluyendo análisis del contenido del material particulado y su posible origen.

Lo anterior considera los siguientes aspectos:

- Constatar el cumplimiento de los requerimientos normativos y reglamentarios que rigen a las estaciones de monitoreo de calidad del aire para calificar como EMRP para MP10.
- Revisar que la información obtenida cumpla con los requerimientos de Operación, Procedimientos, Programas de Mantenimiento y Calibración para el Aseguramiento de la Calidad del Monitoreo, según lo indicado en el DS61/2008.
- Realizar una evaluación de la eficiencia y eficacia de la red de monitoreo de calidad del aire.
- Definir el grado de confiabilidad de los datos.
- Analizar la meteorología y comparar diferentes situaciones estacionales.
- Analizar componentes químicos presentes en muestras de MP10 recogidas en las estaciones monitoras.
- Realizar simulaciones de dispersión de contaminantes de material particulado (MP10).
- Definir zonas de mayor impacto por MP10.
- Proponer un rediseño de la red de monitoreo de calidad de aire para el Polígono de Zona Saturada de Andacollo.

## 4 DIAGNOSTICO DE ESTACIÓN DE MONITOREO

### 4.1 Alcance

El alcance del diagnóstico en terreno aplica a los equipos de medición de material particulado MP10 discretos y continuos y a las estaciones meteorológicas asociadas a las cinco estaciones de monitoreo de calidad del aire en cuanto a:

- Grado de cumplimiento de normativa DS61/2008 Art.4 y 5 que se refiere a su infraestructura en general, a los procedimientos de operación, estado de equipos, registros de calibraciones, cumplimiento.
- Evaluación de la representatividad poblacional EMRP (D.S. N°59/1998) y
- Verificación del estado de funcionamiento de los equipos de medición.

### 4.2 Metodología utilizada en el diagnóstico realizado a la red de monitoreo de calidad de aire del polígono de Zona Saturada de Andacollo

Los criterios utilizados para realizar diagnóstico de la red de monitoreo ambiental emplazada en el polígono de zona saturada de Andacollo consideraron la revisión de:

- Diseño de la red y ubicación
- Recursos e instalaciones
- Aseguramiento y control de la calidad

El diagnóstico de la red de monitoreo de Andacollo consideró la aplicación de las pautas de evaluación de redes de monitoreo desarrolladas siguiendo las recomendaciones del *“Manual para la Elaboración de Reglamentos y Protocolos de Procedimientos para el Aseguramiento de la Calidad del Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos”* elaborado por CENMA para CONAMA, actualizadas con los criterios del DS 61/2008 de MINSAL. Además, considera revisión de documentación y chequeos de equipos.

De esta forma, los criterios evaluados en cada sección se indican en la tabla siguiente:

**Tabla N° 3: Criterios de Diagnóstico y método de verificación**

Sección	Criterio	Medio de Verificación
Diseño de la red	Objetivos del monitoreo	Lista de verificación
	Verificación de representatividad de estaciones	Listas de verificación
Recursos e instalaciones	Inspección de instalaciones de estaciones	Listas de verificación
	Estado de equipos	Revisión documentación
	Verificación de acreditación de laboratorio	Revisión documentación
	Competencia de personal encargado de servicio de monitoreo	Revisión documentación
Rescate y procesamiento de datos	Sistema de almacenamiento y recolección de datos	Listas de verificación
Aseguramiento y control de la calidad	Estado de Plan de aseguramiento de calidad	Revisión documentación
	Estado de procedimientos	Revisión documentación
	Participación en auditorías	Revisión documentación
	Estado de registros de calibración y mantenimiento de equipos.	Revisión documentación

### 4.3 Hallazgos de Diagnóstico de Red Andacollo

#### 4.3.1 Diseño de la red

##### 4.3.1.1 *Objetivos del monitoreo*

Dar cumplimiento a lo establecido en el Capítulo IV, Artículo 15 del “Plan de Descontaminación Atmosférica para la Localidad de Andacollo y Sectores Aledaños” establecido a través del Decreto N°59 del Ministerio del Medio Ambiente de fecha 26 Diciembre 2014, el cual entró en vigencia el 01 de Enero de 2015, en la comuna de Andacollo, en el que, entre otros, se establece el rediseño de la red de monitoreo de calidad del aire y meteorología con el fin de mejorar su representatividad poblacional y su acceso a la comunidad.

##### 4.3.1.2 *Verificación de representatividad poblacional de la estación*

La tabla siguiente presenta una evaluación de la representatividad poblacional de las estaciones para MP10 de acuerdo a la normativa vigente (D.S. N°59 de 1998 y modificado por el D.S. N°45 de 2002 del MINSEGPRES).

**Tabla N° 4: Verificación de representatividad poblacional de las estaciones Andacollo**

Criterios EMRP (D.S. N°59/98 y D.S. N°45/02 del MINSEGPRES)		
Ubicación Estaciones	Cumple (C) / No Cumple (NC)	
a) Presencia de al menos un área edificada habitada en un círculo de radio de 2 km, contados desde la ubicación de la estación	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
b) Ubicada a más de 15m de la calle o avenida más cercana	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C NC C C
c) Ubicada a más de 50m de la calle o avenida más cercana que tenga un flujo igual o superior a 2.500 vehículos/día	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
d) Ubicada a más de 50m 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	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
Emplazamiento Tomamuestra MP10		
Cumple / No cumple		
a) Distancia mínima de separación entre tomamuestras 2 m	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
b) Tomamuestra ubicado desde los 3 a 10 m sobre el nivel del suelo	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C NC C
c) Obstrucciones espaciales		
i) Mínimo a 2m de distancia de la pared más cercana o cualquier otro obstáculo vertical si el monitor es colocado sobre un techo o sobre otra estructura similar	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C NC (ii, iv, v) C
ii) Distancia de aproximadamente 10 veces la altura del obstáculo mayor que esté en la misma dirección del viento		
iii) Al menos a 5m de distancia de chimenea a gas natural		
iv) Distancia de 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		
v) Flujo de aire sin obstrucciones a lo menos en un arco de 270°		

## Resumen cumplimiento de criterios técnicos para calificar como estaciones con Representatividad Poblacional (EMRP) visitadas:

El resumen de cumplimiento de criterios técnicos para calificar como estaciones con Representatividad Poblacional está expuesto a continuación en Tabla N° 5.

Es importante destacar las transformaciones espaciales que el entorno va sufriendo ya sea por elementos naturales o modificaciones en las construcciones que rodean las estaciones de monitoreo ambiental, que pueden influir en los patrones de emisión o en los patrones locales de circulación de los vientos. Esto hace necesario tener un seguimiento permanente de las condiciones de representatividad de las estaciones.

**Tabla N° 5: Resumen de cumplimiento de criterios técnicos para representatividad Poblacional (EMRP) para MP10.**

Estación	Coordenadas UTM		Comentarios y Recomendaciones
Minera Carmen De Andacollo			
<b>Chepiquilla</b>	6.651.099 N	299.426 E	Se pudo constatar en inspección técnica realizada el 7 de octubre, que la estación de monitoreo de calidad de aire, cumple con las exigencias planteadas por la normativa vigente en los aspectos; emplazamiento, infraestructura, orden y aseo interno, documentación, registros, operación, mantenimiento, idoneidad del personal técnico. Solo queda recomendar el agregar inventario de los bienes y equipos existentes en la estación y calendario de mantención. Como a su vez una mayor rigurosidad en el llenado de la bitácora de monitoreo, ya que se detectaron a lo menos tres visitas no registradas. Se recomienda verificar las coordenadas UTM que se entregan en la señalética informativa de la estación. El registro de parámetros operacionales se realiza en forma mensual; con lo cual no se da cumplimiento a lo establecido en el Artículo 7 del DS N° 61/2008 donde se indica que debe realizarse en forma semanal si los datos están en línea.
<b>Urmeneta</b>	6.652.825 N	299.289 E	Se pudo constatar durante la Inspección Técnica realizada el 7 de octubre, que la estación monitorea de calidad de aire, cumple con las exigencias planteadas por la normativa vigente en todos sus aspectos; emplazamiento, infraestructura, orden y aseo interno, documentación, registros, operación, mantenimiento, idoneidad del personal técnico. Solo queda recomendar

			<p>el agregar inventario de los bienes y equipos existentes en la estación y calendario de mantención. Como a su vez una mayor rigurosidad en el llenado de la bitácora de monitoreo, ya que se detectaron a lo menos cuatro visitas no registradas. El registro de parámetros operacionales se realiza en forma mensual; con lo cual no se da cumplimiento a lo establecido en el Artículo 7 del DS N° 61/2008 donde se indica que debe realizarse en forma semanal si los datos están en línea.</p>
<b>Minera Dayton</b>			
<b>El Sauce</b>	6.653.538 N	298.439 E	<p>La estación El Sauce al momento de ser diagnosticada no estaba en funcionamiento. La estación presenta múltiples no conformidades según lo planteado en el DS61/2008 (artículos 11ab, 12ab, 13, 15abc), que aluden a su operación, mantenimiento, documentación, orden interno.</p> <p>El empalme de alimentación eléctrica no es independiente y presenta serias deficiencias en cuanto a sus condiciones de instalación, con la posibilidad de generar riesgos para los operadores y equipamientos. La estación no cuenta con extintor. Su emplazamiento encajonado podría dar flujos de viento condicionados por su entorno. Existen elementos naturales como son cerros, arboles que rodean la estación.</p> <p>La instalación del toma muestra correspondiente al equipo de monitoreo continuo de material particulado MP10 marca MetOne, modelo E-BAM, no cumple el Art. 6 que alude a las alturas desde el suelo y desde el techo.</p> <p>La no conformidad de mayor relevancia se relaciona con que equipo marca MetOne modelo E-BAM no cumple con estándares US EPA o símil de la comunidad Europea.</p> <p>Respecto al personal de operación, no cumple estándares que establece el DS61/2008.</p> <p>Las recomendaciones para la estación dicen relación</p>

			<p>con la instalación de un equipo que cumpla con los estándares de la US EPA o un símil de la comunidad europea. Implementar un empalme eléctrico independiente para la estación de monitoreo, instalar un sistema de respaldo UPS, establecer mejoras en el sistema de cableado interno entre los equipos de medición y el adquisidor de datos.</p> <p>Mejorar el estándar de instalación de la estación meteorológica, en especial el mástil del sensor de viento, que se encontró visiblemente desaplomado.</p>
<b>Hospital</b>	6.654.144	299.234	<p>La estación presenta algunas no conformidades según lo planteado en el DS61/2008 (artículos 11ab, 12ab, 13, 15abc), que aluden a su operación, mantenimiento, documentación (falta de parámetros operacionales, ficha de mantención, calendario de mantención).</p> <p>El empalme de alimentación eléctrica no es independiente, el operador de terreno manifiesta sucesivos cortes de energía que alteran el normal funcionamiento de la estación. La estación no cuenta con extintor.</p> <p>Respecto al personal que realiza la operación, no cumple estándares que establece el Art. Nº 13 y 15 del DS61/2008 y que se relacionan con sus competencias técnicas para desarrollar tal función.</p> <p>Esta estación es operada por personal de la Minera Dayton que realiza las visitas cada tres días con la finalidad de recolectar datos según lo establece el DS61/2008, esto aplica a las estaciones que no cuentan con un sistema para la recolección remota de datos.</p> <p>Las recomendaciones para la estación dicen relación con obtener un empalme eléctrico independiente, sistema de respaldo UPS, mejoras en el sistema de cableado.</p> <p>Mejorar el estándar de instalación de la estación meteorológica, en especial el mástil meteorológico, que se encontraba visiblemente desaplomado.</p>

<b>Ministerio del Medio Ambiente</b>			
<b>Hospital (MMA)</b>	6.654.140	299.235	<p>Se pudo constatar en la Inspección Técnica realizada el día 9 de octubre, que la estación monitorea de calidad de aire, cumple con las exigencias planteadas por la normativa vigente en todos sus aspectos; emplazamiento, infraestructura, orden y aseo interno, documentación, registros, operación, mantenimiento, idoneidad del personal técnico. Solo queda recomendar mejorar el orden de los cables de señales de los sensores que podrían dañarse por acción de un agente externo.</p> <p>En cuanto a la seguridad existe un socavón importante dentro del perímetro, en el costado sur de la caseta, lo cual presenta un riesgo potencial para el operador y las instalaciones.</p>

#### **4.3.2 Recursos e instalaciones**

Las Estaciones que mantiene Minera Teck Carmen de Andacollo, constan de una caseta para los monitores continuos MP10 y una plataforma para el equipo muestreador de MP10 discreto, las casetas disponen de aire acondicionado y mantienen un orden en cuanto a la disposición de los equipos, muebles, circuito eléctrico, empalme eléctrico con las protecciones necesarias y con respaldo eléctrico de UPS. Cada estación tiene señalética y dispositivos de seguridad como extintor y rejas perimetrales.

Las estaciones que mantiene Minera Dayton, constan de casetas para los monitores de MP10 continuos, poseen aire acondicionado y cuentan con cierre perimetral para su protección. Las estaciones no cuentan con empalme eléctrico independiente, dando lugar a cortes eléctricos por sobre consumo, afectando la continuidad de las mediciones. Al no contar con respaldo de UPS los equipos están afectados a golpes eléctricos, que podría ser uno de los motivos de fallas en el monitor continuo MP10 E-BAM instalado en la estación El Sauce. El cableado interior debe ser mejorado en cuanto a su orden y disposición. En cuanto a seguridad, las estaciones no poseen extintor.

La Estación Monitora perteneciente al MMA, Hospital. Cumple con los estándares que expone el DS61. Solo debe incorporar un sistema de respaldo o UPS para dar protección a los equipos en caso de cortes de energía eléctrica. Además debe incorporar el extintor.

#### **4.3.3 Descripción equipos y metodologías de monitoreo**

Según el artículo N°5 del DS61/2008, el equipamiento de las estaciones monitoras de calidad del aire deben cumplir estándares US EPA o su símil europeo.

A continuación se muestra en las tablas 6 (a, b, c, d y e) la configuración y características de cada instrumento monitor que forma parte de la estación:

**Tabla N° 6: (a, b, c, d y e) Equipos utilizados por estación en la red de Monitoreo de Calidad del Aire de Andacollo.**

**Tabla N° 6a**

<b>Estación Urmeneta</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>N° de serie</b>	<b>Método de Referencia</b>
<b>MP10 Continuo</b>	THERMO	5014i	CM09510078	Cumple EPA
<b>MP10 Discreto</b>	THERMO	HVPM10	61200409	Cumple EPA
<b>Monitor de Viento</b>	RM YOUNG	5103	105355	Cumple OMM
<b>Sensor de Tem y RH</b>	VAISALA	HMP60	K4310020	Cumple OMM
<b>Radiación Solar</b>	N/O	N/O	N/O	N/O
<b>Presión Atmosférica</b>	VAISALA	PTB110	F3030046	Cumple OMM
<b>Radiación UV</b>	SKYE	N/O	SKU44045619	Cumple OMM
<b>Precipitación</b>	TEXAS	0525M	44348-610	Cumple OMM

N/O: No Observado

**Tabla N° 6b**

<b>Estación Chepiquilla</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>N° de serie</b>	<b>Método de Referencia</b>
<b>MP10 Continuo</b>	THERMO	5014i	CM09510078	Cumple EPA
<b>MP10 Discreto</b>	THERMO	HVPM10	61200409	Cumple EPA
<b>Monitor de Viento</b>	RM YOUNG	5103	105355	Cumple OMM
<b>Sensor de Tem y RH</b>	VAISALA	HMP60	K4310020	Cumple OMM
<b>Radiación Solar</b>	N/O	N/O	N/O	N/O
<b>Presión Atmosférica</b>	VAISALA	PTB110	F3030046	Cumple OMM
<b>Radiación UV</b>	SKYE	N/O	SKU44045620	Cumple OMM
<b>Precipitación</b>	TEXAS	0525M	44348-610	Cumple OMM

N/O: No Observado

**Tabla N° 6c**

<b>Estación Hospital (Dayton)</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>N° de serie</b>	<b>Método de Referencia</b>
<b>MP10 Continuo</b>	MET ONE	1020	H12239	Cumple EPA
<b>Monitor de Viento</b>	MET ONE	034B	H2659	Cumple OMM
<b>Sensor de Tem y RH</b>	MET ONE	N/O	H5596	Cumple OMM

N/O: No Observado

**Tabla N° 6d**

<b>Estación Sauce</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>N° de serie</b>	<b>Método de Referencia</b>
<b>MP10 Continuo</b>	MET ONE	E-BAM	H4317	No Cumple EPA
<b>Monitor de Viento</b>	MET ONE	034B	H11370	Cumple OMM
<b>Sensor de Tem y RH</b>	MET ONE	9250	G1035	Cumple OMM

**Tabla N° 6e**

<b>Estación Hospital (MMA)</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>N° de serie</b>	<b>Método de Referencia</b>
<b>MP10 Continuo</b>	Environnement	MP101M	2024	Cumple EPA
<b>Monitor de Viento</b>	RM YOUNG	5103	75756	Cumple OMM
<b>Sensor de Tem y RH</b>	VAISALA	HMP50	83180	Cumple OMM
<b>Radiación Solar</b>	APOGEE	CS300	N/O	Cumple OMM
<b>Presión Atmosférica</b>	VAISALA	PTB110	D3710043	Cumple OMM

N/O: No Observado

#### 4.3.4 Evaluación cumplimiento reglamento de Estaciones de monitoreo (DS 61/2008)

##### 4.3.4.1 Evaluación instalaciones, estaciones y equipos

La Tabla N° 7 presenta la evaluación de instalaciones, estaciones y equipos:

**Tabla N° 7: Evaluación instalaciones, instrumental e insumos según DS 61/2008**

<i>Referencia</i>	<i>Requerimiento de la referencia</i>	<i>Estación Cumple (C) / No Cumple (NC)</i>	
Art. 4º	Construcción de la estación de calidad del aire de material sólido y resistente. La estación debe mantener medidas de seguridad. Esto aplica para muestreadores de material particulado o gases que estén contenidos en habitáculos y equipos portátiles.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
Art. 5º	Los instrumentos deben estar incluidos en el listado de métodos de denominados de referencia y equivalentes de la agencia EPA. Cuenten con certificación de alguna de las agencias de los países miembros de la Comunidad Europea que implementan las directrices del Comité Europeo para Estandarizaciones o que tengan certificación de que dan cumplimiento a los estándares de calidad exigidos en el país de origen entregado por algún ente acreditado por el gobierno de ese país.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C NC C

##### 4.3.4.2 Evaluación operación y mantención de la red

**Tabla N° 8: Evaluación operación y mantención de la red según DS 61/2008**

<i>Referencia</i>	<i>Requerimiento de la referencia</i>	<i>frecuencia</i>	<i>Estación Cumple (C) / No Cumple (NC)</i>	
Art. 7º	Se debe mantener en la estación un registro de: equipos y sensores, sistema de almacenamiento de los datos, sistema de toma de muestras, sistema de acondicionamiento de temperatura, sistema de calibración in-situ y similares	1 vez a la semana	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	NC NC C C C
	Adquisición de datos en línea, se debe recolectar los datos directamente de los sensores o equipos.	1 vez a la semana	Urmeneta Chepiquilla Hospital (MMA)	NC NC C
	Adquisición de datos no en línea, se debe recolectar datos.	Cada 3 días	Hospital Sauce	C C

<b>Referencia</b>	<b>Requerimiento de la referencia</b>	<b>frecuencia</b>	<b>Estación Cumple (C) / No Cumple (NC)</b>	
Art. 8º	Bitácora o libro Foliado Nombre del operador que visita la estación, fecha y hora de inicio y término de la visita, descripción del trabajo realizado en la estación, registro de la hora de intervención de algún equipo, en su caso, conclusión del chequeo instrumental (si corresponde al objetivo de la visita), breve descripción de las condiciones meteorológicas del entorno en la estación, breve descripción de situaciones fuera de lo común que sucedan en el entorno de la estación y que puedan afectar la representatividad de las mediciones realizadas, si las hubiera.	En cada visita debe ser completado	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
Art. 9º	Estación climatizada. Entre 20 a 30ºC, o según requerimiento de equipos	Siempre	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
Art. 10º	Chequeo de señales de transmisión de los sistemas (PC, datalogger u otro). Registro en el libro de vida del analizador o sensor.	1 vez al año (se debe mantener un registro) o cuando se reemplace algún equipo.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
Art. 11º	a) Calibración de flujos y presiones en: <ul style="list-style-type: none"> <li>Analizadores de Gases</li> <li>Muestreadores de MP10</li> <li>Sistemas de Calibración de Gases (Rango tolerancia 10%)</li> </ul>	1 vez al año (se debe mantener un registro) o cuando se reemplace alguna parte del equipo.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
	b) Calibración de sensores meteorológicos	1 vez al año.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C C C C
	c) Chequeo Multipunto (5 puntos) CO, SO2, O3	1 vez al año	N/A	
	NO2	Cada 3 meses	N/A	
	d) Calibración de cero y span (Gases de calibración protocolo EPA exactitud 2% y tolerancia de mezcla 5%) El ajuste se debe hacer cuando supere el 10%	1 vez a la semana o cuando se instale un nuevo equipo o se traslade	N/A	
Art. 12º	Mantener en la estación Registros:			

<i>Referencia</i>	<i>Requerimiento de la referencia</i>	<i>frecuencia</i>	<i>Estación Cumple (C) / No Cumple (NC)</i>	
	a) Ficha de Calibración	Siempre	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C NC NC C
	b) Ficha de Mantención	Siempre	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C NC NC C

#### 4.3.4.3 *Evaluación Personal dedicado a la estación de monitoreo*

La operación de las estaciones de monitoreo de Minera Teck Carmen de Andacollo, es realizada por dos empresas contratistas externas. La primera de ellas se dedica solo a la operación de los equipos discretos que en este caso son equipos muestreadores de alto volumen con cabezal MP10. Esta operación es realizada por un operador local que cuenta con los requisitos establecidos en la normativa vigente.

Por otra parte, para todo lo relacionado con la mantención de los equipos continuos, meteorológicos y discretos Minera Teck Carmen de Andacollo ha contratado dicho servicio con una segunda empresa contratista externa, cuyos técnicos acuden una vez al mes a las estaciones dejando registros de sus mantenciones y chequeos. En este sentido queda establecer la visita a cada estación que mantiene datos en línea debe realizarse en forma semanal, con la finalidad dar cumplimiento con lo establecido en el Art. N°7 del DS N°61/2008.

La operación de las estaciones de monitoreo de Minera Dayton, es realizada por personal propio de la Minera, personal que no cuenta con el perfil y experiencia requerida por la normativa vigente. Este operador local realiza visitas semanales con la finalidad de recolectar datos desde los equipos ya que no cuentan con la opción remota de transmisión de la información.

La operación de la estación de monitoreo perteneciente al MMA es, es realizada por una empresa contratista externa, que realiza una visita semanal y recolección de datos de los equipos. El perfil y experiencia del personal dispuesto está de acuerdo a las labores que se realizan y a las exigencias señaladas establecidas en el DS 61/2008 de MINSAL.

**Tabla N° 9: Personal dedicado a la operación de la red Andacollo según DS 61/2008**

<b>Referencia</b>	<b>Requerimiento de la referencia</b>	<b>Estación Cumple (C) / No Cumple (NC)</b>	
Art. 15º	a) Supervisor de operación y mantención: capaz de establecer programas y procedimientos de trabajo en conjunto con instrumentistas y operadores, con el objetivo de mantener los analizadores, muestreadores, sensores y cada subsistema operando en óptimas condiciones para garantizar que el dato sea correctamente medido desde el punto de vista técnico.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C NC NC C
	b) Instrumentista especializado: profesional o técnico especializado en la mantención preventiva y correctiva de los analizadores, muestreadores, sensores y cada subsistema de una estación de monitoreo.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C NC NC C
	c) Operador: Persona calificada o entrenada para la utilización de todos los componentes de una estación a nivel de usuario, por lo que debe ser capaz de determinar el buen funcionamiento de estos componentes y detectar fallas en terreno para comunicarlas al instrumentista especializado o supervisor. Además de calificación técnica, el operador debe estar calificado para la revisión del entorno de la estación y determinar la influencia de situaciones externas que puedan afectar el monitoreo. Las calificaciones de los supervisores, instrumentistas y operadores deben mantenerse aun si una sola persona es designada para el cumplimiento de más de una de las áreas.	Urmeneta Chepiquilla Hospital Sauce Hospital (MMA)	C C NC NC C

#### 4.3.5 Aseguramiento y control de la calidad

##### Estado de Plan de Aseguramiento de Calidad

La inspección técnica constató que la empresa encargada de la operación de las mediciones discretas en las estaciones Urmeneta y Chepiquilla mantiene dentro de su Plan de Calidad: Procedimientos para la operación y calibración de los Hi-Vol, por otro lado la empresa que realiza las mantenciones y calibraciones mantiene procedimientos para sistemas de recolección de datos, procedimientos de manejo de la red de calidad del aire y procedimientos de calibración de equipos monitores.

Las estaciones pertenecientes a Minera Dayton, estación El Sauce y Hospital, operadas por personal de la misma compañía minera, carecen de procedimientos de manejo de la red, de recolección de datos, de calibración, de mantenimiento, de validación y procesamiento de la información.

La Estación Hospital (MMA) operada por una empresa contratista externa, cumple con los requerimientos establecidos por el DS61/2008 solo falta incorporar las exigencias para validación, procesamiento y entrega de datos.

#### **4.3.6 Hallazgos encontrados en la presente revisión**

La verificación de cumplimientos de los criterios de la Inspección Técnica realizada por AMBIMET® clasifica 2 tipos de no conformidades o hallazgos: aquellas que pueden afectar en la calidad de los datos y que deben ser corregidas en el corto plazo (**A**) y aquellas que no afectan directamente a la calidad de los datos, y que pueden ser modificadas en el mediano plazo (**B**).

**Tabla N° 10: Listado de hallazgos detectados en Diagnostico a las estaciones de monitoreo Chepiquilla y Urmeneta**

	HALLAZGOS	RECOMENDACIÓN
<b>Evaluación instalaciones, estaciones y equipos</b>		
	No hay hallazgos	
<b>Evaluación operación y mantención de la red</b>		
B	Se realiza visita mensual para mantención de equipos continuos y chequeo de señales, además se realiza recolección de datos mensual. No existe una operación semanal o visita a la estación para la verificación de las mediciones continuas.	El DS61/2008 determina visitas semanales en las estaciones con datos en línea (Art. 7). Si bien el decreto no aclara que está pensado para los analizadores de gases, se recomienda una visita semanal para verificar estado y chequeo de señales y recolección de datos desde los equipos
<b>Aseguramiento y control de la calidad</b>		
<b>Estado de Procedimientos</b>		
B	Formulario de Programa de trabajo de año 2015	Actualizar programa de trabajo
B	Falta procedimiento escrito para validación de datos en la estación.	Desarrollar un procedimiento para recolección, revisión y validación de datos.
B	Se constata que no todas las visitas son registradas en la bitácora de monitoreo	Orden y prolijidad en el llenado de la bitácora
<b>Estado de registros de calibración y mantención de equipos.</b>		
B	No cuenta con Inventario de equipos en la estación	Incorporar el inventario de equipos
B	No se evidencia programa de mantención	Incorporar programa de mantención

**Tabla N° 11: Listado de hallazgos detectados en Diagnostico a las estaciones de monitoreo El Sauce y Hospital**

	HALLAZGOS	RECOMENDACIÓN
<b>Evaluación instalaciones, estaciones y equipos</b>		
A	Empalme eléctrico dependiente y deficiente. Ambas estaciones dependen de alimentación compartida de casas, dando lugar a cortes de energía. Que afectan el normal funcionamiento de los equipos. Pudiendo ser la causa de problemas de pérdida de información y problemas técnicos en los equipos. (E-BAM estación el Sauce)	Se recomienda empalme eléctrico independiente
A	Monitor MP10 E-BAM MET ONE no corresponde a un equipo de referencia o equivalente de acuerdo a la US EPA o un símil europeo	Se recomienda incorporar equipo monitor de MP10 que cumpla con el estándar requerido para una estación con Representatividad poblacional
A	No cuenta con sistema de respaldo UPS en ambas estaciones. Elemento que permite alimentar en micro cortes además de dar protección a los equipos.	Se recomienda incorporar UPS, con un mínimo de autonomía de 15 min
A	Orden interior de cables de comunicación y alimentación en el Sauce es deficiente, pudiendo afectar en riesgo de corte circuito cuando el operador manipula o realiza actividades de aseo en el interior de la caseta (Figura N° 2)	Se recomienda realizar un circuito de cables eléctricos y de señales embutidos.
A	La estación el Sauce pudiese estar afecto a flujos de viento distinto a las otras estaciones Producto estar rodeado de cerros.	Se recomienda estudiar el traslado de dicha estación, para situarla en un lugar más representativo de Andacollo
A	El mástil telescópico meteorológico se encuentra visiblemente desplomado tanto en la estación Hospital como en El Sauce, afectando las mediciones del monitor de viento. (Figura N° 3)	Se recomienda mejorar la instalación de mástil meteorológico.
B	Ambas estaciones, no cuentan con extintor	Se recomienda incorporar en ambas estaciones estos elementos
<b>Evaluación operación y mantención de la red</b>		
A	No cuenta con operador Técnico que cumpla con las exigencias de DS61	Se recomienda contratar o dar capacitación a operador de estación.
<b>Aseguramiento y control de la calidad</b>		
<b>Estado de Procedimientos</b>		
B	Falta procedimiento escrito para validación de datos en la estación.	Desarrollar un procedimiento para recolección, revisión y validación de datos.
B	No cuenta con procedimientos e instructivos de operación de los equipos, de recolección de datos, de mantención.	Se recomienda incorporar los procedimientos establecidos en el DS61

	HALLAZGOS	RECOMENDACIÓN
<b>Estado de registros de calibración y mantención de equipos.</b>		
B	No cuenta con Inventario de equipos en la estación	Incorporar el inventario de equipos
B	No cuenta con programa de mantención.	Se recomienda incorporar programa de mantención

**Figura N° 2: Imagen Empalme Eléctrico. Estación El Sauce**



**Figura N° 3: Imagen Mástil Meteorológico. Estación El Sauce**



**Tabla N° 12: Listado de hallazgos detectados en Diagnostico a la estación de monitoreo Hospital (MMA)**

	HALLAZGOS	RECOMENDACIÓN
<b>Evaluación instalaciones, estaciones y equipos</b>		
B	Cables de comunicación de sensores se encuentran sin sujeción, dando a lugar la posibilidad de daño en el cable y la pérdida de señal del sensor. (Figura N° 4)	Se recomienda mejorar el tendido de cables de señal de sensores.
B	Dentro del perímetro de la estación se observa en el costado sur de la caseta un socavón que pudiese afectar la seguridad del operador (Figura N° 5)	Se recomienda levantar la condición de riesgo.
<b>Evaluación operación y mantención de la red</b>		
	Sin hallazgos	
<b>Aseguramiento y control de la calidad</b>		
<b>Estado de Procedimientos</b>		
B	Falta procedimiento escrito para validación de datos en la estación.	Desarrollar un procedimiento para recolección, revisión y validación de datos.
<b>Estado de registros de calibración y mantención de equipos.</b>		

	HALLAZGOS	RECOMENDACIÓN
B	Falta registro de parámetros meteorológicos semanales según lo establece el DS61/2008	Desarrollar una bitácora de registros operacionales que incorporen la información meteorológica

**Figura Nº 4: Imagen cables de comunicación. Estación Hospital (MMA)**



**Figura N° 5: Imagen Socavón junto a la caseta. Estación Hospital (MMA)**



## 5 EVALUACION DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DE LA DATA

Esta actividad consistió en evaluar el grado de cumplimiento de obtención de la data durante el periodo cubierto por este estudio (Enero 2010 – Agosto 2015)

### 5.1 Metodología de Evaluación

En una Red de Monitoreo de Calidad de Aire y Meteorología el porcentaje de cumplimiento esperado de data obtenida debe ser mayor al 90% (porcentaje por lo demás conservador, ya que nuestro conocimiento nos indica que en algunas redes el porcentaje exigido debe superar el 95%).

Basado en lo antes señalado, el criterio de evaluación aplicado consistió en determinar para cada variable por estación de monitoreo el porcentaje de cumplimiento en base al número de mediciones que deben realizarse anualmente vs las efectivamente realizadas y validadas.

Para facilitar dicho análisis, se estimó pertinente presentar la información en dos tablas con sus respectivos gráficos, a saber, la primera dice relación con las mediciones de las diversas variables meteorológicas y la segunda con las mediciones de Material Particulado (Discreto y/o Continuo).

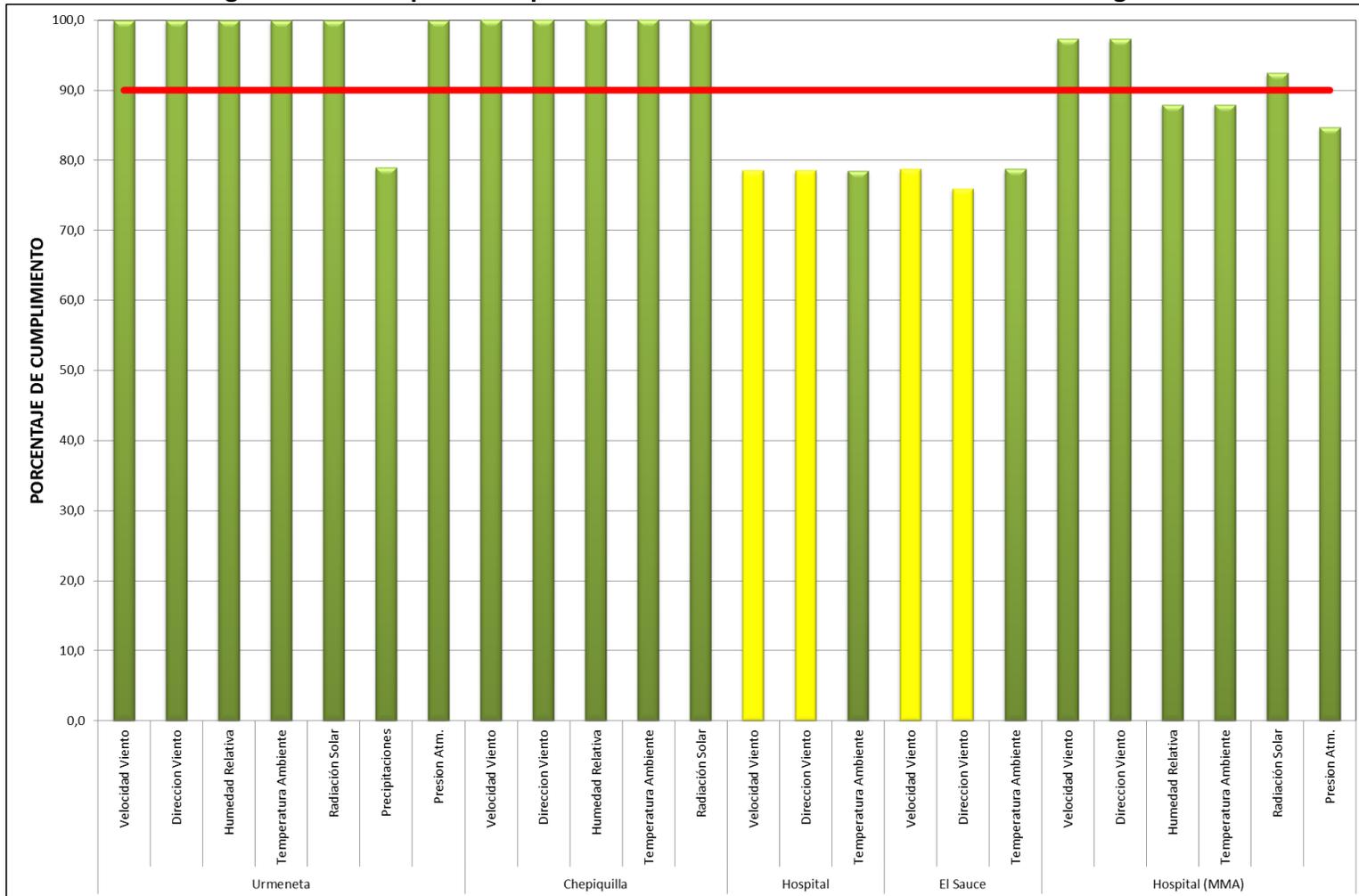
En Tablas N°s 3 y 4 en las figuras N°s 2 y 3 se presenta el detalle del porcentaje de cumplimiento por estación y variable de monitoreo.

**Tabla N° 13: Cumplimiento anual de mediciones de variables meteorológicas por estación**

ESTACION		2010			2011			2012			2013			2014			2015 (hasta agosto)			Resumen		
		Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento
Urmeneta	Velocidad Viento	x	x	x	x	x	x	8.784	8.768	99,8	8.760	8.744	99,8	8.760	8.758	100,0	5.832	5.832	100,0	32.136	32.102	99,9
	Dirección Viento	x	x	x	x	x	x	8.784	8.770	99,8	8.760	8.746	99,8	8.760	8.755	99,9	5.832	5.832	100,0	32.136	32.103	99,9
	Humedad Relativa	x	x	x	x	x	x	8.784	8.770	99,8	8.760	8.746	99,8	8.760	8.755	99,9	5.832	5.828	99,9	32.136	32.099	99,9
	Temperatura Ambiente	x	x	x	x	x	x	8.784	8.770	99,8	8.760	8.746	99,8	8.760	8.755	99,9	5.832	5.828	99,9	32.136	32.099	99,9
	Radiación Solar	x	x	x	x	x	x	8.784	8.770	99,8	8.760	8.746	99,8	8.760	8.753	99,9	5.832	5.832	100,0	32.136	32.101	99,9
	Precipitaciones	x	x	x	x	x	x	8.784	5.557	63,3	8.760	5.546	63,3	8.760	8.427	96,2	5.832	5.830	100,0	32.136	25.360	78,9
	Presión Am.	x	x	x	x	x	x	8.784	8.770	99,8	8.760	8.746	99,8	8.760	8.755	99,9	5.832	5.829	99,9	32.136	32.100	99,9
Chepiquilla	Velocidad Viento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.136	5.135	100,0	5.832	5.832	100,0	10.968	10.967	100,0
	Dirección Viento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.136	5.135	100,0	5.832	5.832	100,0	10.968	10.967	100,0
	Humedad Relativa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.136	5.135	100,0	5.832	5.831	100,0	10.968	10.966	100,0
	Temperatura Ambiente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.136	5.135	100,0	5.832	5.831	100,0	10.968	10.966	100,0
	Radiación Solar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.136	5.136	100,0	5.832	5.832	100,0	10.968	10.968	100,0
Hospital	Velocidad Viento	x	x	x	8.760	8.731	99,7	8.784	8.616	98,1	8.760	8.760	100,0	8.760	1.416	16,2	x	x	x	35.064	27.523	78,5
	Dirección Viento	x	x	x	8.760	8.731	99,7	8.784	8.616	98,1	8.760	8.760	100,0	8.760	1.416	16,2	x	x	x	35.064	27.523	78,5
	Temperatura Ambiente	x	x	x	8.760	8.731	99,7	8.784	8.612	98,0	8.760	8.760	100,0	8.760	1.416	16,2	x	x	x	35.064	27.519	78,5
El Sauce	Velocidad Viento	x	x	x	8.760	8.731	99,7	8.784	8.688	98,9	8.760	8.760	100,0	8.760	1.416	16,2	x	x	x	35.064	27.595	78,7
	Dirección Viento	x	x	x	8.760	7.745	88,4	8.784	8.688	98,9	8.760	8.760	100,0	8.760	1.416	16,2	x	x	x	35.064	26.609	75,9
	Temperatura Ambiente	x	x	x	8.760	8.731	99,7	8.784	8.688	98,9	8.760	8.760	100,0	8.760	1.416	16,2	x	x	x	35.064	27.595	78,7
Hospital (MMA)	Velocidad Viento	8.760	8.372	95,6	8.760	8.570	97,8	8.784	8.721	99,3	8.760	8.075	92,2	8.760	8.760	100,0	5.832	5.814	99,7	49.656	48.312	97,3
	Dirección Viento	8.760	8.367	95,5	8.760	8.570	97,8	8.784	8.721	99,3	8.760	8.075	92,2	8.760	8.760	100,0	5.832	5.814	99,7	49.656	48.307	97,3
	Humedad Relativa	8.760	8.356	95,4	8.760	8.569	97,8	8.784	8.721	99,3	8.760	7.323	83,6	8.760	4.859	55,5	5.832	5.814	99,7	49.656	43.642	87,9
	Temperatura Ambiente	8.760	8.361	95,4	8.760	8.569	97,8	8.784	8.721	99,3	8.760	7.323	83,6	8.760	4.859	55,5	5.832	5.814	99,7	49.656	43.647	87,9
	Radiación Solar	8.760	7.463	85,2	8.760	8.557	97,7	8.784	8.713	99,2	8.760	6.589	75,2	8.760	8.760	100,0	5.832	5.814	99,7	49.656	45.896	92,4
	Presión Am.	8.760	2.876	32,8	8.760	8.570	97,8	8.784	8.721	99,3	8.760	7.323	83,6	8.760	8.760	100,0	5.832	5.814	99,7	49.656	42.064	84,7

Notas:  
 - = Estación o Variable no implementada  
 X = No se contó con el dato  
 Criterio de Validación Aplicado : año válido = Número de mediciones ≥ 90%

**Figura Nº 6: Cumplimiento porcentual de mediciones de variables meteorológicas**



Para el análisis del cumplimiento de las variables meteorológicas se tomaron como mediciones programadas la cantidad de promedios horarios que debieran existir en un año; por ejemplo para el año 2013, se debiera contar con 8.760 promedios horarios por cada variable meteorológica. El símbolo “-” (guión), indica que la estación o variable meteorológica no se encontraba implementada en ese período. El símbolo “x” (equis), indica que la estación cuenta con esa variable pero no se pudo contar con los datos al momento de terminar este informe.

#### **Estación Urmeneta:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, 6 de las 7 variables meteorológicas cumplen con el porcentaje de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (prácticamente un 100%). La precipitación cuenta con un 78,9% de cumplimiento por fallas en el sensor durante los años 2012 y 2013. Es importante hacer notar que no se contó con la data de los años 2010 y 2011; por lo tanto el porcentaje de cumplimiento general de esta estación podría variar, si se cuenta con la totalidad de la información.

#### **Estación Chepiguilla:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, la totalidad de las variables meteorológicas cumplen con el porcentaje de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (con un 100%). La estación Chepiguilla es la única estación de la red Andacollo que contó con la totalidad de sus variables meteorológicas validadas para su análisis de cumplimiento.

#### **Estación Hospital:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, la totalidad de las variables meteorológicas no cumplen con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (solamente un 78,5%). Esto, debido a que no se contó con la totalidad de la información del año 2014 y posterior 2015, así como tampoco la del año 2010. Es importante hacer notar que la velocidad y dirección del viento si bien presentan un porcentaje de cumplimiento, estos fueron marcados en amarillo, ya que, como se pudo comprobar en terreno estos sensores presentan importantes deficiencias en su instalación; lo que resta validez y consistencia al dato generado.

### **Estación El Sauce:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, la totalidad de las variables meteorológicas no cumplen con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (solamente un 78% aproximadamente). Esto, debido a que no se contó con la totalidad de la información del año 2014 y posterior 2015, así como tampoco la del año 2010. Es importante hacer notar, que al igual que en la estación Hospital, la velocidad y dirección del viento si bien presentan un porcentaje de cumplimiento, estos fueron marcados en amarillo, ya que, como se pudo comprobar en terreno estos sensores presentan importantes deficiencias en su instalación; lo que resta validez y consistencia al dato generado.

### **Estación Hospital (MMA):**

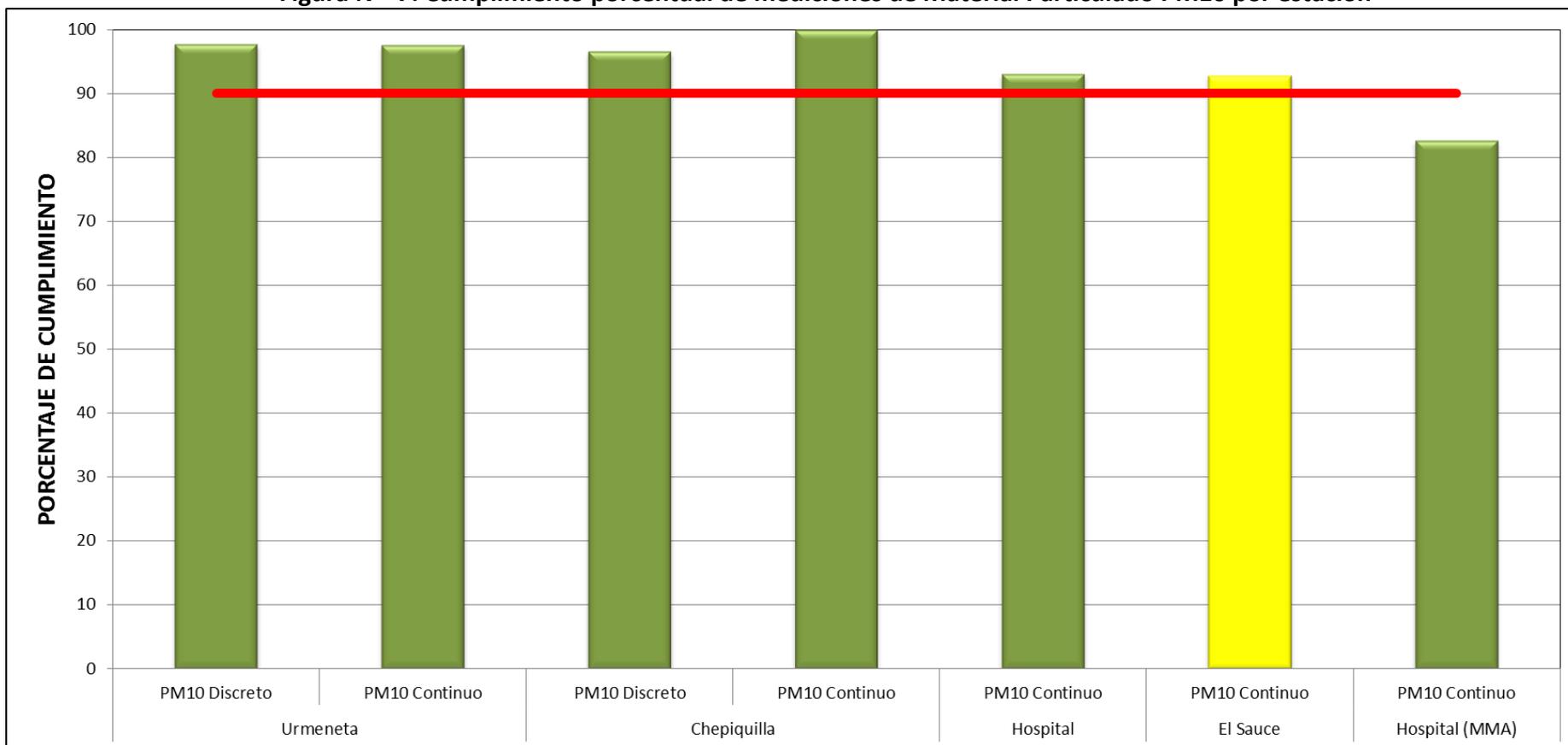
Del análisis del período evaluado, se desprende que, 3 de 6 de las variables meteorológicas no cumplen con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes. Estas variables son; humedad relativa, temperatura ambiente y presión atmosférica, todas cercanas al 87%. La velocidad y dirección del viento, así como también la radiación solar global, presentan datos consistentes con un 97,3% y un 92,4% respectivamente.

**Tabla N° 14: Cumplimiento anual de mediciones de Material Particulado PM10 por estación**

Estación		2010			2011			2012			2013			2014			2015 (hasta Agosto)			Resumen		
		Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento	Mediciones Programadas	Mediciones Validadas	% de Cumplimiento
Urmeneta	PM10 Discreto	120	116	96,7	120	116	96,7	120	113	94,2	120	119	99,2	122	122	100,0	70	70	100,0	672	656	97,6
	PM10 Continuo	x	x	x	x	x	x	8.784	8.560	97,4	8.760	8.337	95,2	8.760	8.693	99,2	5.832	5.753	98,6	32.136	31.343	97,5
Chepiquilla	PM10 Discreto	120	118	98,3	120	112	93,3	120	111	92,5	120	118	98,3	122	119	97,5	70	70	100,0	672	648	96,4
	PM10 Continuo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.136	5.133	99,9	5.832	5.825	99,9	10.968	10.958	99,9
Hospital	PM10 Continuo	x	x	x	8.760	8.697	99,3	8.784	8.572	97,6	8.760	8.760	100,0	8.760	7.207	82,3	5.832	4.771	81,8	40.896	38.007	92,9
El Sauce	PM10 Continuo	x	x	x	8.760	8.731	99,7	8.784	8.640	98,4	8.760	8.760	100,0	8.760	6.250	71,3	5.832	5.556	95,3	40.896	37.937	92,8
Hospital (MMA)	PM10 Continuo	8.760	2.873	32,8	8.760	8.117	92,7	8.784	8.625	98,2	8.760	6.917	79,0	8.760	8.652	98,8	5.832	5.813	99,7	49.656	40.997	82,6

Notas:  
 - = Estación o variable no implementada  
 x = No se contó con el dato  
 Criterio de Validación Aplicado : Año válido = Número de mediciones ≥ 90%

**Figura N° 7: Cumplimiento porcentual de mediciones de Material Particulado PM10 por estación**



Para el análisis del cumplimiento de las mediciones de Material Particulado PM10 Continuo, se tomaron como mediciones programadas la cantidad de promedios horarios que debieran existir en un año; por ejemplo para el año 2013, se debiera contar con 8.760 promedios horarios de PM10. En el caso del Material Particulado PM10 Discreto, se tomaron como mediciones programadas la cantidad de muestreos que debieran existir en un año; esto es 120 muestreos de 24 horas en un año, aproximadamente. El símbolo “-” (guión), indica que la estación o variable no se encontraba implementada en ese período. El símbolo “x” (equis), indica que la estación cuenta con esa variable pero no se pudo contar con los datos al momento de terminar este informe.

#### **Estación Urmeneta:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, para el caso del PM10 Discreto se cumple con el porcentaje de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (un 97,6%), esto además teniendo la totalidad de la información del periodo de análisis. Para el caso del PM10 Continuo, también se cumple con el porcentaje de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (un 97,5%); en este caso, es importante hacer notar que no se contó con la data de los años 2010 y 2011; por lo tanto el porcentaje de cumplimiento de esta variable podría cambiar si se cuenta con la totalidad de la información.

#### **Estación Chepiguilla:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, para el caso del PM10 Discreto se cumple con el porcentaje de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (un 96,4%), esto además teniendo la totalidad de la información del periodo de análisis. Para el caso del PM10 Continuo, también se cumple con el porcentaje de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (casi un 100%). La estación Chepiguilla es la única estación de la red Andacollo que contó con la totalidad de los datos de Material Particulado para su análisis de cumplimiento.

### **Estación Hospital:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, para el PM10 Continuo se cumple con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (92,9%). Es importante hacer notar que no se contó con la data de los años 2010; por lo tanto el porcentaje de cumplimiento de esta variable podría cambiar si se cuenta con la totalidad de la información.

### **Estación El Sauce:**

Del análisis del período evaluado, se desprende que, para el PM10 Continuo se cumple con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (un 92,8%). Hay que recalcar que no se contó con la información del año 2010. Es importante hacer notar también, que el PM10 Continuo si bien presentan un porcentaje de cumplimiento, este fue marcado en amarillo, ya que como se pudo comprobar en terreno, este equipo de medición no cumple con el estándar EPA necesario para que la estación sea considerada EMRP para esta variable; lo que resta validez y consistencia al dato generado.

### **Estación Hospital (MMA):**

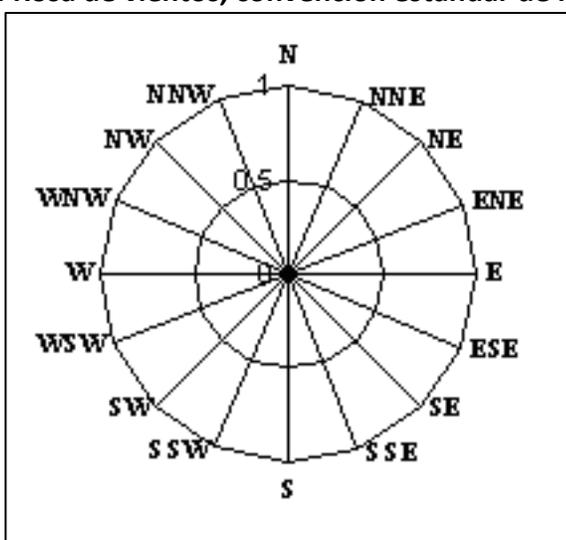
Del análisis del período evaluado, se desprende que, para el PM10 Continuo no se cumple con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (un 82,6%). Sin embargo la variable cumple con la cantidad de datos mínimos necesarios para generar promedios anuales según la normativa nacional. Sería deseable un porcentaje mayor de datos validados para tener una base de datos de mayor robustez.

## 6 ANÁLISIS METEOROLÓGICO POR PERÍODO ESTACIONAL

Se procede a realizar las rosas de vientos (16 direcciones) para las estaciones de la zona, esto se lleva a cabo usando los archivos meteorológicos de entrada para el modelo WRPlot.

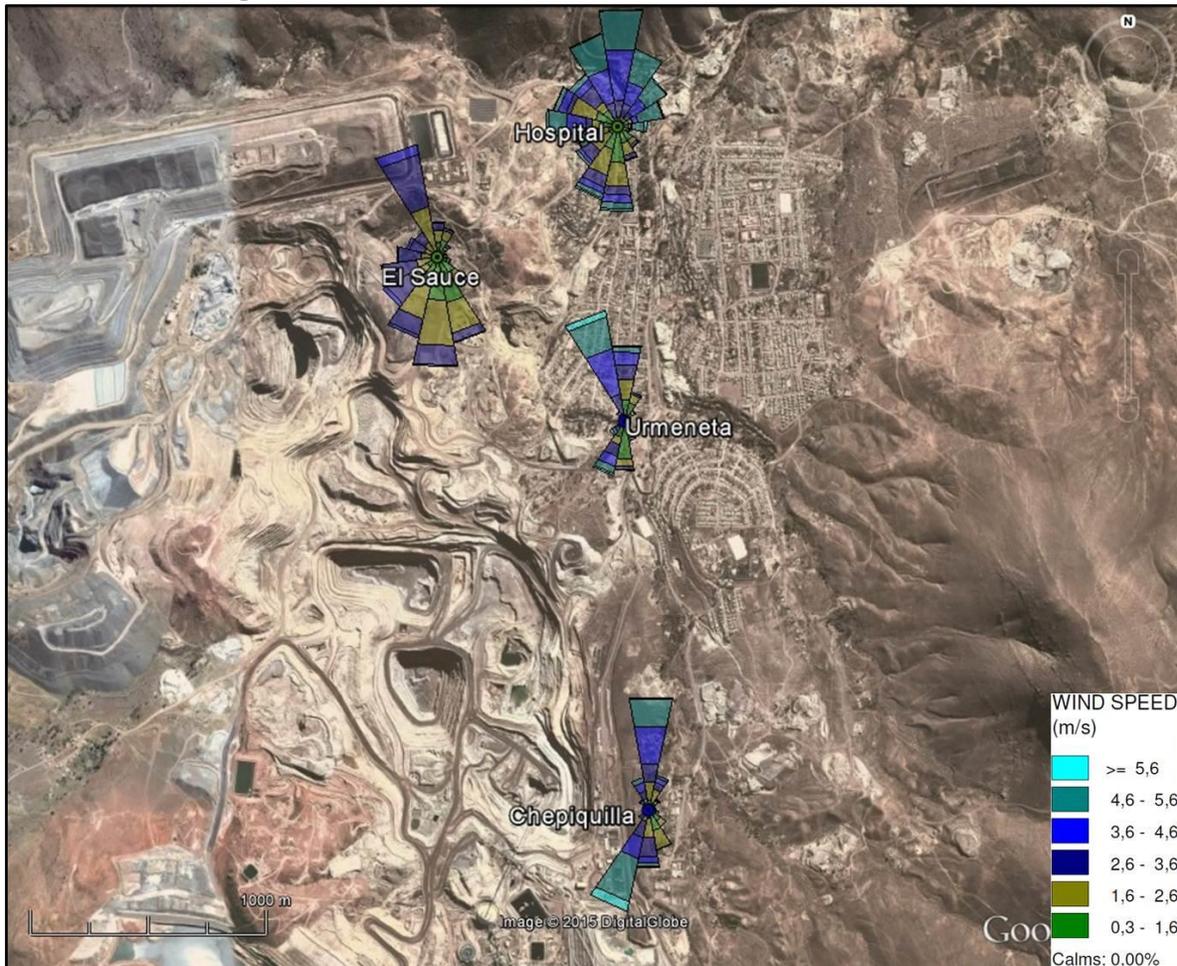
Cabe destacar que la figura N° 8, indica de donde viene el viento, es la convención estándar de meteorología.

Figura N° 8: Rosa de vientos, convención estándar de meteorología.



**Periodo Estacional Enero – Marzo**

**Figura N° 9: Rosas de Viento Periodo Estacional Enero - Marzo**



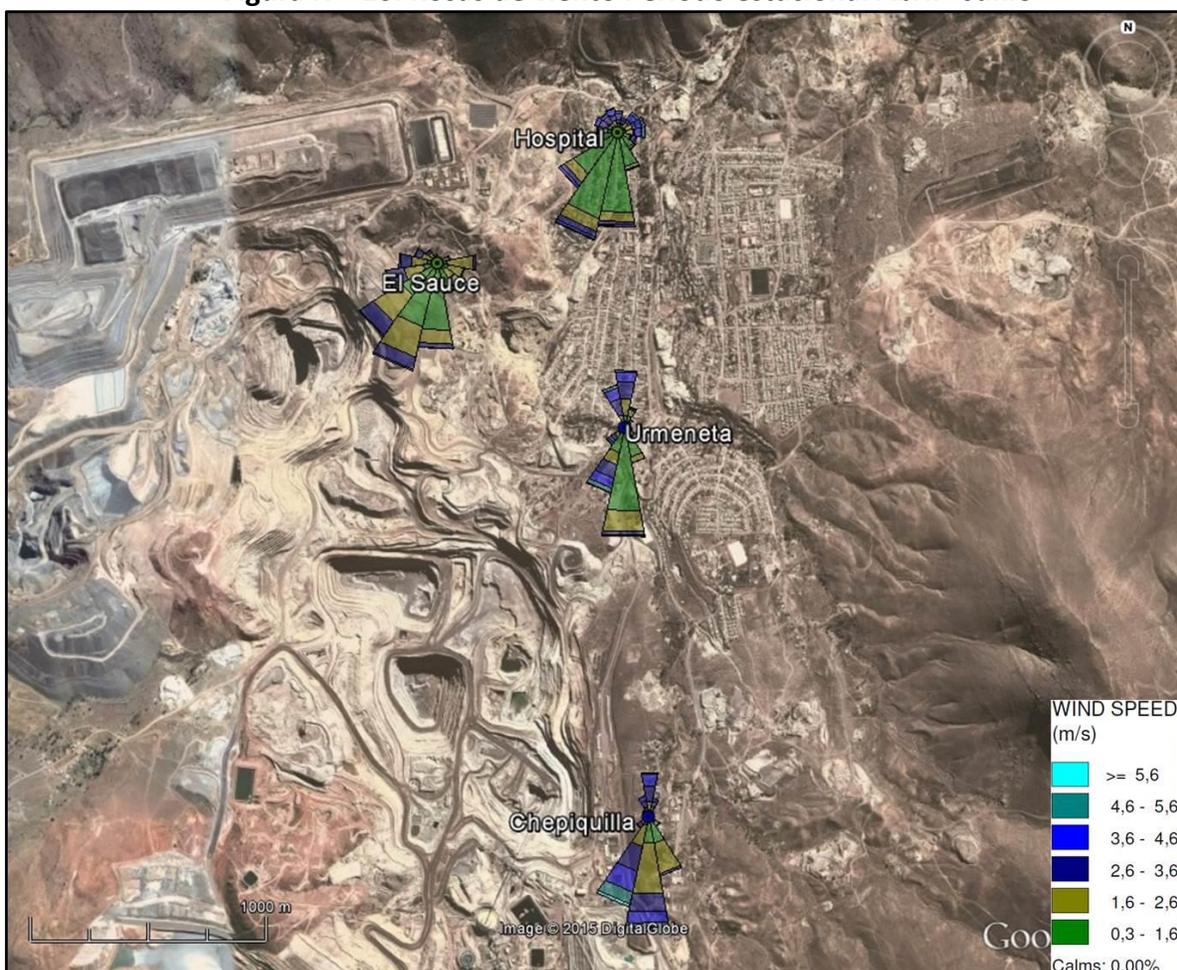
En la figura N°9 observamos los gráficos para las estaciones entre los meses de Enero a Marzo, donde la dirección del viento promedio del período en la estación Chepiquilla es principalmente proveniente desde el Norte, Sur Suroeste y Sur, con un rango mayor de velocidades entre los 4,6 y 5,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 3,6 y 4,5 [m/s].

En la estación Urmeneta el viento proviene principalmente desde el Nor Noroeste, Norte y Sur Suroeste, con un rango mayor de velocidades entre los 3,6 y 4,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 4,6 y 5,5 [m/s].

Para el caso de la estación Hospital el viento proviene de diversos puntos. Por una parte hay vientos desde el Norte, Nor Noroeste y Nor Noreste, también desde el Sur y Sur Suroeste y finalmente vientos desde el Oeste y Oeste Noroeste, con un rango mayor de velocidades entre los 4,6 y 5,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 3,6 y 4,5 [m/s].

### Periodo Estacional Abril – Junio

**Figura N° 10: Rosas de viento Periodo estacional Abril - Junio**



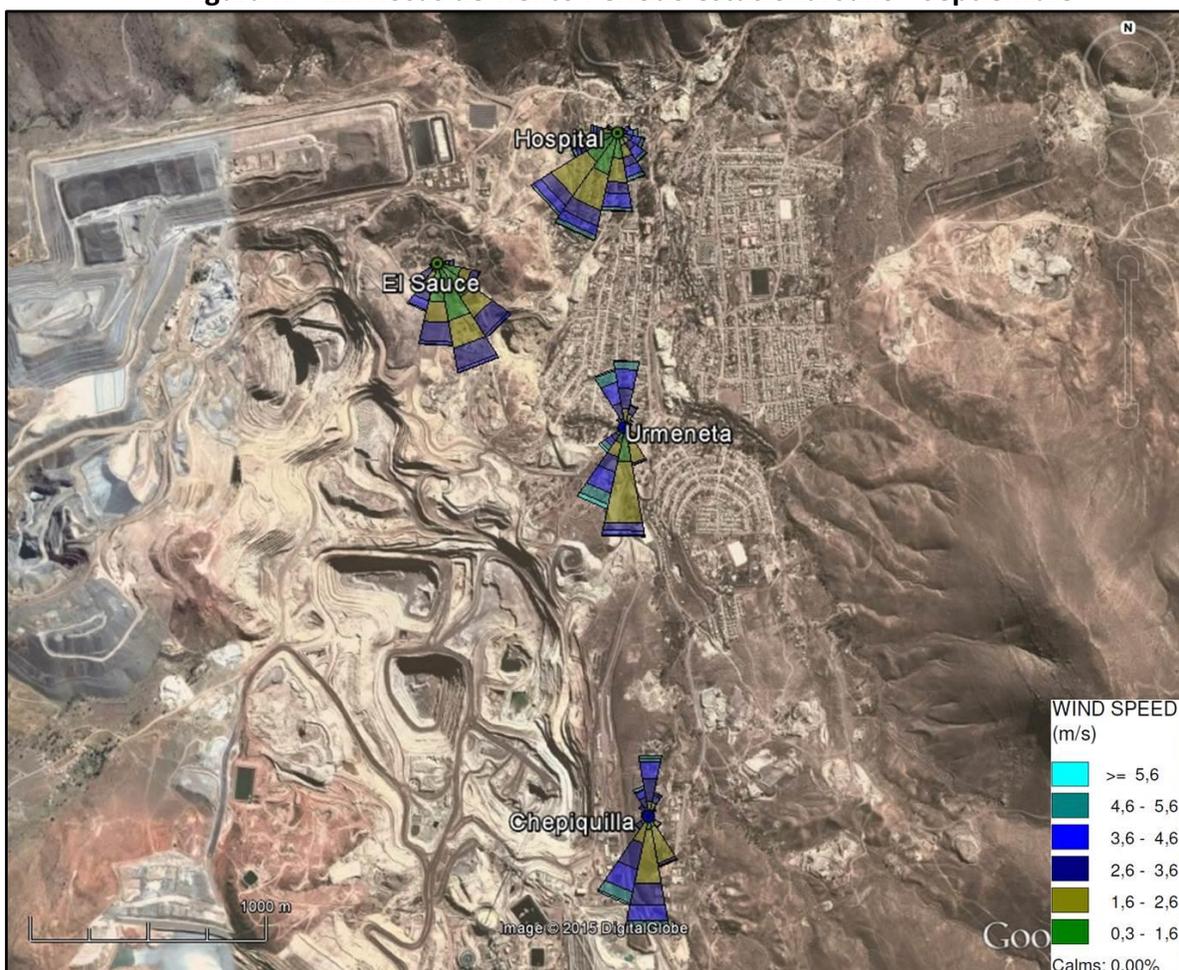
En la figura N°10 observamos los gráficos para las estaciones entre los meses de Abril a Junio, donde la dirección del viento promedio del período en la estación Chepiquilla es principalmente proveniente desde el Sur y Sur Suroeste, con un rango mayor de velocidades entre los 1,6 y 2,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 2,6 y 3,5 [m/s] y 3,6 y 4,5 [m/s].

En la estación Urmeneta el viento proviene principalmente desde el Sur, Sur Suroeste y Norte, con un rango mayor de velocidades entre los 0,3 y 1,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 2,6 y 3,5 [m/s].

Para el caso de la estación Hospital el viento proviene principalmente desde el Sur Suroeste, Sur y Suroeste, con un rango mayor de velocidades entre los 0,3 y 1,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 1,6 y 2,5 [m/s].

### Periodo Estacional Julio – Septiembre

**Figura N° 11: Rosas de viento Periodo estacional Julio - Septiembre**



En la figura N°11 observamos los gráficos para las estaciones entre los meses de Julio a Septiembre, donde la dirección del viento promedio del período en la estación Chepiquilla es principalmente proveniente desde el Sur, Sur Suroeste y

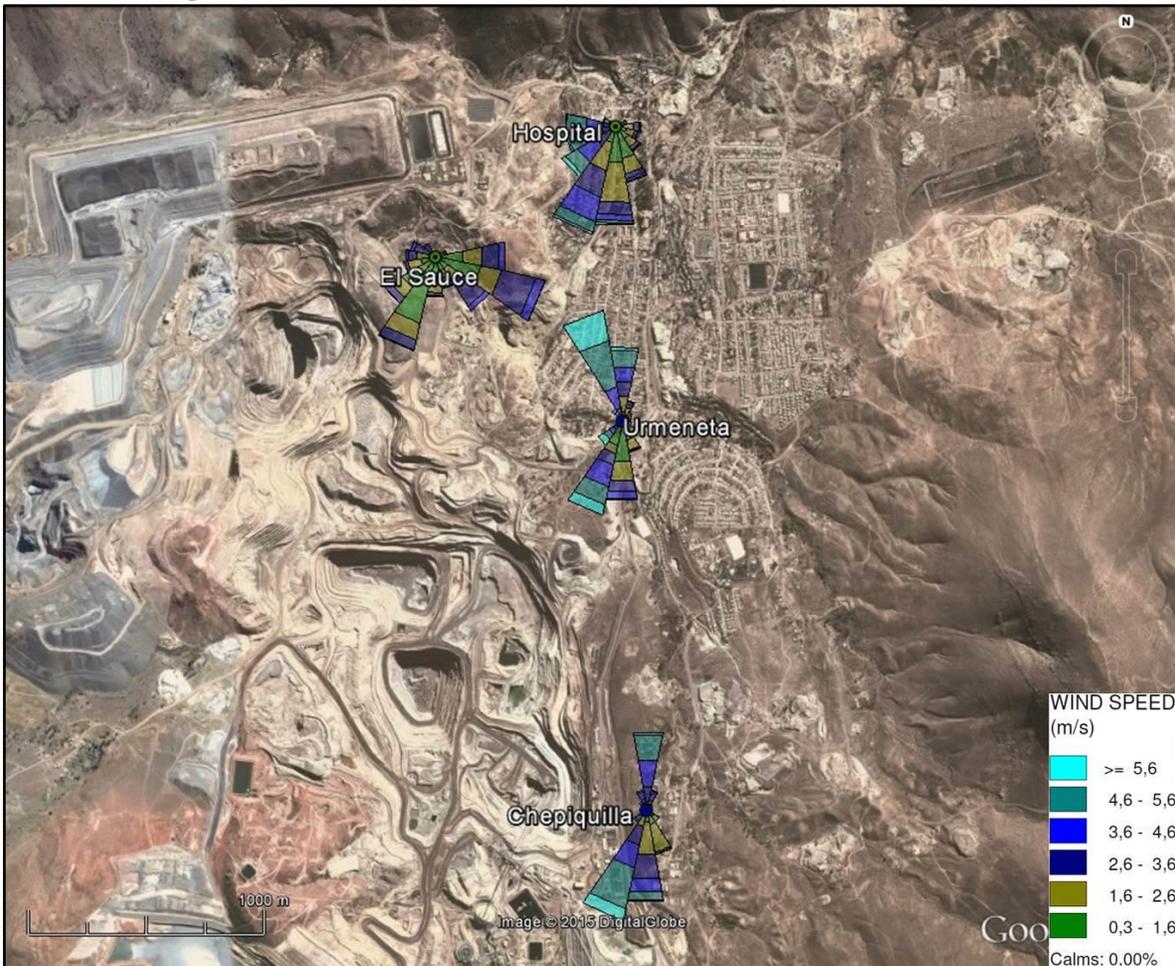
Norte, con un rango mayor de velocidades entre los 2,6 y 3,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 3,6 y 4,5 [m/s].

En la estación Urmeneta el viento proviene principalmente desde el Sur, Sur Suroeste y Norte, con un rango mayor de velocidades entre los 1,6 y 2,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 3,6 y 4,5 [m/s].

Para el caso de la estación Hospital el viento proviene de diversos puntos. Por una parte hay vientos desde el Sur Suroeste, Suroeste y Sur con un rango mayor de velocidades entre los 1,6 y 2,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 0,3 y 1,5 [m/s].

**Periodo Estacional Octubre – Diciembre**

**Figura N° 12: Rosas de viento Periodo estacional Octubre – Diciembre**



En la figura N°12 observamos los gráficos para las estaciones entre los meses de Octubre a Diciembre, donde la dirección del viento promedio del período en la estación Chepiquilla es principalmente proveniente desde el Sur Suroeste, Sur y Norte, con un rango mayor de velocidades entre los 4,6 y 5,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 3,6 y 4,5 [m/s].

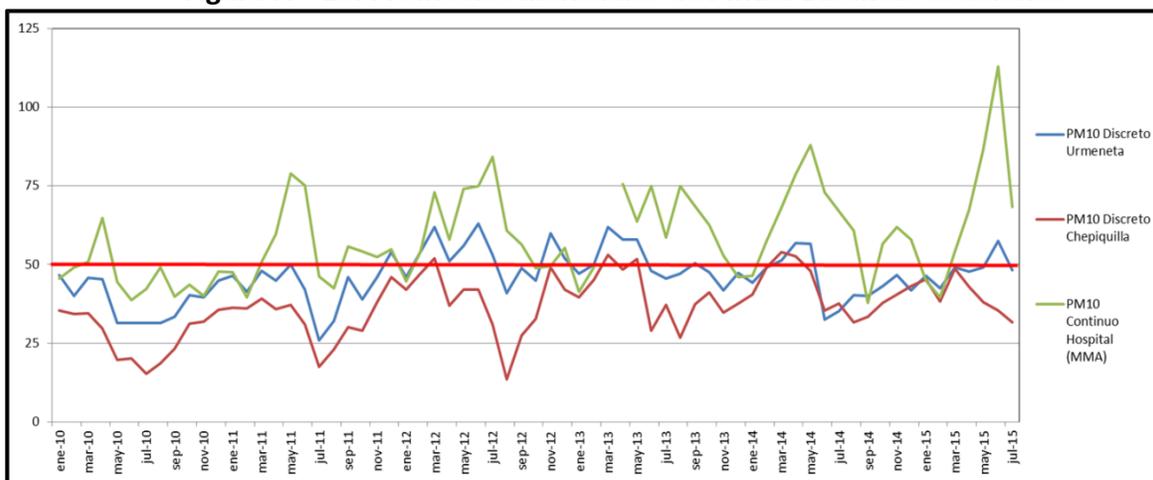
En la estación Urmeneta el viento proviene principalmente desde el Nor Noroeste, Sur Suroeste, Norte y Sur, con un rango mayor de velocidades entre los 4,6 y 5,5 [m/s] principalmente, también velocidades mayores a 5,6 [m/s] y entre 3,6 y 4,5 [m/s].

Para el caso de la estación Hospital el viento proviene desde el Sur Suroeste, Sur, Suroeste y Sur Sureste, con un rango mayor de velocidades entre los 3,6 y 4,5 [m/s] principalmente y también velocidades entre 2,6 y 3,5 [m/s].

## 7 ANÁLISIS DEL MATERIAL PARTICULADO MP10

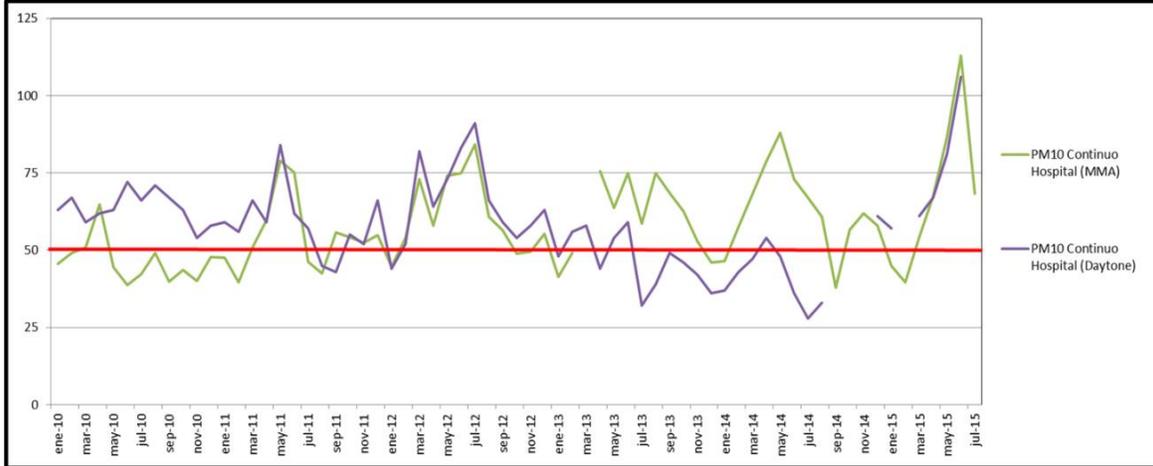
### 7.1 Análisis del MP10

Figura N° 13: Promedios mensuales de PM10. Distintas estaciones



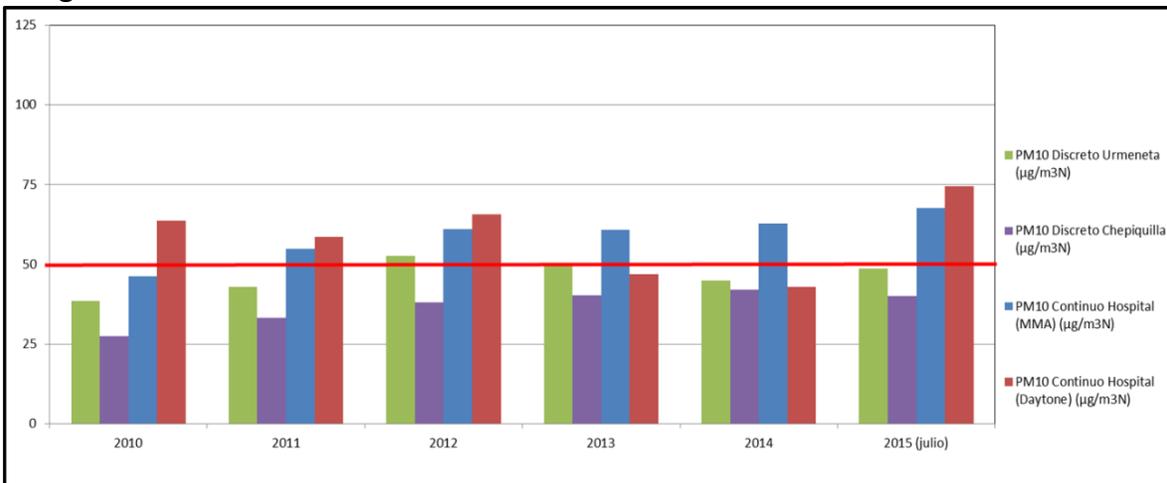
En la figura N°13 observamos los promedios mensuales de PM10 en el tiempo, considerando las estaciones Urmeneta, Chepiquilla y Hospital (MMA). Las dos primeras con PM10 discreto y la tercera con PM10 continuo. Si bien son formas de medir distintas deberíamos tener valores o tendencia similares. Lo que se observa es una leve similitud entre las tendencias de las estaciones Urmeneta y Chepiquilla, y una escasa similitud con la estación Hospital (MMA). Sin embargo, podemos apreciar que en general los meses con más altas concentraciones se observan durante el invierno; entre los meses de Mayo y Julio.

**Figura N° 14: Promedios mensuales de PM10. Estación Hospital (MMA) y Hospital**



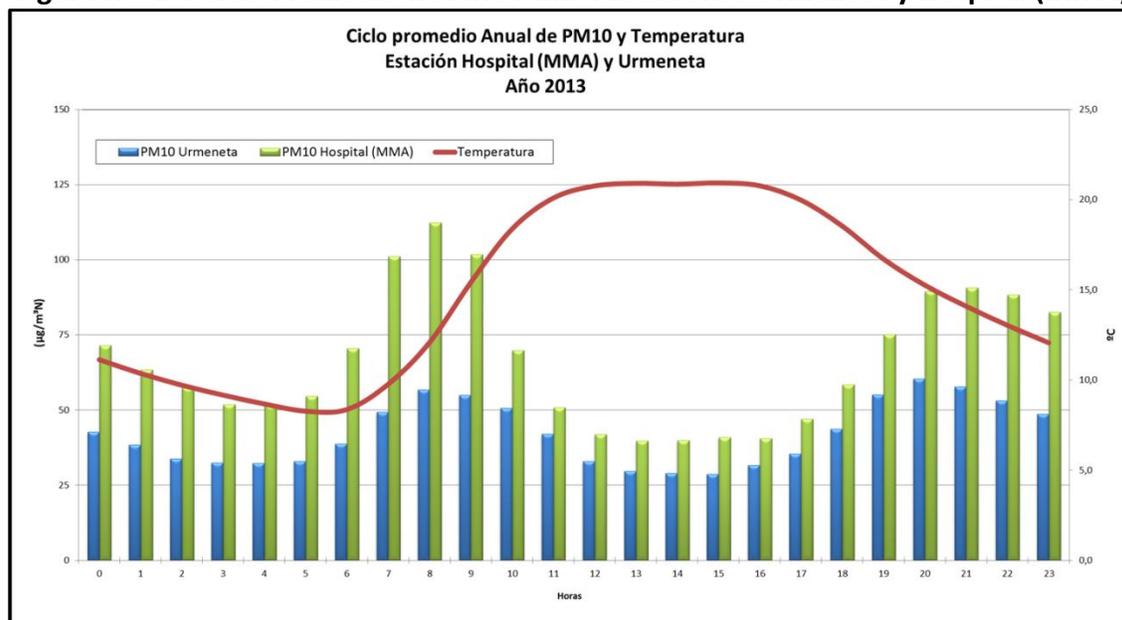
En la figura N°14 observamos los promedios mensuales de PM10 en el tiempo, considerando las estaciones Hospital (dayton) y Hospital (MMA). Ambas estaciones con PM10 Continuo y además ambas estaciones ubicadas exactamente en el mismo lugar. Se puede apreciar que durante los años 2011, 2012 y comienzos del 2013 los resultados y tendencias son practicamente iguales, lo que es esperable; sin embargo la estacion de Dayton presenta diferencias durante los años 2010, 2014 y parte del 2015. Como se comentó en la primera parte del presente informe, la estacion Hospital (Dayton) presenta algunas deficiencias en cuanto a la operación, calibracion y mantencion del equipo de PM10; por lo que ésta falta de mantención puede ser la causante de las desviaciones que se observan.

**Figura N° 15: Promedios anuales de PM10. Estaciones Red de monitoreo Andacollo**



En la figura N°15 observamos los promedios anuales de PM10 desde el año 2010 hasta Julio del 2015, considerando las estaciones válidas de la red de monitoreo de calidad del aire de Andacollo. Podemos observar que la estación Urmeneta se encuentra bajo la norma anual durante todos los años, a excepción del año 2012. La estación Chepiquilla se encuentra bajo la norma durante todos los años y presenta concentraciones menores que la estación Urmeneta. La estación Hospital (Dayton) se encuentra sobre la norma durante los años 2010, 2011, 2012 y parte del 2015; y se encuentra bajo la norma durante los años 2013 y 2014. La estación Hospital (MMA) se encuentra sobre la norma desde el año 2011 en adelante. Con esto se puede observar que las diferentes estaciones de monitoreo no miden exactamente lo mismo a lo largo de los años; pero también se puede notar que las estaciones que se encuentran más alejadas del centro de Andacollo presentan concentraciones algo menores (Urmeneta y sobre todo Chepiquilla, que se encuentra ubicada en límite rural del pueblo)

**Figura N° 16: Ciclo Promedio Horario PM10. Estaciones Urmeneta y Hospital (MMA)**



En la figura N°16 se observa el ciclo promedio horario del PM10 para el año 2013 (como ejemplo), considerando las estaciones Hospital (MMA) y Urmeneta. También se observa el ciclo promedio horario de la temperatura del aire del sector, para el mismo año. Podemos observar que como promedio, las concentraciones presentan un ciclo bien definido, donde los valores más altos se observan durante las primeras horas de la mañana (entre las 07:00 y las 09:00 hrs.), y durante las primeras horas de la noche (entre las 20:00 y las 23:00 hrs.) Esto ocurre tanto para la estación Urmeneta como para Hospital (MMA),

independientemente de que se observen concentraciones mas altas en Hospital (MMA); el ciclo promedio horario es el mismo. Esto ocurre en gran medida debido a que las emsiones son más altas durante esas horas; pero tambien, dentro del factor meteorológico; la altura de la capa de mezcla juega un papel fundamental; ya que la altura de la capa de mezcla varía significativamente a lo largo del día movido por la temperatura del aire. Esto es de la siguiente forma; a mayor temperatura más alta es la capa de mezcla, por lo tanto el volumen de aire donde se pueden mezclar los contaminantes aumenta, por consiguiente tiende a disminuir la concentración de estos. Al contrario, a menor temperatura más baja es la capa de mezcla, por lo que los contaminantes se encuentran en un volumen menor, aumentado la concentracion de estos.

Conocer y conciderar la altura de la capa de mezcla, asi como tambien la velocidad y direccion del viento, es fundamental para hacer gestión en la mitigación de emisiones a lo largo del día.

## **7.2 Análisis de Componentes del MP10**

Para el análisis de componentes del MP10 en las estaciones monitoras, se enviaron a analizar 10 filtros de la estación Urmeneta y 10 filtros de la estación Chepiquilla, correspondientes a distintas épocas del año contemplando la variable estacional. Es claro que es una muestra puntual y reducida de filtros pero el objetivo es tener una idea general de si son los elementos correctos los que actualmente se caracterizan o pudiera encontrarse algún elemento de importancia que no estuviera contemplado.

Los 20 filtros seleccionados, se enviaron al Desert Research Institute (DRI) para su caracterización química por los siguientes elementos: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, P, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Hf, Ta, W, Ir, Au, Hg, Tl, Pb y U.

Estos elementos químicos obedecen a un paquete de análisis estándar que ofrece el DRI, no pudiéndose elegir elementos específicos.

Sin embargo, las concentraciones de Aluminio (Al), Sílice (Si) y fósforo (P) no pudieron ser determinadas para los filtros de cuarzo debido al gran contenido de Sílice de los filtros constituidos por este material.

En la tabla N°15 se observan los resultados del análisis antes expuesto. Dentro de los elementos quimicos con mayor presencia en las muestras de PM10 enviadas, se encuentran de mayor a menor: Hierro, Azufre, Potasio, Cloro, Bario, Cobre, Zinc, Titanio,

Manganeso, Estroncio, Zirconio, Bromo, Vanadio, Arsénico, Estaño, Plomo, Terbio, Samario y Europio. Los elementos químicos de la tabla marcados en amarillo son los que actualmente se monitorean realizando análisis químicos a los filtros de PM10. El Silice también se monitorea actualmente.

Se puede observar por tanto, que los elementos que actualmente se consideran en los análisis químicos son adecuados y necesarios, ya sea por su preponderancia, por su importancia en la salud de las personas o por ser elementos normados en la legislación.

**Figura N° 17: Elementos químicos con mayor porcentaje presentes en filtros de PM10**

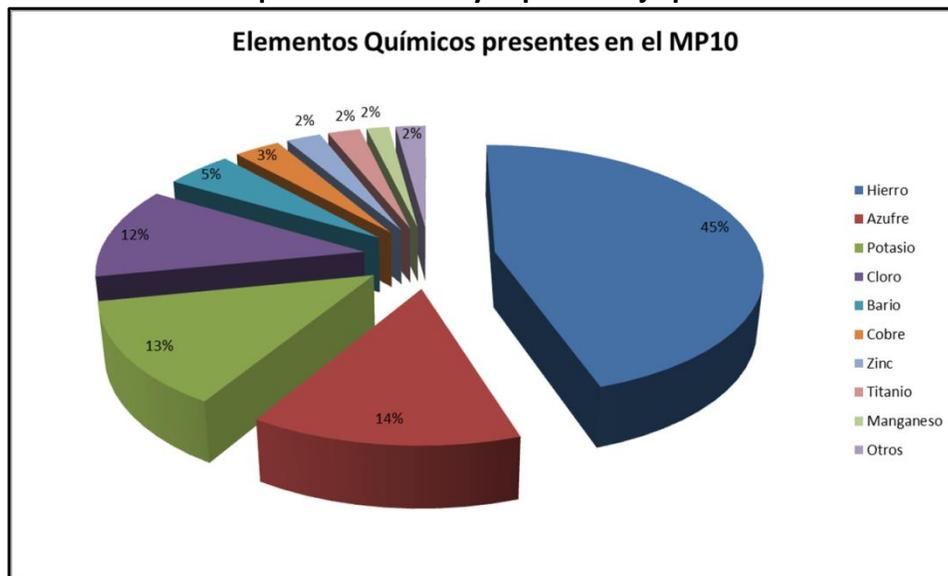


Tabla N° 15: Caracterización Química de Filtros de MP10

Fecha	Estacion	Tipo de Filtro	Filtro	Conc µg/m³	Elemento Químico (µg)																			
					Hierro	Azufre	Potasio	Cloro	Bario	Cobre	Zinc	Titanio	Manganeso	Estroncio	Zirconio	Bromo	Vanadio	Arsénico	Estaño	Plomo	Terbio	Samario	Europio	
23-abr-14	Urmeneta	Cuarzo	8851618	86	6074	1990	1703	564	429	427	292	286	215	0	94	17	28	28	1	29	0	0	0	
17-may-14	Urmeneta	Cuarzo	8444638	93	6604	1067	2510	982	3074	437	1320	396	264	738	60	14	23	69	0	14	0	0	0	
09-ago-14	Urmeneta	Cuarzo	8969221	62	4006	903	1117	658	66	290	37	174	145	0	5	18	12	13	29	3	0	0	27	
11-sep-14	Urmeneta	Cuarzo	8968732	64	4314	749	1020	2212	41	202	72	171	153	0	12	21	18	6	0	6	0	0	0	
08-oct-14	Urmeneta	Cuarzo	8968978	69	5263	1225	1505	1148	47	401	39	255	201	0	20	14	16	6	37	6	13	8	0	
10-nov-14	Urmeneta	Cuarzo	8852440	65	4063	1350	1150	1906	395	268	262	198	154	0	92	19	10	13	0	17	14	5	0	
23-jun-15	Urmeneta	Cuarzo	8952922	73	4227	1503	1223	738	68	290	66	179	159	0	15	25	24	20	35	6	8	0	0	
06-ene-15	Urmeneta	Celulosa	88328	65	2523	640	588	326	0	160	48	161	83	11	13	15	6	2	0	4	0	16	0	
05-feb-15	Urmeneta	Celulosa	88412	69	1840	762	467	774	0	87	27	122	53	11	7	16	4	3	0	2	0	1	0	
04-mar-15	Urmeneta	Celulosa	88461	75	2583	738	1448	738	0	171	28	172	77	35	9	20	6	5	0	5	0	0	0	
23-abr-14	Chepiquilla	Cuarzo	8851607	74	4464	2197	1155	174	443	426	272	213	160	0	95	15	24	12	0	26	0	0	0	
17-may-14	Chepiquilla	Cuarzo	8444626	82	5698	1429	2070	589	3053	525	1307	351	185	746	57	6	29	50	0	14	0	0	0	
09-ago-14	Chepiquilla	Cuarzo	8969211	62	3965	1270	1261	1199	48	354	27	194	131	0	18	18	19	9	30	5	0	3	0	
11-sep-14	Chepiquilla	Cuarzo	8968729	62	3825	993	667	1732	50	243	35	150	156	0	10	14	17	6	27	4	0	0	0	
08-oct-14	Chepiquilla	Cuarzo	8968968	59	3563	1382	722	1972	28	279	21	174	140	0	6	14	15	4	30	2	0	0	0	
10-nov-14	Chepiquilla	Cuarzo	8852430	55	3339	1461	824	1641	390	231	252	159	119	0	95	17	14	9	0	21	15	8	0	
23-jun-15	Chepiquilla	Cuarzo	8952931	84	5386	1750	1695	790	74	464	57	225	188	0	18	29	16	20	34	7	0	0	0	
06-ene-15	Chepiquilla	Celulosa	88324	68	2191	655	537	344	0	187	41	131	64	12	8	9	7	0	0	6	0	0	0	
05-feb-15	Chepiquilla	Celulosa	88408	61	1660	817	403	905	0	80	20	121	47	9	7	15	2	1	0	3	14	6	15	
04-mar-15	Chepiquilla	Celulosa	88309	79	2242	870	734	775	0	155	22	159	64	16	8	17	2	2	0	5	0	0	0	
			Promedio		70	3892	1188	1140	1008	410	284	212	199	138	79	33	17	15	14	11	9	3	2	2
			%		0,8	45,0	13,7	13,2	11,6	4,7	3,3	2,5	2,3	1,6	0,9	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
			Coef. Correl.		1,00	0,58	0,31	0,75	-0,47	0,59	0,56	0,59	0,74	0,51	0,58	0,25	0,05	0,41	0,72	-0,18	0,35	-0,39	-0,40	-0,28

## **8 MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**

El objetivo de este punto es generar simulaciones de dispersión de contaminantes de material particulado (MP10), de esta forma se podrá estimar aquellas zonas de mayor impacto y tener una representación visual que ayude a optimizar la red de monitoreo.

### **8.1 Descripción del modelo de dispersión utilizado:**

Los modelos de dispersión son una herramienta de gran utilidad para predecir y analizar la calidad del aire y estimar el impacto causado por los distintos contaminantes emitidos en la atmósfera. Como su objetivo es representar el fenómeno de la dispersión de la forma más completa y precisa posible, resulta necesario evaluar el comportamiento y las condiciones presentadas por el sistema real, para de esta forma, escoger el modelo que más se acerque a cada caso particular.

En este estudio, el modelo escogido es CALPUFF, el cual forma parte de la selección preferida y recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). La razón de esta elección se debe a sus capacidades para representar de mejor manera los campos de viento y temperatura (de forma tridimensional) y las condiciones topográficas, que resulta fundamental para zonas con terreno complejo como es gran parte de nuestro país.

Asimismo, la modelación de la calidad del aire en la zona de emplazamiento de la comuna de Andacollo consideró el modelo meteorológico WRF correspondiente al año calendario 2012, por ser el año más actual que estaba disponible por parte del SEA (Servicio de Evaluación Ambiental) para el área a modelar.

### **8.2 Inventario de emisiones:**

El contrato de licitación por el cual se genera el presente informe no contemplaba realizar ni actualizar el Inventario de emisiones. Por lo tanto, por contrato se utilizó el Inventario de Emisiones realizado por CENMA que se encuentra dentro del estudio llamado “Diagnostico de Calidad del Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo” de Agosto 2011. El Inventario contempla niveles de actividad correspondientes al año 2010; tanto de las faenas de Teck y Dayton, como de los niveles de actividad del propio pueblo de Andacollo.

Por lo mismo es importante dejar en claro que el modelo de dispersión generado no es una mirada actualizada de la situación de Andacollo; más bien corresponde a un análisis

general de los movimientos de las concentraciones de PM10 con los datos que se tenían en el inventario de emisiones del año 2010.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las emisiones totales. Para la modelación se utilizó el Escenario Actual

**Tabla N° 16: Resumen de emisiones de PM10. Año 2010**

Zona	Actividad	Emisión PM10 (Ton/año)		
		Escenario sin medidas	Escenario Actual	Escenario Con medidas
Ciudad de Andacollo	Vehiculares	268,64	268,84	207,60
	Industriales	2,39	2,39	2,39
	Vertedero	14,97	14,97	14,97
	Residenciales	5,74	5,74	5,74
	Relaves	168,00	168,00	0,00
	<b>Total Ciudad Andacollo</b>	<b>459,94</b>	<b>459,94</b>	<b>230,70</b>
Minera Dayton	Tronaduras	6,93	6,93	6,93
	Tránsito camiones	1165,82	695,77	309,52
	Manejo y almacenamiento en rajos	13,73	13,73	13,73
	Manejo y almacenamiento en botadero y stock	6,12	6,12	6,12
	Descarga en planta	3,92	3,92	3,92
	Chancador 1º	0,56	0,56	0
	Manejo y almacenamiento en acopio 1º	1,99	1,99	1,99
	Chancador 2º	1,88	1,88	0,12
	Manejo y almacenamiento en acopio 2º	1,20	1,20	1,2
	Chancador 3º	1,88	1,88	0,12
	Manejo y almacenamiento en acopio 3º	0,53	0,53	0,53
	Manejo y almacenamiento en acopio Lix	2,35	2,34	2,34
<b>Total Minera Dayton</b>	<b>1206,91</b>	<b>736,85</b>	<b>346,52</b>	
Minera Teck-CDA	Tronaduras	7,13	7,13	7,13
	Tránsito camiones	1225,88	734,87	313,23
	Manejo y almacenamiento de pila origen	41,62	41,62	41,62
	Manejo y almacenamiento de pila destino	25,39	25,39	25,39
	Descarga Chancado Hipógeno	21,27	21,27	21,27
	Descarga Chancado Supérgeno	6,18	6,18	6,18
	Ch 1º Hipógeno	3,75	3,75	0,20
	Ch 1º Supérgeno	1,08	1,08	0,03
	Ch 2º Supérgeno	3,67	3,67	0,84
	Ch 2º Hipógeno	12,59	12,59	2,83
	<b>Total minera Teck-CDA</b>	<b>1348,56</b>	<b>857,55</b>	<b>418,72</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3015,41</b>	<b>2054,34</b>	<b>995,94</b>	

Fuente: "Diagnóstico de Calidad de Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo. CENMA 2011

### 8.3 Dominio de modelación:

El dominio de modelación se escoge considerando lo planteado por la SEREMI de Medio Ambiente de Coquimbo, es decir el Polígono de Zona Saturada de Andacollo, por lo cual se generó un cuadrado que contiene el polígono antes mencionado y que corresponde a una superficie que incluye la totalidad de las fuentes, receptores y las zonas de interés donde se espera evaluar el impacto generado por las actividades relacionadas con las faenas mineras de la zona. En este caso, interesa determinar el efecto que generan tanto las faenas mineras como las actividades propias del área urbana en la calidad del aire de la comuna de Andacollo, localidad ubicada contigua a las dos faenas mineras. De acuerdo a este criterio, el dominio presenta una extensión de 12 kms de ancho por 12 kms de largo con una resolución de 1km., cuyas coordenadas se muestran en la Tabla xx

**Coordenadas vértices de área de influencia.**

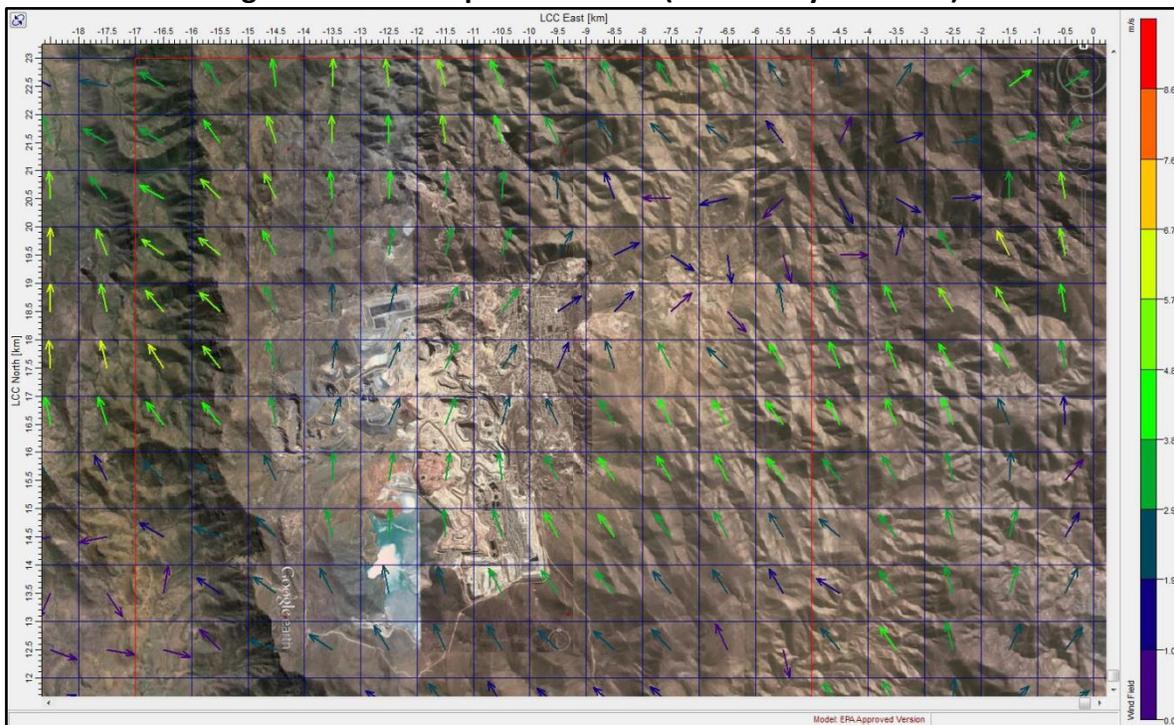
Vértice	UTM (WGS 84, Huso 19K)	
	E (m)	N (m)
SW	292.537,79	6.646.382,76
NE	304.537,79	6.658.382,76

Fuente: Elaboración Propia

#### 8.4 Campo de Vientos:

En la siguiente figura se observa una representación de los campos de vientos en el pueblo de Andacollo, generados por el modelo meteorológico WRF. Las flechas (vectores) indican la dirección del viento y los colores de las flechas indican la velocidad del viento en m/s. Al lado derecho de la imagen se aprecia la escala de la velocidad del viento; pasando desde el morado (vientos menores a 1,0 m/s) hasta el rojo (vientos mayores a 8,6 m/s)

**Figura Nº 18: Campos de vientos (velocidad y dirección)**



En el anexo digital se encuentra la Animación 1, que muestra la secuencia horaria de dirección y velocidad del viento generada por modelo WRF para un día en particular, en este caso el 04 de Febrero de 2012.

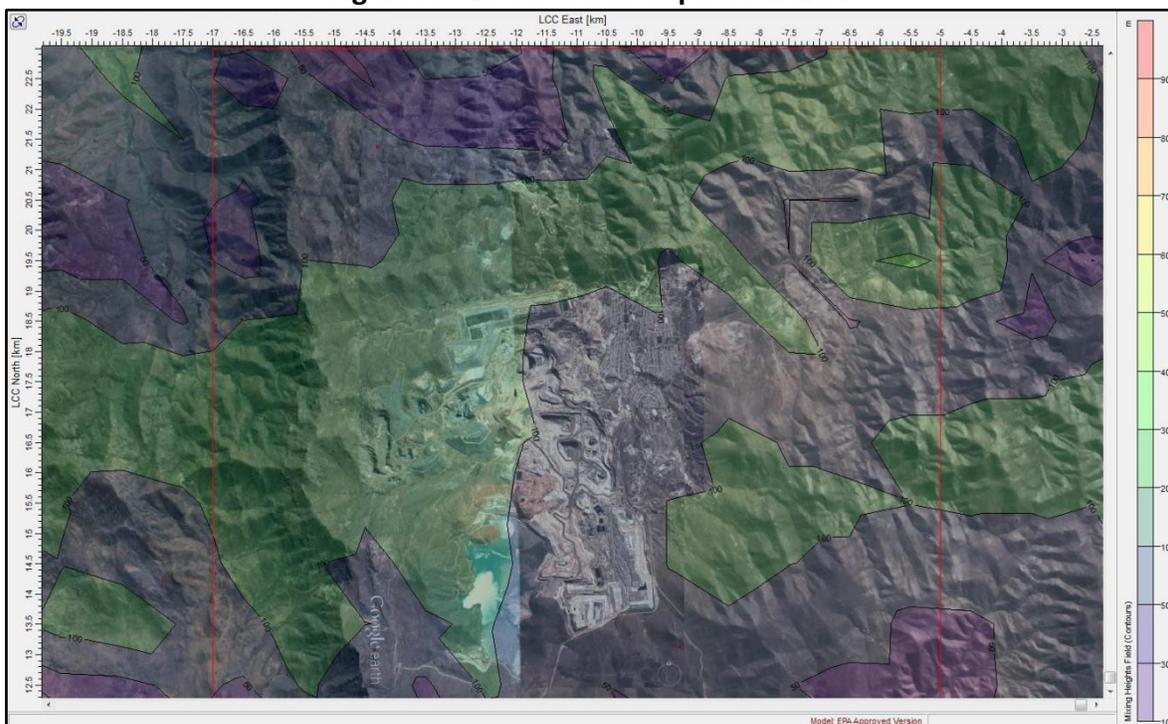
En esa animación podemos observar lo siguiente; en las primeras horas del día, entre las 00:00 y las 07:00 hrs el viento proviene mayoritariamente desde el SurOeste, con velocidades relativamente bajas, entre 1,0 y 3,0 m/s. Desde las 08:00 hrs. se produce un cambio en la dirección, proveniente mayoritariamente desde el NorEste y Norte, junto con aumento en la velocidad, aproximadamente hasta los 5,0 m/s. Desde las 14:00 hrs. el viento vuelve a cambiar de dirección, proviniendo nuevamente desde el Sur Oeste y Sur

mayoritariamente, con aumento en la velocidad del viento, hasta los 7,0 m/s aprox. Esta situación de dirección se mantiene hasta el fin del día con una declinación en la velocidad durante la noche.

### 8.5 Altura de Capa de Mezcla:

En la siguiente figura se observa una representación de la altura de la capa de mezcla en el pueblo de Andacollo, generados por el modelo meteorológico WRF. Los colores indican la altura (en mts.) aproximada a la que se encuentra la capa de mezcla. Al lado derecho de la imagen se aprecia la escala de la altura de la capa de mezcla; pasando desde el morado (menor a 30 m) hasta el rojo (sobre los 900 m de altura). Es importante hacer notar que como todo en meteorología, la capa de altura de mezcla nunca es completamente homogénea, tiene variaciones.

**Figura Nº 19: Altura de Capa de mezcla**



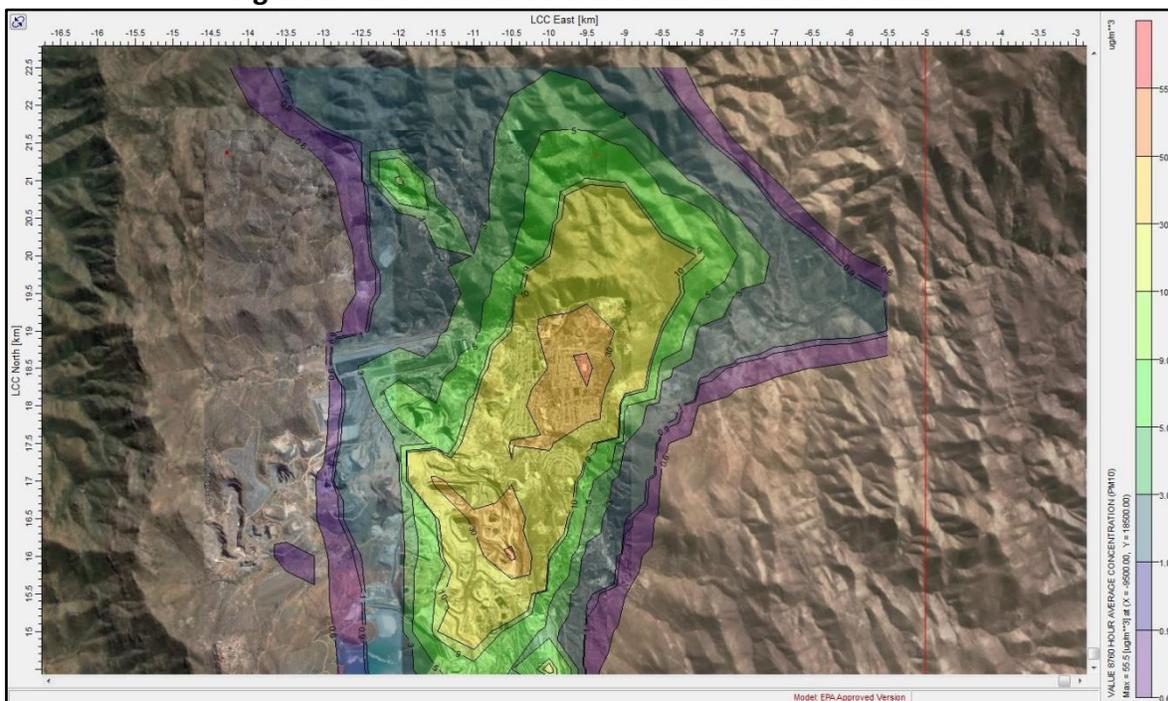
En el anexo digital se encuentra la Animación 2, que muestra la secuencia horaria de la variación de la altura de la capa de mezcla generada por modelo WRF para un día en particular, en este caso el 05 de Julio de 2012.

En esa animación podemos observar lo siguiente; en las primeras horas del día, entre las 00:00 y las 09:00 hrs. la altura de la capa de mezcla se mantiene bastante baja, por debajo de los 100 m. Desde las 10:00 de la mañana en adelante, la altura de la capa de mezcla empieza a aumentar rápida y progresivamente hasta llegar a un peak de altura de aproximadamente 900 m, a las 15:00 hrs. de ahí en adelante comienza a disminuir su altura de forma más gradual hasta llegar a la situación nocturna original; por debajo de los 100 metros.

### 8.6 Concentración de PM10:

En la siguiente figura se observa una representación de la Concentración promedio anual de PM10 estimada en el pueblo de Andacollo, generada por el modelo CALPUFF. Esto es considerando el inventario de emisiones del año 2010. Los colores indican la concentración de PM10 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Al lado derecho de la imagen se aprecia la escala de las concentraciones; pasando desde el morado (menor a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hasta el rojo (sobre los  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Se puede apreciar que las concentraciones más altas se encuentran en la zona Este del pueblo de Andacollo (“la zona alta”)

**Figura Nº 20: Concentración Promedio anual de PM10**



En el anexo digital se encuentra la Animación 3, que muestra la secuencia horaria de las concentraciones de PM10 junto con la dirección y velocidad del viento generada por el modelo CALPUFF y WRF para un día en particular, en este caso el 04 de Febrero de 2012.

En esa animación podemos observar como los vientos y la altura de la capa de mezcla tienen una fuerte influencia en las concentraciones hora por hora; en las primeras horas del día comienzan a aumentar las concentraciones hasta llegar a un peak a las 06 de la mañana, con concentraciones de entre 100 y 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; la mayor parte focalizadas en la parte alta y Noreste de Andacollo. Luego, con el cambio en la dirección del viento y el aumento en la altura de la capa de mezcla, las concentraciones disminuyen hasta las horas de la tarde donde tienden a aumentar nuevamente en la noche.

## **9 PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE PARA EL POLIGONO DE ZONA SATURADA DE ANDACOLLO**

Finalmente, a partir de los resultados de los informes anteriores y del presente informe, se entrega una propuesta de rediseño de la red de monitoreo de calidad de aire para el Polígono de Zona Saturada de Andacollo; en la cual se realizan algunas observaciones y recomendaciones tendientes a perfeccionar la red de calidad del aire.

Con respecto al funcionamiento general de las estaciones de monitoreo, es fundamental subsanar las deficiencias que presentan las estaciones El sauce y Hospital, en relación con poner la día sus mantenciones, calibraciones y registros. Asimismo ambas estaciones presentan algunos errores en la instalación de sensores meteorológicos que es necesario corregir, como es el caso de los mástiles de viento, que se encuentran desaplomados.

Con respecto a los equipos utilizados, lo primordial es cambiar el equipo de monitoreo de PM10 continuo de la estación El Sauce, ya que no cumple con los requisitos EPA para una estación EMRP. Adicionalmente, dentro de lo posible, sería ideal que las 5 estaciones midieran con el mismo tipo de equipo, o por lo menos que presenten el mismo principio de operación.

Otro punto importante es que resulta más eficaz medir Material Particulado con equipos Continuos, ya que de esta forma es posible conocer las concentraciones hora a hora y poder tomar medidas conociendo el ciclo horario de las concentraciones, además de evaluar posibles peak que ocurran en un día específico. Adicionalmente, el monitoreo continuo permite relacionar directamente las concentraciones de material particulado con las variables meteorológicas involucradas.

Los equipos de Monitoreo Discretos de Material Particulado PM10, cumplen perfecto la función para hacer análisis químico a los filtros que se muestrean, por lo tanto es conveniente mantenerlos. Actualmente se utilizan dos equipos discretos de alto volumen que muestrean cada 3 días, pero, de esas 10 muestras aproximadas al mes, solo se les hace caracterización química a dos muestras mensuales. Sería conveniente realizar caracterización química a todas las muestras mensuales.

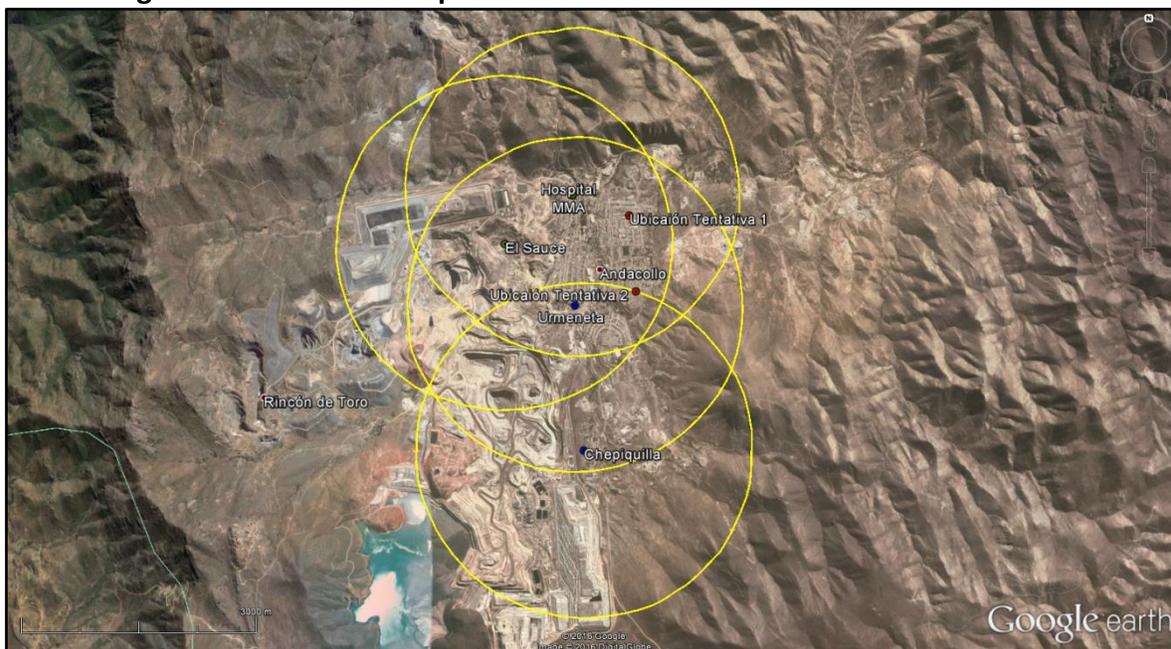
Para el análisis químico de elementos, el filtro recomendable para utilizar es el filtro de Cuarzo, que es el indicado para la mayoría de los análisis, a excepción del sílice, ya que por su propia composición, el filtro de cuarzo presenta algunas componentes de sílice, por lo que podría contaminar y alterar la muestra.

Lo indicado entonces, es que para realizar análisis químico de Sílice se utilice filtros de celulosa en uno de los dos equipos de alto volumen. Y en el otro equipo se utilice el mencionando filtro de cuarzo, para realizar los correspondientes análisis por todos los otros elementos químicos necesarios.

Con respecto a la ubicación de las estaciones de monitoreo, es importante señalar que según la normativa, cada estación de monitoreo de representatividad poblacional EMRP, tendría una representatividad de un radio de 2 Km alrededor de la estación. Como se observa en la Figura Nº 21. Bajo este punto de vista y considerando el tamaño del poblado de Andacollo, bastaría con una sola estación para cubrir el pueblo completamente y seguiría siendo representativa.

Sin embargo hemos visto que estaciones cercanas dan distintos valores de concentraciones de Material Particulado, por lo tanto, no sería conveniente quitar estaciones de la red; por el contrario, lo que sería más eficiente sería reubicar dos de las estaciones que no están siendo de utilidad en estos momentos, de modo de ocupar y distribuir espacialmente las estaciones de mejor manera.

**Figura Nº 21: Área de representatividad de las estaciones de monitoreo**



La estación El Sauce, actualmente se encuentra ubicada en un lugar que podríamos llamar rural y tiene muy pocas personas cercanas a la estación; adicionalmente está rodeada por una serie de cerros y lomas que hacen que tenga un comportamiento de vientos algo erráticos y no muy representativos de lo que ocurre en poblado mismo de Andacollo

Por otro lado, la estación Hospital (Dayton), se encuentra exactamente en la misma ubicación que la estación Hospital (MMA), dándose una duplicidad de información que es del todo ineficiente.

Por lo tanto, la opción sería trasladar estas dos estaciones a dos ubicaciones a definir de la parte alta de Andacollo; ya que la zona alta, que es todo lo que está al lado Este de la calle principal donde se encuentra la plaza, presenta una importante cantidad de población que sería importante monitorear y así distribuir las estaciones de monitoreo donde realmente se encuentran las personas, de modo de “cubrir” de mejor manera el pueblo de Andacollo.

**Figura Nº 22: Propuesta de reubicación de estaciones de monitoreo**



## 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### **Respecto a la representatividad poblacional de las estaciones de monitoreo:**

Las estaciones que forman parte de la red de Monitoreo de Calidad del Aire en Andacollo cumplen con la calificación EMRP. Sin embargo, la estación El Sauce, si bien cumple con los criterios que determinaron su calificación como EMRP, ésta se encuentra rodeada por cerros siendo afectada con una condición de microclima y un régimen local de circulación del viento.

Por otro lado, es afectada por la flora en su entorno por la altura que estos presentan (presencia de árboles y arbustos en el entorno).

Además se constata la duplicidad de información tanto de calidad del aire como meteorológica, en el sector de Hospital ya que en dicho lugar se encuentra la estación Hospital del MMA y estación Hospital de Minera Dayton; distante a pocos metros entre sí.

### **Respecto al estado de equipos:**

Las estaciones pertenecientes a la Minera Carmen de Andacollo son mantenidas por una empresa contratista externa. En las dos estaciones pertenecientes a esta compañía, todos los equipos tienen la documentación necesaria para verificar la correcta mantención y calibraciones. Presentan la información de las mantenciones en un formato de fichas de acuerdo al Art 17 del DS61/2008.

Se recomienda agregar inventario de los bienes y equipos existentes en la estación y calendario de mantención. (Urmeneta y Chepiquilla).

La estación perteneciente a minera Dayton El Sauce, presenta serios problemas de funcionamiento. El monitor MP10 E-BAM se encontraba fuera de operación debido a problemas técnicos. Al momento de la visita la estación no contaba con energía eléctrica y sus equipos se encontraban apagados. Los equipos cuentan con la documentación que acredita su mantención y calibración en los plazos definidos por el DS61/2008. Se recomienda, para dar cumplimiento al DS61/2008, reemplazar de medición de material particulado MP10 marca MetOne modelo E-BAM por un equipo con acreditación US EPA o símil europeo, de los cuales se comercializan diversas marcas en Chile.

La estación perteneciente a MMA, estación Hospital (MMA) tiene sus mantenciones y calibraciones al día y su documentación permite acreditar el buen estado de funcionamiento de sus equipos.

Se recomienda mejorar el orden de los cables de señales de los sensores que podrían dañarse por acción de un agente externo. También la instalación de un sistema de respaldo UPS y extintor. (Hospital MMA)

Además se debe tapar el socavón que se encuentra dentro del perímetro, en el costado sur de la caseta, lo cual presenta un riesgo potencial para el operador y las instalaciones. (Hospital MMA)

### **Respecto a las instalaciones y personal de la red**

Las instalaciones de las estaciones pertenecientes a minera Carmen de Andacollo son adecuadas, tanto en su confección como equipamiento.

El personal dedicado a la red es adecuado e idóneo, tanto en formación como en cantidad. Cumple las exigencias del DS61/2008 de MINSAL. Sin embargo las estaciones no cuentan con visitas de operación semanal, según lo establece la normativa vigente ya que la empresa externa que realiza dicha función solo realiza la mantención y calibración una vez al mes. La norma establece visitas semanales a las estaciones que se encuentran en línea en cuanto a la recolección remota.

Se recomienda mayor rigurosidad en el llenado de la bitácora de monitoreo y en registro de parámetros operacionales.

La estación perteneciente a minera Dayton El Sauce presenta serios problemas en su empalme eléctrico (dependiente de una casa particular), además no cuenta con respaldo UPS ante cortes de energía o fluctuaciones de energía. Esto pudo ser la causa de los problemas técnicos que presenta Monitor de MP10 E-BAM. La estación Hospital no cumple con las exigencias planteadas por la normativa vigente en algunos aspectos; que aluden a su instalación, empalme eléctrico deficiente, instalación de sensores. El personal dedicado a la red no es adecuado e idóneo, no cumple las exigencias del DS61/2008 de MINSAL

Se recomienda instalar de empalme eléctrico independiente en ambas estaciones. Además de implementar respaldo eléctrico ante cortes de energía con sistema UPS que garantice autonomía de funcionamiento energético por unos 15 minutos al menos.

También se necesita realizar mejoras en el sistema de cableado. Mejorar el estándar de instalación de la estación meteorológica, en especial el mástil meteorológico, que se encontraba visiblemente desaplomado en la estación Hospital.

Las instalaciones de las estaciones pertenecientes a MMA, estación Hospital (MMA) es adecuada, tanto en su confección como equipamiento; el personal dedicado a la red es adecuado e idóneo, tanto en formación como en cantidad. Cumple las exigencias del DS61/2008 de MINSAL.

### **Respecto a la evaluación de la eficiencia y eficacia de la data obtenida:**

Del análisis de la data obtenida de las 5 estaciones de monitoreo, para el período considerado, se desprende que presentan niveles de cumplimiento bien disimiles en cuanto a cantidad satisfactoria y consistencia de los datos.

En lo que tiene relación con las variables meteorológicas se observa que solo la estación Chepiquilla presenta un 100% de cumplimiento en cuanto a la relación de las mediciones programadas versus las efectivamente realizadas, lo que otorga una robustez y consistencia a los datos obtenidos por dicha estación.

La estación Urmeneta presenta niveles de cumplimiento cercanos al 100% aunque con una baja considerable en el sensor de precipitación, con un cumplimiento del 78,9%. Las estaciones Hospital, El Sauce y Hospital (MMA), presentan niveles de cumplimiento por debajo de lo satisfactorio; presentando porcentajes de cumplimiento aproximados de 78%, 77% y 87% respectivamente.

En lo que tiene relación con el Material Particulado PM10, se observa que las estaciones Urmeneta, Chepiquilla y Hospital presentan niveles de cumplimiento satisfactorios, tanto para PM10 Discreto como Continuo. Aunque en el caso de Urmeneta no se pudo contar con la información del PM10 Continuo de los años 2010 y 2011.

La estación El Sauce cumple con el porcentaje mínimo de satisfacción de la información, definido como criterio, en cuanto a datos validados y consistentes (un 92,8%). Hay que recalcar que no se contó con la información del año 2010. Es importante hacer notar también, que el PM10 Continuo si bien presentan un porcentaje de cumplimiento, este fue marcado en amarillo, ya que como se pudo comprobar en terreno, este equipo de medición no cumple con el estándar EPA necesario para que la estación sea considerada EMRP para esta variable; lo que resta validez y consistencia al dato generado.

Las estación Hospital (MMA), presentan niveles de cumplimiento por debajo de lo satisfactorio para el PM10 Continuo; presentando porcentajes de cumplimiento aproximados de 82,6%

### **Respecto al análisis meteorológico por periodo estacional:**

Las estaciones que forman parte de la red de Monitoreo de Calidad del Aire en Andacollo manifiestan diferencias entre sí en cuanto al comportamiento del viento, tanto en dirección como en velocidad, lo cual ocurre en distintas épocas del año.

En general los vientos de mayor velocidad se presentan entre los meses de Octubre y Marzo, los cuales coinciden con la época de Primavera y Verano; y a su vez los vientos de menor velocidad se presentan entre los meses de Abril y Septiembre los cuales coinciden con la época de Otoño e Invierno.

Junto con lo anterior, las estaciones en donde se presentan los vientos de mayor velocidad son Chepiquilla y Urmeneta.

Los regímenes de viento en cuanto a dirección son variables y principalmente tienen relación con la ubicación de la estación y no tanto con la época del año, ya que se mantienen en general vientos provenientes del Norte y sus adyacentes y provenientes del Sur y sus adyacentes durante todo el año. Solo en las estaciones El Sauce y Hospital se presentan vientos de múltiples direcciones, debido a condiciones geográficas del lugar.

Las estaciones meteorológicas que más similitudes tienen entre sí, son las estaciones Urmeneta y Chepiquilla. Lo cual se puede explicar principalmente por su ubicación geográfica, ya que ambas se ubican en un espacio abierto libre de obstáculos tanto naturales como artificiales. Esto mismo permite que en estos sectores se presenten vientos de mayor velocidad y de direcciones más específicas, lo que permite que tengan una mejor ventilación.

### **Respecto al análisis de componentes del PM10:**

Dentro de los elementos químicos con mayor presencia en las muestras de PM10 enviadas, se encuentran de mayor a menor: Hierro, Azufre, Potasio, Cloro, Bario, Cobre, Zinc, Titanio, Manganeso, Estroncio, Zirconio, Bromo, Vanadio, Arsénico, Estaño, Plomo, Terbio, Samario y Europio. Los elementos químicos de la tabla marcados en amarillo son los que actualmente se monitorean realizando análisis químicos a los filtros de PM10. El Silice también se monitorea actualmente.

Se puede observar por tanto, que los elementos que actualmente se consideran en los análisis químicos son adecuados y necesarios, ya sea por su preponderancia, por su importancia en la salud de las personas o por ser elementos normados en la legislación.

## **11 ANEXO DIGITAL:**

**Animación 1: Secuencia Velocidad y Dirección del Viento**

**Animación 2: Secuencia Altura de la capa de mezcla**

**Animación 3: Secuencia Concentración de PM10 + Velocidad y Dirección del viento**

