



Anexo I

Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones de MP₁₀ en el polígono de la zona saturada de Andacollo

INDICE

Contexto.	2
Alternativas de Compensación de emisiones.	4
I.- Compensación por gestión de relaves mineros.	4
I.I.- Retiro de relaves.	5
I.II.- Fitoestabilización de relaves.	6
II.- Compensación por gestión de calles.	7
II.I.- Pavimentación.	7
II.II.- Estabilización caminos no pavimentados.	7
II.III.- Aspirado y lavado de calles.	8
III.- Compensación por creación y mantención de áreas verdes.	9
III.I.- Creación y mantención de áreas verdes en espacios públicos.	10
III.II.- Ecoenvolventes.	10
IV.- Compensación por creación de un corredor verde entre el área urbana de Andacollo y las compañías mineras.	11
V.- Compensación por recambio de hornos en panaderías.	11
VI.- Compensación por sistemas purificadores de aire en faenas quema de oro.	11
Metodologías	12

CONTEXTO

De acuerdo con el artículo 10 del D.S. N° 59, de 2014, del Ministerio de Medio Ambiente, que “Establece el Plan de Descontaminación Atmosférico para la localidad de Andacollo y sectores aledaños” (en adelante, “**PDA de Andacollo**”), la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente región de Coquimbo (en adelante, “**SEREMI**”), deberá disponer y administrar un Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones para la localidad de Andacollo, entendiéndose como Banco de Alternativas a un listado de proyectos opcionales para la reducción de emisiones.

Las alternativas de compensación de emisiones podrán ser utilizadas para el cumplimiento de los límites de emisión establecidos para la Compañía Minera Dayton y la Compañía Minera Teck C.D.A. Asimismo, para cumplir las medidas de reducción de emisiones por parte de la Municipalidad de Andacollo y para la compensación de emisiones de otras fuentes emisoras nuevas.

Las alternativas de reducción de emisiones deberán reunir las siguientes características, de acuerdo con el artículo 12 del PDA de Andacollo:

- I. Efectivas, de manera que la medida de compensación permita cuantificar la reducción de las emisiones que se produzca a consecuencia de ella.
- II. Adicionales, es decir, que la medida propuesta no responda a otras obligaciones a que esté sujeto quien genera la rebaja, o bien, que no corresponda a una acción que conocidamente será llevada a efecto por la autoridad pública o por particulares.
- III. Permanentes, esto es, que la rebaja permanezca por el período en que el proyecto o actividad está obligado a reducir emisiones.

Además, el artículo 13 del PDA de Andacollo, indica que las alternativas de compensación de emisiones a incluir en el Banco mencionado, podrán ser actualizadas de manera continua y pueden ser propuestas tanto por SEREMI, como también por toda persona natural o jurídica, previa aprobación de la SEREMI. Cabe señalar que en caso de que un proyecto deba ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (en adelante, “**SEIA**”), esta evaluación y aprobación corresponderá a dicho instrumento de gestión. De acuerdo al artículo 26 del D.S. N° 40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente que “Aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” (en adelante “**RSEIA**”), el titular de un proyecto o actividad podrá dirigirse al Director Regional o Director Ejecutivo del Servicio de Evaluación Ambiental para solicitar un pronunciamiento, en base a los antecedentes proporcionados al efecto, para determinar si el proyecto o actividad o su modificación, debe someterse o no al SEIA de forma obligatoria.

Para su aprobación, se deberán presentar los siguientes contenidos mínimos:

- i. Carta conductora dirigida al SEREMI de Medio Ambiente región de Coquimbo; en caso de que la actividad deba incorporarse al SEIA, esta será evaluada dentro del mismo proceso del SEIA.
- ii. Descripción de la medida propuesta, y el cronograma que grafique el periodo o plazo en que se hará efectiva.
- iii. La base de cálculo de la reducción de emisiones asociada.
- iv. Una propuesta de programa de seguimiento que contemple un mecanismo de verificación.

A continuación, se presenta un Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones de MP₁₀ en el polígono de zona saturada de Andacollo, las que consideran los siguientes contenidos:

- Establecer una metodología de reconocimiento de alternativas de reducción de las emisiones definiendo equivalencias en términos de material particulado.
- Realizar procedimientos de registro y verificación asociados a alternativas de reducción de emisiones.
- Realizar un listado de alternativas de compensación de emisiones.

El objetivo de este Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones de MP₁₀ es disponer de alternativas para el cumplimiento de las metas de emisión y calidad del aire del PDA de Andacollo; esto sin perjuicio de que se puedan presentar otras alternativas de compensación.

ALTERNATIVAS DE COMPENSACIÓN

Para la aprobación de las alternativas de compensación de emisiones, se deberán presentar los siguientes contenidos mínimos, de acuerdo con el artículo 13 del PDA de Andacollo:

- i) Descripción de la medida propuesta, y el cronograma que grafique el periodo o plazo en que se hará efectiva.
- ii) La base de cálculo de la reducción de emisiones asociada.
- iii) Una propuesta de programa de seguimiento que contemple un mecanismo de verificación.

A continuación se presenta el listado de proyectos opcionales para compensar las emisiones de MP₁₀:

- I. **Compensación en mejoramiento de relaves mineros existentes** (I retiro de relaves, II fitoestabilización de relaves).
- II. **Compensación en gestión de calles** (I pavimentación, II estabilización de caminos no pavimentados, III aspirado y lavado de calles).
- III. **Compensación por creación y mantención de áreas verdes** (I en espacios públicos, II con Eco Envoltentes vegetales).
- IV. **Compensación por creación de un corredor verde, entre el área urbana de Andacollo y las compañías mineras.**
- V. **Compensación de Emisiones por recambio de hornos de panaderías.**
- VI. **Compensación por sistemas de purificación de aire en las faenas de quema de oro.**

No obstante lo anterior, los entes privados o públicos que generen emisiones de fuentes emisoras nuevas y que deban compensar sus emisiones MP₁₀ podrán presentar otras alternativas de compensación a la SEREMI de Medio Ambiente región de Coquimbo para su evaluación. Estas alternativas de reducción de emisiones deberán reunir igualmente las características indicadas en el artículo 12 del PDA de Andacollo ya referidas.

Los contenidos mínimos que se deben incluir en el documento denominado "Plan de Compensación de Emisiones" son los siguientes:

1. Antecedentes del Proyecto que compensará	-Tipo de proyecto
	-Localización
	-Inversión
	-Cálculo de las emisiones que se deben compensar
	-Otros que se estime pertinente.
2. Descripción de la alternativa seleccionada	-Descripción de la medida
	-Niveles de actividad
	-Factor de emisión
	-Cálculos de la reducción de emisiones asociada.
	-Programa de seguimiento y verificación de la medida
3. Otros Antecedentes a Anexar	-Cronograma de implementación de la medida
	-Antecedentes legales que acrediten la factibilidad de implementación de la medida, entre otros

I.- COMPENSACIÓN EN MEJORAMIENTO DE RELAVES MINEROS EXISTENTES.

Se ha seleccionado la alternativa remoción y/o estabilización de relaves como mecanismo de compensación de emisiones de MP₁₀. Lo anterior, requiere la definición de criterios para incorporar la composición del material particulado en los mecanismos de compensación de emisiones en el marco del PDA de Andacollo.

Al incorporar estos criterios, se podrán generar incentivos reales para que las empresas privilegien la remoción de relaves mineros ubicados en la zona urbana de Andacollo por sobre otras alternativas de reducción de emisiones, con el consiguiente impacto en la calidad de vida de sus habitantes y en la reducción del riesgo en salud, al gestionar de buena manera un Sitio con Potencial Presencia de Contaminantes.

Al respecto, es necesario diferenciar la composición del polvo resuspendido por actividades mineras extractivas, principalmente asociada a resuspensión producto del tráfico vehicular, de la composición del material particulado proveniente de relaves mineros que se encuentran al interior de la localidad de Andacollo.

Se ha considerado la alternativa de mejoramiento de relaves mineros existentes, con dos propuestas, las que se presentan a continuación:

- Retiro de relaves
- Fitoestabilización de relaves

Es importante destacar que la primera alternativa presenta un mayor impacto positivo en la calidad de vida, a la vez que deja disponible una superficie urbana que hoy se encuentra inutilizada, lo que implica varios beneficios paisajísticos, sociales, de salud, entre otros.

Método de cálculo para determinar la reducción de emisiones

A continuación, se describe de forma resumida la metodología de estimación de emisiones proveniente de los relaves, metodología presentada en la última edición del AP-42 (Compilación de factores de emisión para contaminación atmosférica) (en adelante, “AP-42”) de la EPA (*Environmental Protection Agency*).

$$E_{\text{comp}} = E_{\text{pila}} * \text{indicador de relave (fitoe./retiro)}$$

Equivale a:

$$N.A * Fe = E_{\text{comp}} = E_{\text{pila}} * \text{indicador de relave (por alternativa)}$$

Donde:

E_{comp} = Emisiones compensadas

E_{pila} = Emisiones de relave generadas por la acción eólica

Fe = factor de emisión por erosión de material en pila, acopios

Na = Nivel de actividad esto es superficie de relave en hectáreas

Indicador de relave = Indicador que ha sido elaborado en función de la toxicidad de los relaves

I.1 RETIRO DE RELAVES

El retiro de relaves considera la recuperación de un terreno altamente intervenido que en el pasado fue utilizado para la disposición de relaves mineros. La adecuada implementación de esta medida contribuirá a proteger la salud de la población y el medio ambiente, al reducir las vías de exposición a los metales contenidos en los desechos mineros masivos y eliminar un “pasivo ambiental”.

El proyecto de retiro de relaves debe considerar al menos las siguientes actividades:

- Actividades asociadas al levantamiento de información relevante del relave;
- Actividades asociadas al retiro de los relaves y la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros; y,
- Actividades asociadas al transporte y acopio/procesamiento final de los relaves extraídos.

A continuación se presenta el indicador para retiro de relave:

Tabla 1: Indicador de relave/retiro (identificación de acuerdo a informe Cenma 2010¹)

Identificación	Indicador Promedio Relave por toxicidad	Indicador Retiro de Relave
Sitio 2	12,8	12,8
Sitio 13	11,5	11,5
Sitio 10	9,9	9,9
Sitio 11	6,8	6,8
Sitio 6	6,7	6,7
Sitio 4	5,4	5,4
Sitio 7	5,4	5,4
Sitio 3	5,3	5,3
Sitio 1	4,7	4,7
Sitio 8	4,0	4,0
Sitio 18	3,7	3,7
Sitio 5	1,1	1,1
Sitio 9	1,0	1,0

¹ MMA, 2016. Banco Alternativas de Compensación de Emisiones de MP10 en el polígono de la zona saturada de Andacollo. Licitación N° 612228-2-LE16.

El Anexo N° 1 “Metodología compensación con relave” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación con retiro de relave.

I.II FITOESTABILIZACIÓN DE RELAVES

La fitoestabilización constituye una técnica para la estabilización de los depósitos de relaves mineros abandonados. Esta tecnología se define como el uso de especies vegetales, de preferencia, nativas y endémicas, tolerantes a metales (metalófitas) y de acondicionadores de sustrato adecuados para estabilizar física, química y biológicamente suelos contaminados con metales y desechos mineros masivos que aún contienen metales, como los relaves. El objetivo último de la fitoestabilización es controlar o mitigar los posibles riesgos ambientales que los metales contenidos en el sustrato de interés pueden imponer en el medio ambiente, a través de una disminución en su biodisponibilidad; o sea, la eliminación de las vías de exposición.

El proyecto de Fitoestabilización al menos debe incluir tres aspectos fundamentales para su implementación:

- Que las especies puedan tolerar las altas concentraciones de metales del sustrato y que acumulen los metales en las raíces o tejidos subterráneos.
- Que las especies estén adaptadas al clima local y sean inocuas para el medio ambiente. Usar de preferencia especies nativas y endémicas, es decir propias del área biogeográfica donde está emplazado el depósito de relaves o el sustrato de interés de fitoestabilizar.
- Que las especies permanecerán posteriormente en el tiempo sin ningún manejo adicional.

A continuación, se presenta el indicador para retiro de relave:

Tabla N° 2: Indicador de relave/fitoestabilización (identificación de acuerdo a informe Cenma 2010²)

Identificación	Indicador Promedio Relave por toxicidad	Indicador fito estabilización
Sitio 2	12,8	6,4
Sitio 13	11,5	5,7
Sitio 10	9,9	5,0
Sitio 11	6,8	3,4
Sitio 6	6,7	3,4
Sitio 4	5,4	2,7
Sitio 7	5,4	2,7
Sitio 3	5,3	2,7
Sitio 1	4,7	2,4
Sitio 8	4,0	2,0
Sitio 18	3,7	1,9
Sitio 5	1,1	1,1
Sitio 9	1,0	1,0

Fuente: Estudio MMA, 2016.³

El Anexo N° 1 “Metodología Compensación con Relave” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación con fitoestabilización.

² Ibidem.

³ MMA, 2016. Banco Alternativas de Compensación de Emisiones de MP10 en el polígono de la zona saturada de Andacollo. Licitación N° 612228-2-LE16.

II.- COMPENSACIÓN EN GESTIÓN DE CALLES.

A continuación, se presentan las alternativas referentes a la gestión del material particulado en las calles de la zona saturada, en especial enfocado a Pavimentación; estabilización de caminos no pavimentados; y aspirado y lavado de calles.

II.I PAVIMENTACIÓN

La pavimentación es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, ya que la estabilización de los caminos no pavimentados mediante la pavimentación permite una reducción de emisión significativa.

La circulación de vehículos por caminos no pavimentados es una de las fuentes principales de generación de polvo resuspendido.

Método de cálculo

La emisión a compensar es el resultado de la diferencia de las emisiones del tramo (distancia) de una calle sin pavimentar y el mismo tramo de la calle pavimentada

A continuación, se presenta la fórmula de cálculo:

$E_{comp} = E_{sin\ pav} - E_{con\ pav}$, equivale a:

$$Distancia * (FE_{sin\ pav} * NA - FE_{con\ pav} * NA) = E_{comp}$$

Donde

E_{comp}	=	Emisiones compensadas
$E_{sin\ pav}$	=	Emisiones de camino no pavimentado
$E_{con\ pav}$	=	Emisiones de camino pavimentado
FE	=	Factor de emisión
NA	=	Nivel de actividad
$Distancia$	=	distancia que será pavimentada del camino

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar dos aspectos metodológicos: Nivel de Actividad y los Factores de Emisión a utilizar.

El Anexo N° 2 “Metodología Compensación con Pavimentación” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

II.II ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

La estabilización de caminos con supresor de polvo es una alternativa que busca minimizar las emisiones de material particulado (polvo resuspendido) generadas por la circulación de vehículos por caminos no pavimentados, aplicando un producto supresor de polvo en los caminos no pavimentados, lo que debe permitir una reducción de al menos un 80% del polvo resuspendido.

La circulación de vehículos por caminos no pavimentados es una de las fuentes principales de generación de polvo resuspendido.

Método de cálculo

La emisión a compensar es el resultado de la eficiencia del supresor del polvo aplicado en un tramo de un camino sin pavimentar.

A continuación se presenta la fórmula de cálculo:

$$E_{comp} = E_{sin\ pav} * (1 - \% \text{ de abatimiento y/o eficiencia})$$

equivale a:

$$FE_{sin\ pav} * NA * (1 - \% \text{ de abatimiento y/o eficiencia}) = E_{comp}$$

Donde

E_{comp} =	Emisiones compensadas
E_{sin pav} =	Emisiones de camino no pavimentado
E_{con pav} =	Emisiones de camino pavimentado
FE =	Factor de emisión
NA =	Nivel de actividad

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar tres aspectos metodológicos: Porcentaje de Abatimiento/Eficiencia del Supresor de Polvo, el Nivel de Actividad y los Factores de Emisión a utilizar.

Porcentaje de Abatimiento del Supresor de Polvo:

Se considerará que la eficiencia de la medida de estabilización de caminos corresponde a la eficiencia que señala el proveedor del producto que se utilice para estabilizar, en la medida que se utilice en la forma por él señalada. Independiente de lo anterior, no se reconocerán eficiencias a menos que el titular presente un “Programa de Aplicación Producto Supresor de Polvo”.

Se recomienda considerar las recomendaciones del protocolo “Generic Verification Protocol For Dust Suppression And Soil Stabilization Product”, elaborado por Centro de Verificación de Tecnología para el Control de la Contaminación del Aire (APCT Verification Center) y el Centro de Evaluación de Tecnología Ambiental (EvTEC), en conjunto con el Centro de Evaluación de Tecnología Innovadora de Carreteras (HITEC) perteneciente al Centro de Innovación de la Fundación de Investigación de Ingeniería Civil (CERF)-EPA, para la aplicación del producto supresor de polvo en los caminos no pavimentados.

El Anexo N° 4 “Metodología Compensación con Estabilización de Caminos” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

II.III ASPIRADO y LAVADO DE CALLES

El aspirado y lavado de calle es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, ya que significa la reducción en los contenidos de polvo fino, producto del paso de un camión de limpieza de forma frecuente por las calles sucias.

Método de cálculo para determinar la reducción de emisiones

El estudio realizado por el DICTUC el año 2006 denominado «Control y Fiscalización del Servicio “Limpieza de Calles Período 2003-2007”» para la Región Metropolitana de Santiago realiza una investigación respecto de cómo evaluar el impacto de este tipo de programas en la calidad del aire, indica que la metodología más utilizada a nivel mundial es la medición de los contenidos de polvo fino (silt) antes y después de la pasada de los camiones. Posteriormente, se introduce la reducción del contenido de silt en la fórmula para calcular emisiones (emisiones producto del tránsito de vehículos por una calle) y estiman las nuevas emisiones. El estudio indica que se ha utilizado una eficiencia de literatura que recomienda un 12% de reducción de contenidos de fino producto del paso de los camiones. Representan menos del 1%.

Se propone utilizar una eficiencia mayor equivalente a un 40%, recomendada por la literatura para tecnologías de punta.

La emisión diaria generada en la calle por el flujo de vehículos se determina mediante la siguiente fórmula:

Emisión diaria

$$E_d = F_e * F * L$$

Donde,

E_d : tasa de emisión diaria por tramo [g/día].

F_e : factor de emisión de partículas por calles pavimentadas [g/vehículo-km].

F : flujo vehicular diario [vehículos/día].

L : longitud del tramo [km].

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar dos aspectos metodológicos: Nivel de Actividad (que corresponde al flujo vehicular diario) y el Factor de Emisión a utilizar.

Para la correcta ejecución de la medida se proponen los siguientes puntos a considerar, junto con su implementación:

- Diseñar y Ejecutar un Programa de Fiscalización de las rutas. Esto contempla los siguientes elementos:
 - Seguimiento 100% con sistema GPS
 - Inspección del tipo muestral en terreno (camionetas)
 - Inspección técnica de camiones
- Evaluar con dicha metodología el impacto del Programa, Estimando el impacto (efectividad del Programa actual) sobre la base del número de pasadas (por semana, kilometraje limpiado, velocidad de los camiones, factor de emisión antes del paso del camión de aspirado de calle, factor de emisión después del paso del camión de aspirado de calle, etc.)
- Generar reportes diarios/semanales/mensuales/finales. Disponer de un sistema de registro, almacenamiento y reporte de los datos relevantes del Programa. Generar indicadores de seguimiento.
- Generar conclusiones respecto del impacto real del Programa y de las mejoras implementadas. Proponer mejoras y recomendaciones adicionales que permitan seguir mejorando el desempeño de este Programa.

El Anexo N° 3 “Metodología Compensación con Aspirado de Calle” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

III.- COMPENSACIÓN POR CREACIÓN Y MANTENCIÓN DE ÁREAS VERDES.

En el presente punto, se entrega como alternativas de compensación la creación y mantención de áreas verdes en espacios públicos; y con eco envolventes vegetales.

III.I CREACIÓN Y MANTENCIÓN DE ÁREAS VERDES EN ESPACIOS PÚBLICOS.

La Forestación es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, mediante metodologías para reforestaciones rurales, urbanas y arbolado en parques, vía pública entre otros.

Método de cálculo

La emisión a compensar es el resultado de la forestación de un área determinada mediante un factor de captura que se traduce en la cantidad de toneladas de MP-resuspendido que captura una cantidad de hectáreas con forestación.

Factor de captura FC MP₁₀ (Establecida en la SEREMI MMA IV Región)
0,5 ha captura de 1 ton/año de MP₁₀
Esta relación establece que por cada 0,5 hectáreas de forestación se captura una tonelada de MP ₁₀ resuspendido

Determinación de la superficie a forestar

Conforme a lo indicado por el factor de captura de la región, para la compensación de material particulado se debe calcular la superficie del área verde según la siguiente ecuación:

Superficie (há) a forestar = FC MP₁₀ x E MP₁₀

Donde:

FC MP₁₀= Factor de captación de material particulado= 0,5 há/tonMP10

E MP₁₀= Emisión de MP₁₀ del proyecto, (ton MP₁₀)

El Anexo N° 5 “Metodología Compensación con Forestación” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

III.II ECO ENVOLVENTES VEGETALES

La utilización de la vegetación en construcciones, como elementos funcionales mediante su incorporación en las edificaciones (techos, terrazas, fachadas y muros verdes), aportan grandes ventajas ambientales, ya que actúa como “filtro verde, fija gases contaminantes y material particulado”⁴; por lo tanto, es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido.

Método de cálculo

La emisión a compensar es el resultado de la aplicación de cubiertas vegetales en un área determinada de una construcción mediante un factor de captura:

Factor de captura actual
Establecida en la SEREMI MMA IV región
1m² captura de 1,5 Kg/año de MP₁₀
Esta relación establece que por cada 1 metro cuadrado de eco envolvente vegetal se captura un 1,5 kg/año de MP ₁₀ resuspendido

Determinación de la superficie a forestar

Conforme a lo indicado por el factor de captura de la región, para la compensación de material particulado se debe calcular la superficie del área verde según la siguiente ecuación:

$$\text{Área (m}^2\text{) a forestar} = \text{FC MP}_{10} \times \text{E MP}_{10}$$

Donde:

FC MP₁₀= Factor de captación de material particulado.

E MP₁₀= Emisión de MP₁₀ del proyecto, (ton MP₁₀)

El Anexo N° 6 “Metodología Compensación con Eco Envoltentes Vegetales” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

IV.- COMPENSACIÓN POR CREACIÓN Y MANTENCIÓN DE UN CORREDOR VERDE ENTRE EL ÁREA URBANA Y LAS COMPAÑÍAS MINERAS.

En el presente punto, se entrega como alternativa de compensación la creación y mantención de un corredor verde entre el área urbana y las compañías mineras.

La Forestación es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, mediante metodologías para reforestaciones rurales, urbanas y arbolado.

Método de cálculo

La emisión a compensar es el resultado de la forestación de un área determinada mediante un factor de captura que se traduce en la cantidad de toneladas de MP-resuspendido que captura una cantidad de hectáreas con forestación.

Factor de captura FC MP₁₀ (Establecida en la SEREMI MMA IV Región)
0,5 ha captura de 1 ton/año de MP₁₀
Esta relación establece que por cada 0,5 hectáreas de forestación se captura una tonelada de MP ₁₀ resuspendido

4 (Wong & Chen, 2009; Lucket, 2009; Hitchmough & Fieldhouse, 2004), en MMA, 2016

Determinación de la superficie a forestar

Conforme a lo indicado por el factor de captura de la región, para la compensación de material particulado se debe calcular la superficie del área verde según la siguiente ecuación:

$$\text{Superficie (há) a forestar} = \text{FC MP}_{10} \times \text{E MP}_{10}$$

Dónde:

FC MP₁₀= Factor de captación de material particulado= 0,5 há/tonMP₁₀

E MP₁₀= Emisión de MP₁₀ del proyecto, (ton MP₁₀)

El Anexo N° 5 “Metodología Compensación con Forestación” detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

V.- COMPENSACIÓN POR RECAMBIO DE HORNOS DE PANADERÍAS.

A pesar de ser una de las fuentes menores de material particulado, ciertas panaderías del polígono de zona saturada, utilizan leña para su producción. Las cuales en su mayoría presentan la dificultad de que las emisiones de quema de leña radican en el aumento y uso intensivo de artefactos antiguos con altos factores de emisión.

Para generar la alternativa de compensación el titular podrá considerar el recambio de hornos panificadores por aquellos que utilicen combustibles menos contaminantes. Además, podrá considerar la implementación de un sistema simple impactador de material particulado previo a la descarga de humos del ducto del horno de leña correspondiente de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 23 de la “Ordenanza Medio Ambiental Municipal de la comuna de Andacollo” de la Ilustre Municipalidad de Andacollo, para aquellas panaderías que no cuenten con dicha obligación.

VI.- SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AIRE EN LAS FAENAS DE QUEMA DE ORO.

Los titulares que realizan esta actividad y que se encuentren formalizados de acuerdo al D.S. N° 132, de 2002, del Ministerio de Minería, que “Aprueba Reglamento de Seguridad Minera”, podrán considerar la incorporación de sistemas de purificación de aire en las faenas de quema de oro. Este sistema consiste en un extractor de aire, el cual pasa por un recipiente con agua (para recuperar mercurio) y luego por filtros de carbón activado (para eliminar los vapores de ácido nítrico).

ANEXOS

- METODOLOGÍA N° 1: “COMPENSACIÓN CON RELAVE”
- METODOLOGÍA N° 2: “COMPENSACIÓN CON PAVIMENTACIÓN”
- METODOLOGÍA N° 3: “COMPENSACIÓN CON ASPIRADO DE CALLE”
- METODOLOGÍA N° 4: “COMPENSACIÓN CON ESTABILIZACION DE CAMINOS”
- METODOLOGÍA N° 5: “COMPENSACIÓN CON FORESTACIÓN”.
- METODOLOGÍA N° 6: “COMPENSACIÓN CON ECO ENVOLVENTES VEGETALES”

• METODOLOGÍA N° 1: “COMPENSACIÓN CON RELAVE”

Se ha seleccionado la alternativa remoción/estabilización de relaves como mecanismo de compensación de emisiones de MP₁₀. Lo anterior, requiere la definición de criterios para incorporar la composición del material particulado en los mecanismos de compensación de emisiones en el marco del PDA de Andacollo.

Al incorporar estos criterios, se podrán generar incentivos reales para que las empresas mineras privilegien la remoción de relaves mineros ubicados en la zona urbana de Andacollo por sobre otras alternativas de reducción de emisiones, con el consiguiente impacto en la calidad de vida de sus habitantes y en la reducción del riesgo en salud.

En este caso, interesa poder diferenciar la composición del polvo resuspendido por actividades mineras extractivas, principalmente asociada a resuspensión producto del tráfico vehicular, de la composición del material particulado proveniente de relaves mineros que se encuentran al interior de la localidad de Andacollo.

Para elaborar esta propuesta se han utilizado los resultados del estudio “Evaluación de riesgos a la salud en la comuna de Andacollo” Informe Final 2011⁵ (en adelante, el “Estudio”). La evaluación de riesgo utilizada en el estudio consiste en cuatro fases: 1. La caracterización del peligro presentado por la contaminación; 2. La caracterización de la exposición humana; 3. La caracterización de la toxicidad de los contaminantes; y, 4. La caracterización del riesgo en la salud.

Para efectos de la presente propuesta, sólo se utilizarán los antecedentes relacionados con la caracterización de los sitios contaminados (relaves). En el estudio se han caracterizado los niveles de base para las sustancias de interés y los niveles presentes en los relaves, según se indica en la tabla siguiente:

Tabla N° 3: Concentración de metales pesados (95% NSC) en la superficie de los acopios de material sólido superficiales no consolidado en Andacollo.

95% NSC del promedio - valores del contaminante en Superficie									
Identificación	Hg	As	Cd	Pb	Cr	Fe	Cu	Mn	Zn
Sitio 1	4,832	4,950	13,50	5,500	22,50	27062	982,9	554,2	126,2
Sitio 2	13,07	32,13	13,50	46,23	57,43	65987	1179	1591	1159
Sitio 3	5,016	21,52	20,52	93,85	88,97	65555	1459	1696	210,1
Sitio 4	3,761	26,24	25,44	50,55	98,11	55432	7160	986,6	978,4
Sitio 5	0,617	2,500	20,30	9,373	32,66	48629	1578	389,4	50,61
Sitio 6	7,784	20,37	13,50	37,98	36,33	39952	3970	823,7	161,5
Sitio 7	7,815	19,66	16,17	31,17	31,58	41586	3465	1144	100,10
Sitio 8	2,859	17,46	13,50	38,59	37,88	44280	1810	713,6	413,9
Sitio 9	0,647	4,944	24,08	11,28	22,5	22036	3904	266,5	33,18
Sitio 10	9,005	20,95	18,68	44,68	83,55	68540	723	1838	2177
Sitio 11	12,03	3,506	17,29	10,19	30,47	32559	2178	462,6	44,25
Sitio 13	7,968	64,68	17,09	158,8	128,8	55960	1358	2462	1759
Sitio 18	3,352	24,93	28,69	46,03	107,8	53976	2814	1543	161,2
Valor base	0,385	10,50	13,50	11,38	78,68	57270	640,5	1922	115,2
LD (mg/Kg)	0,002	5,00	27,0	11,0	45,0	17,0	6,0	20,0	5,0

(1) Las celdas coloreadas corresponden a conjuntos en que todos los datos fueron reportados como “<LD”.

(2) Para sitios Valor base, 2 y 10 se calculó el promedio aritmético debido al limitado número de muestras.

El estudio también realizó un análisis de los niveles de base (background) de estas mismas sustancias en los suelos de la localidad. Asimismo, se tomaron muestras de suelo superficial en cuatro puntos, alejados de la influencia antropogénica (actividad minera / actividad de Andacollo). Las muestras fueron procesadas de la misma forma que las obtenidas en los relaves y analizadas para determinar las concentraciones de metales presentes en las mismas. El valor promedio de los cuatro puntos corresponde al “Valor Base” presentado en la tabla anterior.

En la Tabla N° 2 se presenta un análisis de los metales caracterizados en cada sitio. Para esto, se ha calculado la relación entre las concentraciones de los relaves y las concentraciones de base (cociente). Se destacan en amarillo, aquellos metales que presentan mayores concentraciones en los relaves, respecto del valor base. Se ha dejado fuera el cobre para concentrarse en los metales que representan mayores niveles de toxicidad.

Tabla N° 4: Cociente entre concentraciones medidas en relaves respecto de valor base (concentración relave/concentración base)

Identificación	Hg	As	Cd	Pb	Cr	Fe	Cu	Mn	Zn
Sitio 1	12,6	0,5				0,5	1,5	0,3	1,1
Sitio 2	33,9	3,1		4,1	0,7	1,2	1,8	0,8	10,1

⁵ CENMA, 2011. Evaluación de riesgos a la salud en la comuna de Andacollo. Documento parte del Proyecto “evaluación de riesgos para la salud en asentamientos humanos próximos a sitios de minería metálica”, correspondiente al código 7.11. Convenio CENMA-CONAMA 2011.

Sitio 3	13,0	2,0	1,5	8,2	1,1	1,1	2,3	0,9	1,8
Sitio 4	9,8	2,5	1,9	4,4	1,2	1,0	11,2	0,5	8,5
Sitio 5	1,6		1,5	0,8	0,4	0,8	2,5	0,2	0,0
Sitio 6	20,2	1,9		3,3	0,5	0,7	6,2	0,4	1,4
Sitio 7	20,3	1,9	1,2	2,7	0,4	0,7	5,4	0,6	0,9
Sitio 8	7,4	1,7		3,4	0,5	0,8	2,8	0,4	3,6
Sitio 9	1,7	0,5	1,8	1,0		0,4	6,1	0,1	0,3
Sitio 10	23,4	2,0	1,4	3,9	1,1	1,2	1,1	1,0	18,9
Sitio 11	31,2	0,3	1,3	0,9	0,4	0,6	3,4	0,2	0,4
Sitio 13	20,7	6,2	1,3	14,0	1,6	1,0	2,1	1,3	15,3
Sitio 18	8,7	2,4	2,1	4,0	1,4	0,9	4,4	0,8	1,4
Promedio	15,7	2,1	1,5	4,2	0,8	0,8	3,9	0,6	4,9

Fuente: Estudio MMA, 2016.

Método de cálculo

Determinación del indicador para remediación/retiro de relave

Considerando los antecedentes disponibles, la propuesta se basa en los siguientes criterios:

- La composición del polvo resuspendido por actividades mineras presenta concentraciones de metales equivalentes al “Valor Base” estimado para la localidad de Andacollo.
- Se eliminan del análisis todos los valores que están por debajo de los límites de detección.
- Se consideran los metales cuyos niveles superan los valores base, con excepción del cobre.
- Se utiliza el promedio de los cocientes de los metales: Hg, As, Cd, Pb y Zn, como un indicador del número de veces que los metales de interés superan el valor base.

El resultado de aplicar este criterio es el siguiente, ordenando los sitios en forma decreciente por el nivel de presencia de sustancias tóxicas. Se puede observar que el indicador permite priorizar los sitios a remediar, porque los que aparecen en primer lugar presentan altos niveles de todos los metales.

Tabla N° 5: Cálculo del indicador

Identificación	Hg	As	Cd	Pb	Zn	Indicador Promedio
Sitio 2	33,9	3,1		4,1	10,1	12,8
Sitio 13	20,7	6,2	1,3	14,0	15,3	11,5
Sitio 10	23,4	2,0	1,4	3,9	18,9	9,9
Sitio 11	31,2	0,3	1,3	0,9	0,4	6,8
Sitio 6	20,2	1,9		3,3	1,4	6,7
Sitio 4	9,8	2,5	1,9	4,4	8,5	5,4
Sitio 7	20,3	1,9	1,2	2,7	0,9	5,4
SITIO 3	13,0	2,0	1,5	8,2	1,8	5,3
Sitio 1	12,6	0,5			1,1	4,7
Sitio 8	7,4	1,7		3,4	3,6	4,0
Sitio 18	8,7	2,4	2,1	4,0	1,4	3,7
Sitio 5	1,6		1,5	0,8	0,4	1,1
Sitio 9	1,7	0,5	1,8	1,0	0,3	1,0

Fuente: CENMA, 2010.

A continuación, se presenta una tabla resumen con el factor denominado “indicador relave” cuya finalidad es incorporar la composición del material particulado en los mecanismos de compensación de emisiones en el marco del PDA de Andacollo.

Adicionalmente, este indicador permite priorizar entre todos los sitios al momento de remediar, seleccionando en primera instancia aquellos que presentan mayor presencia de metales, y que se encuentran en concentraciones que superan ampliamente los niveles de base, como el Hg y Pb.

Tabla N° 6: Cálculo del indicador de relave

Identificación	Indicador Promedio relave
Sitio 2	12,8
Sitio 13	11,5
Sitio 10	9,9
Sitio 11	6,8
Sitio 6	6,7
Sitio 4	5,4
Sitio 7	5,4
Sitio 3	5,3
Sitio 1	4,7
Sitio 8	4,0
Sitio 18	3,7
Sitio 5	1,1
Sitio 9	1,0

Fuente: Estudio MMA, 2016.

Método de cálculo de las emisiones

A continuación, se describe de forma resumida la metodología de estimación de emisiones proveniente de los relaves abandonados, metodología presentada en la última edición del AP-42.

$$E_{comp} = E_{pila} * \text{indicador de relave (fitoe./retiro)}$$

Equivale a:

$$N.A * Fe = E_{comp} = E_{pila} * \text{indicador de relave (ver tabla 5)}$$

Donde

- E_{comp} = Emisiones compensadas
- E_{pila} = Emisiones de relave generadas por la acción eólica
- Fe = factor de emisión por erosión de material en pila, acopios
- Na = Nivel de actividad esto es superficie de relave en hectáreas
- Indicador de relave** = Indicador presentado en la tabla 5

Para evaluar la alternativa de compensación por retiro de relave el titular debe considerar dos aspectos metodológicos: Nivel de Actividad y los Factores de Emisión a utilizar.

Nivel de Actividad

El nivel de actividad corresponde la superficie que ocupa en relave. Se debe determinar en la unidad de hectáreas.

Factores de Emisión:

Erosión de material en pila, acopios	$fe = 1,9 \times \frac{s}{1,5} \times \frac{f}{15}$ (kg/ha)	s: contenido de fino del material (%). [8,5 valor por defecto]
		f: porcentaje del tiempo en el que el viento excede los 5,4 m/s.
	Fuente: Industria del Árido en Chile, Tomo I, Sistematización de Antecedentes Técnicos y Ambientales, 2001	Descripción: Corresponde al factor de emisión para acopio de relaves

Compensación con relaves

Para utilizar la metodología planteada, es necesario considerar dos alternativas de reducción de emisiones con relaves:

- Retiro de relaves
- Fitoestabilización de relaves

Adicionalmente, el retiro del relave permite asegurar que el 100% de las emisiones será eliminado en forma permanente, lo cual no queda completamente asegurado con la Fito estabilización, cuya efectividad dependerá de la calidad del trabajo realizado y de su mantención permanente en el tiempo.

Por lo anterior, se recomienda que en el caso de la fito estabilización se considere en forma conservadora una efectividad de reducción del 50%.

Adicionalmente, se recomienda que la alternativa de fito estabilizado quede sujeta a la mantención por un periodo de 10 años, como mínimo.

A continuación, se presenta el indicador para cada alternativa:

Tabla N° 7: Indicador de relave

Identificación	Indicador Promedio Relave por toxicidad	Indicador Retiro de Relave ¹	Indicador fito estabilización ²
Sitio 2	12,8	12,8	6,4
Sitio 13	11,5	11,5	5,7
Sitio 10	9,9	9,9	5,0
Sitio 11	6,8	6,8	3,4
Sitio 6	6,7	6,7	3,4
Sitio 4	5,4	5,4	2,7
Sitio 7	5,4	5,4	2,7
Sitio 3	5,3	5,3	2,7
Sitio 1	4,7	4,7	2,4
Sitio 8	4,0	4,0	2,0
Sitio 18	3,7	3,7	1,9
Sitio 5	1,1	1,1	1,1
Sitio 9	1,0	1,0	1,0

Fuente: MMA, 2016.

1: para el retiro de relave se acepta el 100% del factor

2: para la fito estabilización se acepta el 50% del factor

I. Retiro de relaves

El retiro de relaves considera la recuperación de un terreno altamente intervenido que en el pasado fue utilizado para la disposición de relaves mineros. La adecuada implementación de esta medida contribuirá a proteger la salud humana y el medio ambiente, al reducir las vías de exposición a los metales contenidos en los desechos mineros masivos y eliminar un “pasivo ambiental”.

En el proyecto de retiro de relaves debe considerar al menos las siguientes actividades:

- Actividades asociadas al levantamiento de información relevante del relave
- Actividades asociadas al retiro de los relaves y la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros; y
- Actividades asociadas al transporte y acopio/procesamiento final de los relaves extraídos

A continuación, se presentan los contenidos mínimos que se deben ser presentados en el Plan de Compensación:

Contenidos del Plan de Compensación para retiro de relave:

I. Antecedentes del proyecto que compensará:

- Tipo de proyecto
- Localización
- Inversión
- Cálculo de Compensaciones

II. Antecedentes de Proyecto de retiro de relave:

- Cálculos de Superficies (hectáreas del relave a intervenir)
- Descripción de los terrenos donde se compensará
- Plano de ubicación a escala y en coordenadas UTM
- Propiedad de los terrenos (datos de los propietarios)
- Set fotográfico
- Cronograma de implementación

III. Antecedentes de Proyecto de recuperación del suelo:

- Cálculos de Superficies (hectáreas a recuperar una vez retirado el relave)
- Descripción del tipo de recuperación y/o intervención del suelo
- Carta Gantt
- Cronograma de implementación

IV. Otros Antecedentes a Anexar:

- Antecedentes legales que acrediten la factibilidad de utilizar los terrenos (dependiendo de quién sea el propietario)
- Convenios firmados (si existiesen)

II Fitoestabilización de relaves

La fitoestabilización constituye una técnica para la estabilización de los depósitos de relaves mineros abandonados. Esta tecnología se define como el uso de especies vegetales nativas y endémicas tolerantes a metales (metalófitas) y de acondicionadores de sustrato adecuados para estabilizar física, química y biológicamente suelos contaminados con metales y desechos mineros masivos que aún contienen metales, como los relaves. El objetivo último de la fitoestabilización es controlar o mitigar los posibles riesgos ambientales que los metales contenidos en el sustrato de interés pueden imponer en el medio ambiente, a través de una disminución en su biodisponibilidad; o sea, la eliminación de las vías de exposición.

El proyecto de Fitoestabilización al menos debe incluir tres aspectos fundamentales para su implementación:

- Que las especies puedan tolerar las altas concentraciones de metales del sustrato y que acumulen los metales en las raíces o tejidos subterráneos (metalófitas excluyentes).
- El segundo requisito es que las especies estén adaptadas al clima local y sean inocuas para el medio ambiente. Usar especies nativas y endémicas, es decir propias del área biogeográfica donde está emplazado el depósito de relaves o el sustrato de interés de fitoestabilizar.
- Que las especies permanecerán posteriormente en el tiempo sin ningún manejo adicional.

Respecto a las especies vegetales:

Las especies vegetales adecuadas para ser usadas en programas de fitoestabilización de depósitos de relaves deben ser seleccionadas de acuerdo a los siguientes criterios básicos:

- a) El uso posterior o alternativa de rehabilitación elegida entre las posibles para el sitio. Por ejemplo, la recuperación de una formación vegetal similar a la natural presente en el área (rehabilitación ecológica), la creación de un parque de esparcimiento o la plantación de un bosque productivo, entre otras.
- b) Las restricciones climáticas específicas del lugar de emplazamiento del depósito de relaves de interés.
- c) Las restricciones físico-químicas sitioespecíficas de los relaves de interés. Es particularmente importante la capacidad de tolerancia de las plantas seleccionadas a los altos contenidos de metales presentes en los relaves y restricciones físico-químicas.
- d) Las especies elegidas deben asegurar la cobertura vegetal del área del relave, es decir el prendimiento de las especies seleccionadas debe tener una distancia mínima para la cobertura del relave. Como ejemplo, especies del tipo "rastreras", deben tener una distancia entre especie de 50 cm a un metro de distancia entre ellas.

Contenidos del Plan de Compensación con fitoestabilización:

I. Antecedentes del Proyecto que compensará:

- Tipo de proyecto
- Localización
- Inversión
- Calculo de Compensaciones
- Otros que se estime pertinente.

II. Antecedentes de Proyecto de Arborización:

- Cálculos de Superficies
- Descripción de los terrenos donde se compensará
- Características de suelo
- Plano de ubicación a escala y en coordenadas UTM
- Propiedad de los terrenos (datos de los propietarios)
- Set fotográfico

III. Características de las especies arbóreas propuestas y existentes:

- Plano de distribución de especies (que asegure la cobertura presentada para el relave)
- Preparación del suelo
- Proyecto de regadío
- Programa de construcción: descripción y carta Gantt
- Programa de mantención: descripción (riego, podas, fertilizaciones, podas, etc) y carta Gantt
- Programa de monitoreo, que incluya inspecciones visuales periódicas y de evaluaciones cuantitativas temporales de distintos parámetros del sistema fitoestabilizado, tales como cobertura, sobrevivencia, crecimiento y parámetros hidrológicos

IV. Otros Antecedentes a Anexar

- Antecedentes legales que acrediten la factibilidad de utilizar los terrenos (dependiendo de quién sea el propietario)
 - Carta compromiso de mantención (por parte del Titular u otro organismo que sea el responsable)
 - Acreditar como se resguardará la seguridad del sector para evitar hurtos o daños por terceros.
 - Convenios firmados (si es que existiesen)
-

METODOLOGÍA N° 2 “COMPENSACIÓN CON PAVIMENTACIÓN”

La pavimentación de caminos es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, ya que la estabilización de los caminos no pavimentados mediante la pavimentación permite una reducción de emisión significativa.

La circulación de vehículos por caminos no pavimentados es una de las fuentes principales de generación de polvo resuspendido.

Método de cálculo

La emisión compensar es el resultado de la diferencia de las emisiones del tramo (distancia) de una calle sin pavimentar y el mismo tramo de la calle pavimentada

A continuación se presenta la fórmula de cálculo:

$$E_{comp} = E_{sin\ pav} - E_{con\ pav}, \text{ equivale a:}$$

$$D_{distancia} * (FE_{sin\ pav} * NA - FE_{CON\ pav} * NA) = E_{comp}$$

Donde

- E_{comp} = Emisiones compensadas
- $E_{sin\ pav}$ = Emisiones de camino no pavimentado
- $E_{con\ pav}$ = Emisiones de camino pavimentado
- FE= Factor de emisión
- NA=Nivel de actividad
- $D_{distancia}$ = distancia que será pavimentada del camino

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar dos aspectos metodológicos: Nivel de Actividad y los Factores de Emisión a utilizar.

Nivel de Actividad

Una vez que se ha seleccionado una calle (sin pavimentar) se debe determinar la intensidad de uso de la calle, esto es el flujo de tránsito de la calle afecta a ser pavimentada generando un valor de Tránsito Medio Diario Anual (“TMDA”).

Para obtener el TMDA se pueden realizar mediciones en terreno de los volúmenes vehiculares de forma periódica y continúa durante todo un día (07:00 – 22:00 hrs.), organizados en intervalos, comprendiendo así la totalidad del flujo vehicular por movimiento, considerando las direcciones de tránsito.

Para la medición se considera la siguiente tipología de vehículos:

- Vehículos livianos (autos, taxis particulares, camionetas)
- Taxis colectivos
- Microbuses
- Buses
- Camiones de dos ejes
- Camiones de más de dos ejes

Realizadas las mediciones u obtenidas de informes oficiales por un servicio con competencia (SEREMI de Transporte y Telecomunicaciones), se debe calcular el peso ponderado de la flota según el porcentaje de participación por cada tipología de vehículos.

A continuación se presenta un esquema con la información tipo de calle integrada:

Tabla N° 8 Tabla de registro vehicular “tipo”

Tipo de Vehículo	Flujo promedio (veh/día), escenario base, sin pavimentar	Flujo promedio (veh/día), escenario con compensación (¹)	Peso (ton)
Vehículos livianos			
Camiones 2 ejes			
Camiones + 2 ejes			
Buses			

Total			
-------	--	--	--

(1) Se considera un incremento en el flujo en la situación con pavimentación

Para el caso del escenario donde la calle se ha pavimentado, se asume un flujo equivalente al TMDA más un incremento del 5%, producto del mayor atractivo de la ruta, debido a su nuevo estado.

Factores de emisión

Para la estimación de emisiones se utiliza la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) contenidas en su publicación AP42 versión electrónica, que es la que ha sido utilizada en la confección de todos los inventarios nacionales y que se encuentra en la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios” de la SEREMI MMA de la Región Metropolitana de Santiago.

Se utilizarán dos ecuaciones para determinar las emisiones de las calles no pavimentadas y pavimentadas, estas corresponden a:

- Ecuación para calle no pavimentada producto de la circulación de vehículos pesados en caminos no pavimentados
- Ecuación para calle pavimentada producto de la circulación de vehículos en caminos pavimentados

A continuación se presentan las fórmulas para cada ecuación:

Ecuación Factor de Emisión Para Calle No Pavimentada ($FE_{sin\ pav}$).

Resuspensión de MP10 por circulación de vehículos pesados en caminos no pavimentados	$fe = 281,9 \times 1,5 \times \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{0,45}$	(g/km)	s: % de finos del suelo. [5,8 valor por defecto en la SEREMI IV Región] W: Peso promedio de la flota que circula por las vías (ton)
	<p>Fuente: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42: Chapter 13, Section 13.2.2 “Unpaved Roads”.</p> <p>Descripción: Corresponde al factor de emisión de tránsito por caminos no pavimentados determinado para sitios industriales. La unidad de este factor de emisión es gramos de MP10 emitidos por kilómetro recorrido</p> <p>Notas: Dadas las características de la flota utilizada en la determinación de este factor de emisión, su aplicación se reconoce válida para una flota de vehículos pesados, es decir, cuyo peso promedio exceda las 2,7 toneladas métricas.</p> <p>El titular deberá proveer el peso promedio de la flota que circula por las vías relevantes. En caso de no hacerlo, el peso promedio por defecto será el peso promedio de la flota generada por la actividad del proyecto.</p> <p>Contenido de % de finos del suelo – valor por defecto 5,8%</p> <p>Valor usado por el estudio “DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AIRE Y MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN, ANDACOLLO” 2011.</p>		

Fuente: “AP-42, EPA”, MMA 2016.

Ecuación B: Factor de Emisión para calle pavimentada (FE_{pav}).

Actividad	Factor de Emisión (fe)	Unidad	Parámetros
Resuspensión de MP por circulación de vehículos en caminos pavimentados	$fe = 0,62 \times (sl)^{0,91} \times W^{1,02}$	(gr/km)	sl: Carga de fino de la superficie, (g/m ²). W: Peso promedio del flujo total de la flota que circula por las vías (Toneladas)

	<p>Fuente: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42: Chapter 13, Section 13.2.1 “Paved Roads”.</p> <p>Descripción: Corresponde al factor de emisión de material particulado resuspendido por tránsito de vehículos por caminos pavimentados. La unidad de este factor de emisión es gramos de MP10 emitidos por kilómetro recorrido.</p> <p>Notas: Es importante señalar que la ecuación requiere el peso promedio de todos los vehículos que circulan en la vía considerada. Más específicamente, la ecuación <u>no está destinada a ser utilizada para calcular el factor de emisión para cada peso de las distintas categorías de vehículos</u>, si no el promedio de los vehículos que circulan.</p> <p>La carga de finos consignada corresponde a los valores utilizados por el estudio “DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AIRE Y MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN, ANDACOLLO” 2011.</p> <p>4,23 – para vías con flujo inferior a 500 vehículos día.</p> <p>0,96 – para vías con flujo entre 500 y 10.000 vehículos día.</p> <p>El titular deberá proveer el valor de peso promedio de la flota relevante para el proyecto. En caso de no hacerlo, el peso promedio por defecto se establece en 2,6 toneladas.</p>

Fuente: “AP-42, EPA”, en MMA 2016

A continuación, se presenta un resumen de la información de cálculo que se debe presentar para determinar las emisiones compensadas con la pavimentación:

Tabla N° 9: Esquema de determinación de los cálculos de compensación:

Emisiones a Compensar (ton/año)	
Flujo veh. día	
Peso Flota (kg)	
Días al año	

Tabla N° 10: Resuspensión MP₁₀ por circulación vehículos pesados en caminos no pavimentados:

Resuspensión de MP ₁₀ por circulación de vehículos pesados en caminos no pavimentados	
s: % de finos del suelo.	
Peso Flota w (ton)	
FE (g/km)	
Número de viajes (año)	
distancia (km)	
Emisión (ton/año)	

Fuente: MMA, 2016.

Tabla N° 11: Resuspensión de MP₁₀ por circulación de vehículos en caminos pavimentados

Resuspensión de MP ₁₀ por circulación de vehículos en caminos pavimentados	
Factor de Emisión (gr/km.)	
Carga finos de la superficie (g/m ²) Flujo	
Peso promedio de la flota (W)	
Distancia (km)	

Número de viajes (año)	
Emisión Total (ton/año)	

Fuente: MMA, 2016.

Contenidos del Plan de Compensación de Pavimentación:

Los contenidos mínimos que se deben incluir en el documento denominado Plan de Compensación de Emisiones son:

I. Antecedentes del Proyecto que compensará:

- Tipo de proyecto
- Localización
- Inversión
- Cálculo de Compensaciones
- Otros que se estime pertinente.

II. Descripción de la alternativa seleccionada:

- Localización de Calle a pavimentar (georreferenciada con coordenadas UTM)
- Longitud de tramo a pavimentar
- Nivel de actividad (la intensidad de uso, esto es el flujo de tránsito de la calle afecta a ser pavimentada generando un valor de TMDA (Tránsito medio Diario Anual))
- Factor de Emisión
- Características de pavimentación (se refiere a los estándares requeridos por el SERVIU para el tipo de calle que corresponde la calle evaluada)
- Cronograma de implementación de la medida

III. Otros antecedentes:

- El titular deberá presentar a la SEREMI MMA Región de Coquimbo los antecedentes que permitan asegurar que el tramo de camino a pavimentar no van a ser pavimentadas dentro de algún Programa Municipal o del Estado de igual manera, ya que debe cumplir la adicionalidad, entendiendo por tal que la medida propuesta no responda a otras obligaciones a que esté sujeto quien genera la rebaja, o bien, que no corresponda a una acción que se iba a realizar de todas maneras. Para lo cual debe presentar Carta u Oficio de la Autoridad competente donde quede establecido que la calle no se iba a pavimentar.

• METODOLOGÍA N° 3 “COMPENSACIÓN CON ASPIRADO DE CALLE”

El aspirado de calle es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, ya que significa la reducción en los contenidos de polvo fino, producto del paso de un camión de limpieza en forma frecuente en calles sucias.

Método de cálculo

El estudio realizado por el DICTUC el año 2006 denominado “Control y Fiscalización del Servicio” “Limpieza de Calles Período 2003-2007” para la Región Metropolitana de Santiago realiza una investigación respecto de cómo evaluar el impacto de este tipo de programas en la calidad del aire. Dicho estudio indica que la metodología más utilizada a nivel mundial es la medición de los contenidos de polvo fino (silt) antes y después de la pasada de los camiones. Posteriormente, se introduce la reducción del contenido de silt en la fórmula para calcular emisiones (emisiones producto del tránsito de vehículos por una calle) y se estiman las nuevas emisiones.

Lamentablemente, esta metodología no siempre reporta reducciones significativas en los contenidos de polvo fino, porque producto de la limpieza frecuente de las calles, los contenidos de fino son tan bajos que la pasada de los camiones tiene un impacto difícil de medir. Una metodología como esta permite estimar reducciones en forma más consistente si se evalúa el paso de un camión de limpieza por una calle muy sucia.

El estudio indica que se ha utilizado una eficiencia de literatura que recomienda un 12% de reducción de contenidos de fino producto del paso de los camiones. Representan menos del 1%.

El estudio propone utilizar una eficiencia mayor equivalente a un 40%, recomendada por la literatura para tecnologías de punta.

A continuación, se describe de forma resumida la metodología de estimación de emisiones proveniente de la resuspensión de material particulado sobre calles pavimentadas, metodología presentada en la última edición del AP-42.

Determinación de la emisión diaria

La emisión diaria generada en la calle por el flujo de vehículos se determina mediante la siguiente fórmula:

Emisión diaria

$$Ed = Fe * F * L$$

Donde,

Ed : tasa de emisión diaria por tramo [g/día].

Fe : factor de emisión de partículas por calles pavimentadas [g/vehículo-km].

F : flujo vehicular diario [vehículos/día].

L : longitud del tramo [km].

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar dos aspectos metodológicos: Nivel de Actividad (que corresponde al flujo vehicular diario) y el Factor de Emisión a utilizar.

Nivel de Actividad

Una vez que se ha seleccionado una calle (sin pavimentar) se debe determinar la intensidad de uso de la calle, esto es el flujo de tránsito de la calle afecta a ser pavimentada generando un valor de TMDA.

Para obtener el TMDA se pueden realizar mediciones en terreno de los volúmenes vehiculares de forma periódica y continua durante todo un día (07:00 – 22:00 hrs.), organizados en intervalos, comprendiendo así la totalidad del flujo vehicular por movimiento, considerando las direcciones de tránsito.

Para la medición se considera la siguiente tipología de vehículos:

- Vehículos livianos (autos, taxis particulares, camionetas)
- Taxis colectivos
- Microbuses
- Buses
- Camiones de dos ejes
- Camiones de más de dos ejes

Realizadas las mediciones u obtenidas de informes oficiales por un servicio con competencia (Seremi de Transporte), se debe calcular el peso ponderado de la flota según el porcentaje de participación por cada tipología de vehículos.

A continuación se presenta un esquema con la información tipo de calle integrada

Tabla N° 12: Tabla de registro vehicular “tipo”

Tipo de Vehículo	Flujo promedio (veh/día), escenario base	Peso (ton)
Vehículos livianos		
Camiones 2 ejes		
Camiones + 2 ejes		
Buses		
Total		

Fuente: MMA, 2016.

Factor de emisión:

Actividad	Factor de Emisión (fe)	Unidad	Parámetros
Resuspensión de MP por circulación de vehículos en caminos pavimentados	$fe = 0,62 \times (sl)^{0,91} \times W^{1,02}$	(gr/km)	<p>sl: Carga de fino de la superficie, (gr/m²).</p> <p>W: Peso promedio del flujo total de la flota que circula por las vías (Toneladas)</p>
	<p>Fuente: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42: Chapter 13, Section 13.2.1 “Paved Roads”.</p> <p>Descripción: Corresponde al factor de emisión de material particulado resuspendido por tránsito de vehículos por caminos pavimentados. La unidad de este factor de emisión es gramos de MP10 emitidos por kilómetro recorrido.</p> <p>Notas: Es importante señalar que la ecuación requiere el peso promedio de todos los vehículos que circulan en la vía considerada. Más específicamente, la ecuación <u>no está destinada a ser utilizada para calcular el factor de emisión para cada peso de las distintas categorías de vehículos</u>, si no el promedio de los vehículos que circulan.</p> <p>La carga de finos consignada corresponde a los valores utilizados por el estudio “DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AIRE Y MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN, ANDACOLLO” 2010.</p> <p>El titular deberá proveer el valor de peso promedio de la flota relevante para el proyecto. En caso de no hacerlo, el peso promedio por defecto se establece en 2,6 toneladas.</p>		

Respecto al parámetro correspondiente a la carga de sedimentos de material fino de la superficie de los caminos (SL) de la ecuación anterior donde se aplicará el aspirado de calle, se deberán usar los valores establecidos en el estudio “DIAGNOSTICO DE CALIDAD DE AIRE Y MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN, ANDACOLLO”⁶ 2010 que a continuación se presentan:

⁶ CENMA, 2010. Diagnóstico de calidad de aire y medidas de descontaminación, Andacollo. Código BIP 30076363-0.

Tabla N° 13: Resultados Campaña de Silt en calles pavimentadas de Andacollo

ID	Lugar	X	Y	Superficie	SP gr/m ²
CP1	Entrada Dayton (hacia Carmen)	298597	6653867	Cemento	4.2
CP2	Beltrán Amenábar	299378	6654012	Cemento	1.0
CP3	Fuera de cementerio	299590	6653598	Cemento	0.9
CP4	Balmaceda	299797	6653536	Cemento	2.2
CP5	Bellavista	299742	6652548	Cemento	1.0
CP6	Camino Teck	299269	6651831	Cemento	1.1
CP7	Camino Chepiquiña	299306	6652766	Cemento	0.3
CP8	Sixto Valdivia	299834	6652663	Cemento	1.0
CP9	Urmeneta (al llegar a Esmeralda)	299318	6653988	Cemento	1.2
CP10	Sierra (entre Condell/Colón)	299211	6653396	Cemento	0.7

Fuente: CENMA, 2010.

Cálculo para estimar la compensación con aspirado de calle

El plan de compensación debe definir sectores o rutas “sucias” y determinar los kilómetros recorridos. Luego, se calcula la emisión con la situación base y luego con la reducción del contenido del silt (40%) después que ha pasado el camión aspirador.

$$E_{comp} = E_d (\text{sin aspirado}) - E_d (\text{con aspirado})$$

Donde

- E_{comp} = Emisiones compensadas
- $E_d (\text{sin aspirado})$ = Emisiones de camino sin pasada de aspirado con “sl” normal
- $E_d (\text{con aspirado})$ = Emisiones de camino con pasada de aspirado con “sl” reducido al 40%

A continuación, se presenta un resumen de la información de cálculo que se debe presentar para determinar las emisiones compensadas con la pavimentación:

Tabla N° 14: Esquema de determinación de los cálculos de compensación

Emisiones a Compensar (ton/año)	$E_d (\text{sin pasada}) - E_d (\text{con pasada})$
Flujo veh. día	
Peso Flota (kg)	
Días al año	

Tabla N° 15: $E_d (\text{sin aspirado})$ = Emisiones de camino sin pasada de aspirado con “sl” normal

Resuspensión de MP10 por circulación de vehículos pesados en caminos sin aspirado de calle	
Factor de Emisión (gr/km.)	
Peso Flota w (ton)	
SP % de finos del suelo.	Usar valores de la tabla resultados de de la campaña de Silt
Número de viajes (año sin aspirado)	
distancia (km)	
Emisión (ton/año sin aspirado)	

Fuente: MMA, 2016.

Tabla N° 16: Ed (con aspirado)= Emisiones de camino con aspirado con “sl” reducido un 40%

Resuspensión de MP10 por circulación de vehículos en caminos con aspirado	
Factor de Emisión (gr/km.)	
SP: % de finos del suelo.	Carga de finos * 40%
Peso promedio de la flota (W)	
Distancia (km)	
Número de viajes (año con aspirado)	
Emisión Total (ton/año con aspirado)	

Fuente: MMA, 2016

Contenidos del Plan de Compensación con Aspirado de calle

Para la correcta ejecución de la medida se proponen los siguientes puntos a considerar, junto con su implementación:

- Diseñar y Ejecutar un Programa de Fiscalización de las rutas. Esto contempla los siguientes elementos que pueden ser utilizados.
 - Seguimiento 100% con sistema GPS
 - Inspección del tipo muestral en terreno (camionetas)
 - Inspección técnica de camiones
- Evaluar con dicha metodología el impacto del Programa, estimando el impacto (efectividad del Programa actual) sobre la base del número de pasadas (por semana, kilometraje limpiado, velocidad de los camiones, factor de emisión antes del paso del camión de aspirado de calle, factor de emisión después del paso del camión de aspirado de calle, etc.)
- Generar reportes diarios/semanales/mensuales/finales. Disponer de un sistema de registro, almacenamiento y reporte de los datos relevantes del Programa. Generar indicadores de seguimiento.
- Generar conclusiones respecto del impacto real del Programa y de las mejoras implementadas. Proponer mejoras y recomendaciones adicionales que permitan seguir mejorando el desempeño de este Programa.

Los contenidos mínimos que se deben incluir en el documento denominado Plan de Compensación de Emisiones son:

I. Antecedentes del Proyecto que compensará:

- Tipo de proyecto
- Localización
- Inversión
- Calculo de Compensaciones
- Otros que se estime pertinente

II. Descripción de la alternativa seleccionada:

- Localización de Calles para programa de aspirado (georreferenciada con coordenadas UTM)
- Longitud de tramos de aplicación del programa
- Nivel de actividad (la intensidad de uso, esto es el flujo de tránsito de las calles afectadas a ser generando un valor de TMDA (Tránsito medio Diario Anual))
- Factor de Emisión
- Frecuencia de aplicación de la medida
- Cronograma de implementación de la medida

III. Otros antecedentes:

- Programa de Fiscalización de las rutas
- Generar reportes diarios/semanales/mensuales/finales
- Disponer de un sistema de registro, almacenamiento y reporte de los datos relevantes del Programa. Generar indicadores de seguimiento

• METODOLOGÍA N° 4 “COMPENSACIÓN ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS”

La estabilización de caminos con supresor de polvo, es una alternativa que busca minimizar las emisiones de material particulado (polvo resuspendido) generadas por la circulación de vehículos por caminos no pavimentados, aplicando un producto supresor de polvo en los caminos internos y de acceso no pavimentados, lo que permitirá una reducción de al menos un 80% del polvo resuspendido.

La circulación de vehículos por caminos no pavimentados es una de las fuentes principales de generación de polvo resuspendido.

Método de cálculo

La emisión a compensar es el resultado de la eficiencia del supresor del polvo aplicado en un tramo de un camino sin pavimentar.

A continuación, se presenta la fórmula de cálculo:

$$E_{\text{comp}} = E_{\text{sin pav}} * (1 - \% \text{ de abatimiento y/o eficiencia})$$

equivale a:

$$FE_{\text{sin pav}} * NA * (1 - \% \text{ de abatimiento y/o eficiencia}) = E_{\text{comp}}$$

Donde

E_{comp}	=	Emisiones compensadas
$E_{\text{sin pav}}$	=	Emisiones de camino no pavimentado
FE	=	Factor de emisión
NA	=	Nivel de actividad

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar tres aspectos metodológicos: Porcentaje de Abatimiento/Eficiencia del Supresor de Polvo, el Nivel de Actividad y los Factores de Emisión a utilizar.

Porcentaje de Abatimiento del Supresor de Polvo

Se considerará que la eficiencia de la medida de estabilización de caminos corresponde a la eficiencia que señala el proveedor del producto que se utilice para estabilizar, en la medida que se utilice en la forma por él señalada. Independiente de lo anterior, no se reconocerán eficiencias a menos que el titular presente un “Programa de Aplicación Producto Supresor de Polvo”.

Se recomienda considerar las recomendaciones del protocolo “*Generic Verification Protocol For Dust Suppression And Soil Stabilization Product*”, elaborado por Centro de Verificación de Tecnología para el Control de la Contaminación del Aire (APCT Verification Center) y el Centro de Evaluación de Tecnología Ambiental (EvTEC), en conjunto con el Centro de Evaluación de Tecnología Innovadora de Carreteras (HITEC) perteneciente al Centro de Innovación de la Fundación de Investigación de Ingeniería Civil (CERF)-EPA, para la aplicación del producto supresor de polvo en los caminos internos y de acceso no pavimentados.

Nivel de Actividad

Una vez que se ha seleccionado un camino (sin pavimentar) se debe determinar la intensidad de uso de la calle, esto es el flujo de tránsito del camino afecta a ser aplicado un supresor de polvo generando un valor de TMDA.

Para obtener el TMDA se pueden realizar mediciones en terreno de los volúmenes vehiculares de forma periódica y continua durante todo un día (07:00 – 22:00 hrs.), organizados en intervalos, comprendiendo así la totalidad del flujo vehicular por movimiento, consideraron las direcciones de tránsito.

Para la medición se considera la siguiente tipología de vehículos:

- Vehículos livianos (autos, taxis particulares, camionetas)
- Taxis colectivos
- Microbuses
- Buses
- Camiones de dos ejes
- Camiones de más de dos ejes

En caso que solo transiten camiones productos de actividades de transporte de material, es posible solo entregar un flujo de camiones basado en el volumen de material a transportar y las características propias de los camiones a usar (peso, capacidad de tara, entre otros).

Realizadas las mediciones u obtenidas de informes oficiales por un servicio con competencia (Seremi de Transporte), se debe calcular el peso ponderado de la flota según el porcentaje de participación por cada tipología de vehículos.

A continuación, se presenta un esquema con la información tipo de calle integrada:

Tabla N° 17: Tabla de registro vehicular “tipo”

Tipo de Vehículo	Flujo promedio (veh/día), escenario base, sin pavimentar	Peso (ton)
Vehículos livianos		
Camiones 2 ejes		
Camiones + 2 ejes		
Buses		
Total		

Factores de emisión

Para la estimación de emisiones se utiliza la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) contenidas en su publicación AP42 versión electrónica, que es la que ha sido utilizada en la confección de todos los inventarios nacionales y que se encuentra en la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios” de la Seremi MMA de la Región Metropolitana de Santiago.

Se utilizará la ecuación para determinar las emisiones del camino no pavimentado:

Ecuación Factor de Emisión Para Calle No Pavimentada ($FE_{\text{sin pav}}$).

Resuspensión de MP_{10} por circulación de vehículos pesados en caminos no pavimentados	$fe = 281,9 \times 1,5 \times \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{0,45}$	(g/km)	s: % de finos del suelo. [5,8 valor por defecto en la SEREMI IV Región] W: Peso promedio de la flota que circula por las vías (ton)
	<p>Fuente: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42: Chapter 13, Section 13.2.2 “Unpaved Roads”.</p> <p>Descripción: Corresponde al factor de emisión de tránsito por caminos no pavimentados determinado para sitios industriales. La unidad de este factor de emisión es gramos de MP_{10} emitidos por kilómetro recorrido</p> <p>Notas: Dadas las características de la flota utilizada en la determinación de este factor de emisión, su aplicación se reconoce válida para una flota de vehículos pesados, es decir, cuyo peso promedio exceda las 2,7 toneladas métricas.</p> <p>El titular deberá proveer el peso promedio de la flota que circula por las vías relevantes. En caso de no hacerlo, el peso promedio por defecto será el peso promedio de la flota generada por la actividad del proyecto.</p> <p>Contenido de % de finos del suelo – valor por defecto 5,8%</p> <p>Valor usado por el estudio “DIAGNOSTICO DE CALIDAD DE AIRE Y MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN, ANDACOLLO” 2011.</p>		

Fuente: “AP-42 EPA”, MMA, 2016.

Contenidos del Plan de Compensación para estabilización de caminos

Los contenidos mínimos que se deben incluir en el documento denominado Plan de Compensación de Emisiones son:

Contenidos del Plan de Compensación con Estabilización:

I. Antecedentes del Proyecto que compensará:

- Tipo de proyecto
- Localización
- Inversión
- Calculo de Compensaciones
- Otros que se estime pertinente.

- II. Programa de Aplicación Producto Supresor de Polvo, debe considerar:
- a. Medidas para acondicionamiento previo del camino, para la aplicación del Producto Supresor de Polvo y que consistirán en:
 - i. Material granular de la carpeta de rodado: El material de la carpeta de rodado deberá tener un índice de plasticidad (IP) que permita asegurar la cohesión de las partículas y poseer un porcentaje de partículas mayores a 10 mm para proporcionar un grado de estabilidad mecánica del camino.
 - ii. Preparación del camino: Se realizará la construcción y acondicionamiento de los caminos internos del plantel considerando tanto las características técnicas (nivelación, compactación, anchos, pendientes, etc.), como de aplicación del supresor (humectación de carpeta, porcentaje de finos, sistema de drenaje, etc.). El camino será preparado mediante el uso de motoniveladora, manteniendo una superficie compactada, libre de baches e irregularidades. La carpeta debe ser permeable para permitir la adecuada penetración del producto y debe contar con buen drenaje superficial de modo de que no se generen apozamientos de agua en su superficie. Adicionalmente, antes de la aplicación del producto se debe regar el camino con agua para facilitar la posterior absorción del producto.
 - b. Medidas para la aplicación del Producto Supresor de Polvo:
 - i. Mantenimiento Anual de Caminos: Cada año en forma previa a la aplicación del producto, el Titular realizará las reparaciones necesarias de los caminos en función del estado de éstos, las que podrían consistir en material suelto, baches, hundimientos, o áreas que presenten un aspecto superficial muy alterado. En la eventualidad de detectar fallas se procederá a reparar la zona afectada y/o a efectuar una aplicación local del producto, de acuerdo a las especificaciones técnicas del proveedor.
 - ii. Aplicación Inicial: Dosis inicial recomendada por la empresa proveedora (informar); Método de aplicación: La solución se aplicará mediante un camión aljibe, el cual contará con una barra de aspersión de modo de lograr un riego homogéneo en todo el ancho del camino; Frecuencia de aplicación: recomendada;
 - iii. Dosis de Mantenimiento: Dosis inicial recomendada por la empresa proveedora; Método de aplicación: mediante camión aljibe con barra de aspersión; Frecuencia de aplicación: Trimestral; supervisada por la empresa proveedora del producto.
 - iv. Medidas de Contingencia: Realizar periódicamente inspecciones para verificar el estado de los caminos. En caso de detectar fallas se procederá a reparar la zona afectada o simplemente realizar una aplicación localizada del producto.
 - c. Implementar un Programa de Verificación del comportamiento del Producto Supresor de Polvo, a lo largo de un año. Para ello, se contemplan las siguientes acciones:
 - a. Monitoreo del Material Particulado Previo a la aplicación del producto.
 - b. Preparación de la carpeta y acondicionamiento del camino.
 - c. Aplicación de producto supresor de polvo, considerando las especificaciones técnicas sugeridas por la empresa proveedora.
 - d. Monitoreo del Material Particulado Mensual, durante un año.
 - e. Aplicación de dosis de mantenimiento del producto en forma trimestral.
-

METODOLOGÍA N° 5 “COMPENSACIÓN CON FORESTACIÓN”

La Forestación es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, mediante metodologías para reforestaciones rurales, urbanas y arbolado en parques, vía pública y áreas verdes de viviendas.

Método de cálculo

La emisión compensar es el resultado de la forestación de una área determinada mediante un factor de captura que significa, la cantidad de toneladas de MP-resuspendido que captura una cantidad de hectáreas con forestación.

Factor de captura FC MP₁₀ (Establecida en la SEREMI MMA IV Región)
0,5 ha captura de 1 ton/año de MP₁₀
Esta relación establece que por cada 0,5 hectáreas de forestación se captura una tonelada de MP ₁₀ resuspendido

Determinación de las superficie a forestar

Conforme a lo indicado por el factor de captura de la región, para la compensación de material particulado se debe calcular la superficie del área verde según la siguiente ecuación:

Superficie (há) a forestar = FC MP₁₀ x E MP₁₀

Dónde:

FC MP₁₀= Factor de captación de material particulado= 0,5 há/tonMP₁₀

E MP₁₀= Emisión de MP₁₀ del proyecto, (ton MP₁₀)

Requerimientos de cobertura

A continuación, se presentan las alternativas de cobertura que se aceptarán Andacollo para la compensación por forestación. La metodología no solo considera la forestación, sino le asigna el mismo valor a la mantención de áreas verdes, por el mismo tiempo que se generan las emisiones. En la tabla siguiente se presentan las alternativas para aplicar la medida de compensación:

Tabla N° 18: Alternativas de creación y/o mantención de áreas verdes en compensaciones de emisiones de MP₁₀

Alternativa	Tipo	Factor de compensación	Estándar	Proporción de especies	Prendimiento mínimo	Densidad
1	Creación y/o mantención de áreas verdes en parque urbanos	0,5 ha x 1 ton/año	entre 1,5 y 1,80 mt de altura.	85% nativas y 15% exóticas	90%	300 x ha
2	Creación y/o mantención de áreas verdes en cerros islas	0,5 ha x 1 ton/año	entre 1,5 y 1,80 mt de altura.	85% nativas y 15% exóticas	90%	500 x ha
3	Creación y/o mantención de zonas de bosque nativo y áreas naturales	0,5 ha x 1 ton/año	entre 1,5 y 1,80 mt de altura.	100% nativas	85%	600 x ha
4	Creación de áreas verdes en parque urbanos privados	0,5 ha x 1 ton/año	entre 1,5 y 1,80 mt de altura.	85% nativas y 15% exóticas	90%	500 x ha
5	Creación y/o mantención de nuevos metros lineales de arbolado en soleras	0,5 ha x 1 ton/año	entre 1,5 y 1,80 mt de altura.	85% nativas y 15% de exóticas	100% prendimiento	100 x 1.000 m lineal

Para la aplicación de la tabla N° 18 se debe tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Solo se aprobará la compensación con forestación, que asegure la mantención por los años que se generen las emisiones (en caso que sean emisiones puntuales una mantención mínima para asegurar el prendimiento de las especies de al menos 3 años).
- Se priorizarán los terrenos que cuenten con cierre perimetral y cuyos propietarios aporten el agua necesaria para la reforestación y su mantención.

Contenidos del Plan de Compensación de Reforestación

Los contenidos mínimos que se deben incluir en el documento denominado Plan de Compensación de Emisiones de Forestación son los siguientes:

I. Antecedentes del Proyecto que compensará:

- Tipo de proyecto
- Localización
- Inversión
- Calculo de Compensaciones
- Otros que se estime pertinente.

II. Antecedentes de Proyecto de Arborización:

- Cálculos de Superficies
- Descripción de los terrenos donde se compensará
- Características de suelo
- Plano de ubicación a escala y en coordenadas UTM
- Propiedad de los terrenos (datos de los propietarios)
- Set fotográfico

III. Características de las especies arbóreas propuestas y existentes:

- Plano de distribución de especies
- Preparación del suelo
- Proyecto de regadío
- Programa de construcción: descripción y carta Gantt
- Programa de mantención: descripción (riego, podas, fertilizaciones, podas, etc) y carta Gantt
- Informe anual seguimiento de la forestación

IV. Otros Antecedentes a Anexar:

- Antecedentes legales que acrediten la factibilidad de utilizar los terrenos (dependiendo de quién sea el propietario)
 - Carta compromiso de mantención (por parte del Titular u otro organismo que sea el responsable)
 - Acreditar como se resguardará la seguridad del sector para evitar hurtos o daños por terceros.
 - Convenios firmados (si es que existiesen)
-

• **METODOLOGÍA N° 6 “COMPENSACIÓN ECO ENVOLVENTES VEGETALES”**

La utilización de la vegetación en construcciones, como elementos funcionales mediante su incorporación en las edificaciones (techos, terrazas, fachadas y muros verdes), aportan grandes ventajas ambientales, ya que actúa como “filtro verde, fija gases contaminantes y material particulado”⁷; por lo tanto es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido.

Método de cálculo

La emisión a compensar es el resultado de la aplicación de cubiertas vegetales en un área determinada de una construcción mediante un factor de captura:

Factor de captura actual
Establecida en la SEREMI MMA IV región
1m² captura de 1 a 2 Kg/año de MP₁₀ Referencia: “Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales”
Esta relación establece que por cada 1 metro cuadrado de eco envolvente vegetal se captura una 1 a 2 kg/año de MP ₁₀ resuspendido

Determinación de las superficie para aplicación de cubiertas vegetales

Conforme a lo indicado por el factor de captura de la región, para la compensación de material particulado se debe calcular la superficie del área verde según la siguiente ecuación:

Área (m²) a forestar = FC MP₁₀ x E MP₁₀

Dónde:

FC MP₁₀= Factor de captación de material particulado indicado en la tabla 1.

E MP₁₀= Emisión de MP₁₀ del proyecto, (ton MP₁₀)

Requerimientos de cobertura

Para contaminación atmosférica: Se debe realizar una maximización del área a vegetalizar y emplear especies vegetales con alta cantidad de superficie foliar.

A continuación, se presentan las alternativas de cobertura que se aceptarán en Andacollo para la compensación por eco envolventes vegetales. La metodología no solo considera la implementación de vegetales como eco envolventes, sino que le asigna el mismo valor a la mantención del área, por el mismo tiempo que se generan las emisiones.

El estudio “Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales” (MMA, 2016) indica que se puede extrapolar que un metro cuadrado de vegetación, pasto o maleza, remueve hasta dos kg de material particulado, él que queda atrapado en su follaje.

Tabla N° 19: Alternativas de cobertura vegetal en compensaciones de emisiones de MP₁₀

	Tipo	Cobertura Vegetal	Factor de compensación	Estándar	Tipo de Vegetación	Diversidad Vegetal	Mantención
1	Creación y/o mantención de techos verdes en construcciones	Extensivo	1m ² x 1 Kg/año	Hasta 15 cm de altura.	Rastreras	Poca	Mínima
2	Creación y/o mantención de techos verdes en construcciones	Semi-Intensivo	1m ² x 1,5 Kg/año	Entre 10 y 20 cm de altura.	Arbustos pequeños, pastos ornamentales	Mayor	Variable
3	Creación y/o mantención de techos verdes en construcciones	Intensivo	1m ² x 2 Kg/año	Mayor que 15 cm de altura.	Arbustos y árboles pequeños	Máxima	Alto

7 (Wong & Chen, 2009; Lucket, 2009; Hitchmough & Fieldhouse, 2004), en MMA, 2016

4	Creación y/o mantención de fachadas verdes en construcciones	Extensivo	1m ² x 1 Kg/año	Hasta 15 cm de altura.	Trepadoras	Poca	Mínima
---	---	-----------	----------------------------	---------------------------	------------	------	--------

Glosario

- **Cubierta Vegetal:** Manta de vegetación que se puede instalar sobre los techos de edificaciones nuevas o existentes, para impermeabilizar, aislar térmicamente, manejar las aguas lluvias, y aumentar las áreas verdes, contribuyendo así a disminuir el fenómeno de isla de calor y cambio climático de los centros urbanos.
- **Cubierta Vegetal Extensiva:** Cubierta Vegetal no transitable, con poca vegetación, la que generalmente se compone de plantas rastreras.
- **Cubierta Vegetal Intensiva:** Cubierta Vegetal transitable, con gran variedad de vegetación, soportando una amplia biodiversidad de plantas.

Contenidos del Plan de Compensación de Ecoenvolvente Vegetal

Los contenidos mínimos que se deben incluir en el documento denominado Plan de Compensación de Emisiones de eco envolventes vegetales son los siguientes:

I. Antecedentes del Proyecto que compensará:

- Tipo de proyecto
- Localización
- Inversión
- Calculo de Compensaciones
- Otros que se estime pertinente.

II. Antecedentes de Proyecto de Implementación vegetal como eco envolvente:

- Cálculos de área de cobertura
- Descripción de las construcciones donde se compensará
- Características de la edificación
- Plano de ubicación a escala y en coordenadas UTM
- Propiedad de las edificaciones (datos de los propietarios)
- Set fotográfico

III. Características de las especies arbóreas propuestas y existentes:

- Plano de distribución de especies
- Preparación de la superficie
- Proyecto de regadío
- Programa de construcción: descripción y carta Gantt
- Programa de mantención: descripción (riego, podas, fertilizaciones, podas, etc) y carta Gantt

IV. Otros Antecedentes a Anexar:

- Antecedentes legales que acrediten la factibilidad de utilizar las propiedades (dependiendo de quién sea el propietario)
- Carta compromiso de mantención (por parte del Titular u otro organismo que sea el responsable)
- Acreditar como se resguardará la seguridad del sector para evitar hurtos o daños por terceros.
- Convenios firmados (si es que existiesen).