

## **ALTERNATIVA DE RELAVES**

# **“Banco Alternativas de Compensación de Emisiones de MP10 en el polígono de la zona saturada de Andacollo”**



**SISTAM Ingeniería**

**Julio 2016**

<b>1</b>	<b>Presentación.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Alternativa seleccionada Relaves .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Método de cálculo .....</b>	<b>6</b>
3.1	Determinación del indicador para remediación/retiro de relave.....	6
3.2	Método de cálculo de las emisiones.....	8
<b>4</b>	<b>Compensación con relaves.....</b>	<b>10</b>
4.1	Retiro de relaves .....	11
4.2	Fitoestabilización de relaves.....	12
<b>5</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>15</b>

## 1 Presentación

El plan establece la necesidad de contar con alternativas a la reducción de material particulado - MP10 , a través de la compensación de emisiones, según lo establece el Artículo 10:

*“Con el fin de disponer de alternativas para el cumplimiento de las metas de emisión y calidad del aire del PDA, la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región de Coquimbo deberá disponer y administrar en el plazo no mayor de un año y medio, de 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., también 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.

## 2 Alternativa seleccionada Relaves

Se ha seleccionado la alternativa remoción/estabilización de relaves como mecanismo de compensación de emisiones de MP<sub>10</sub>. 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 Plan de Descontaminación 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. La figura siguiente muestra la disposición de estos relaves en la zona urbana.

Para elaborar esta propuesta se han utilizado los resultados del estudio “Evaluación de riesgos a la salud en la comuna de Andacollo” Informe Final 2012. 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 salud.

Pare 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 1 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
<b>LD (mg/Kg)</b>	<b>0,002</b>	<b>5,00</b>	<b>27,0</b>	<b>11,0</b>	<b>45,0</b>	<b>17,0</b>	<b>6,0</b>	<b>20,0</b>	<b>5,0</b>

(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. En el estudio 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 siguiente 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 2 Cociente entre concentraciones medidas en relaves respecto de valor base (conc relave/conc 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
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
<b>Promedio</b>	<b>15,7</b>	<b>2,1</b>	<b>1,5</b>	<b>4,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>3,9</b>	<b>0,6</b>	<b>4,9</b>

Fuente: elaboración propia

### 3 Método de cálculo

#### 3.1 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 3: Cálculo del indicador**

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

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 Plan de Descontaminación de Andacollo.

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

**Tabla 4: 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: elaboración propia

### 3.2 Método de cálculo de las emisiones

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.

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

Equivale a:

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

Donde

**$E_{\text{comp}}$**  = Emisiones compensadas

**$E_{\text{pila}}$**  = 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:**

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

## 4 Compensación con relaves

Para utilizar la metodología planteada, es necesario considerar dos alternativas de reducción de emisiones son relaves, las que se presentan a continuación:

- Retiro de relaves
- Fitoestabilización de relaves

Es importante destacar que la primera alternativa presenta un mayor impacto en la calidad de vida, a la vez que deja disponible una superficie urbana que hoy se encuentra inutilizada y esto considera varios beneficios (estéticos, sociales, salud, entre otros).

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 5: Indicador de relave**

Identificación	Indicador Promedio Relave por toxicidad	Indicador Retiro de Relave <sup>1</sup>	Indicador fito estabilización <sup>2</sup>
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

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

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

#### **4.1 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 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

### Otros Antecedentes a Anexar

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

## **4.2 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 permanecieran 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 restricciones físicoquímicas
- d) Las especies elegidas deben asegurar la cobertura vegetal del área del relave, es decir el prendimiento de las especies seleccionadas deben tener una distancia mínima para la cobertura del relave. Como ejemplo , especies del tipo “ratreras”, deben tener una distancia entre especie de de 50 cm a un metro de distancia entre ellas.

## **Contenidos del Plan de Compensación**

### **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)



## 5 ANEXOS

En formato digital se adjuntan los siguientes anexos:

- ✓ Estudio “Evaluación de riesgos a la salud en la comuna de Andacollo” Informe Final 2012.