

**INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.**  
**PROYECTO AMPLIACIÓN**  
**PLANTA DE CAL COPIAPÓ – HORNO CAL N°2**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

**APÉNDICE 2.D – ANÁLISIS DE LOS EFECTOS SOBRE LA**  
**CALIDAD DEL AIRE**  
**(Ref. No. SA206-00002/17-3)**

Preparado para:

Industria Nacional de Cemento  
División INACESA  
Camino Internacional Km. 16  
Copiapó, Chile

***Knight Piésold S.A.***

*Av. Vitacura 4380, Piso 17*  
*Vitacura, Santiago, Chile*  
*Teléfono: (56-2) 5946400*  
*Fax: (56-2) 5946447*  
*E-mail: santiago@kpsa.cl*

***Knight Piésold***  
**CONSULTING**

**INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.**  
**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL COPIAPÓ – HORNO CAL N°2**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**(Ref. N° SA206-00002/17-3)**

**APÉNDICE 2.D – ANÁLISIS DE LOS EFECTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE**

**CONTENIDO**

<b>SECCIÓN 1.0 – INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>SECCIÓN 2.0 – LÍNEA BASE DE CALIDAD DEL AIRE</b>	<b>2</b>
2.1 MATERIAL PARTICULADO, MP10	2
2.2 DIOXIDO DE AZUFRE, SO <sub>2</sub>	4
2.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO	5
<b>SECCIÓN 3.0 – INVENTARIO DE EMISIONES</b>	<b>6</b>
3.1 GENERALIDADES	6
3.1.1 Emisiones de MP10	6
3.1.2 Emisiones de Anhídrido Sulfuroso, SO <sub>2</sub>	6
3.1.3 Emisiones de NO <sub>x</sub>	7
3.1.4 Emisiones de CO <sub>2</sub>	11
3.2 ESCENARIO DE ANÁLISIS	11
3.3 FUENTES DE EMISIÓN	14
3.4 FACTORES DE EMISIÓN	15
3.4.1 Factores de Emisión de MP10	15
3.4.2 Factores de Emisión de SO <sub>2</sub>	16
3.4.3 Factores de Emisión de NO <sub>x</sub>	16
3.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS	16
3.5.1 Emisiones de MP10	17
3.5.2 Emisiones de SO <sub>2</sub>	18
3.5.3 Emisiones asociadas al DS 45/2007 MINSEGPRES	19
<b>SECCIÓN 4.0 – MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA</b>	<b>22</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO CALPUFF	22
4.2 ESCENARIO DE MODELACIÓN	23
4.2.1 Dominio del Modelo	23

4.2.2	Receptores	23
4.2.3	Meteorología	23
4.2.4	Fuentes de Emisión	24
4.2.5	Topografía	24
4.3	RESULTADOS	24
4.3.1	MP10	24
4.3.2	Efecto sobre los Niveles de SO <sub>2</sub>	26
4.3.3	Efecto sobre los Niveles de NOx	28

## FIGURAS

Figura 2.D-1	Topografía y Dominio del Modelo
Figura 2.D-2	Concentración Media Anual de MP10 que Aporta la Planta INACESA, Situación Sin Proyecto
Figura 2.D-3	Concentración Media Anual de MP10 que Aporta la Planta INACESA, Situación Con Proyecto
Figura 2.D-4	P98 de las Concentraciones de 24 horas de MP10 que Aporta la Planta INACESA, Situación Sin Proyecto
Figura 2.D-5	P98 de las Concentraciones de 24 horas de MP10 que Aporta la Planta INACESA, Situación Con Proyecto
Figura 2.D-6	Concentración Media Anual de SO <sub>2</sub> que Aporta la Planta INACESA, Situación Sin Proyecto
Figura 2.D-7	Concentración Media Anual de SO <sub>2</sub> que Aporta la Planta INACESA, Situación Con Proyecto
Figura 2.D-8	P99 de las Concentraciones de 24 horas de SO <sub>2</sub> que Aporta la Planta INACESA, Situación Sin Proyecto
Figura 2.D-9	P99 de las Concentraciones de 24 horas de SO <sub>2</sub> que Aporta la Planta INACESA, Situación Con Proyecto
Figura 2.D-10	Concentración Media Anual de NOx que Aporta la Planta INACESA, Situación Sin Proyecto
Figura 2.D-11	Concentración Media Anual de NOx que Aporta la Planta INACESA, Situación Con Proyecto
Figura 2.D-12	P99 de las Concentraciones de 24 horas de NOx que Aporta la Planta INACESA, Situación Sin Proyecto
Figura 2.D-13	P99 de las Concentraciones de 24 horas de NOx que Aporta la Planta INACESA, Situación Con Proyecto

**INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.  
PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL COPIAPÓ – HORNO CAL N°2  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
(Ref. N° SA206-00002/17-3)**

**APÉNDICE 2.D – ANÁLISIS DE LOS EFECTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE**

**SECCIÓN 1.0 – INTRODUCCIÓN**

El presente documento analiza los efectos sobre la calidad del aire asociados a la implementación del Proyecto “Ampliación Planta de Cal Copiapó – Horno Cal N°2”, descrito en la Sección 2.0 del cuerpo principal del EIA. Este análisis incluye un inventario de emisiones para las condiciones actual (sin Proyecto) y futura (con Proyecto), así como la modelación de la dispersión atmosférica de las emisiones para ambas condiciones, para lo cual se ha aplicado el modelo CALPUFF.

El análisis de calidad del aire comprende el MP10 y SO<sub>2</sub>, así como el NO<sub>x</sub>. Para los inventarios de emisión se han empleado las condiciones más desfavorables de mayor ritmo operación, tanto para la condición actual como futura.

El inventario de emisiones de MP10 comprende las fuentes fijas de la operación de la planta de cal, la resuspensión por tránsito de vehículos y fuentes de emisión fugitivas por acción erosiva del viento.

Este apéndice, específicamente la dispersión atmosférica, se apoya en los registros meteorológicos de varias estaciones meteorológicas existentes en el sector, en las localidades de Copiapó, Paipote y Tierra Amarilla, así como en las proximidades de la instalación de INACESA Copiapó.

La Planta INACESA Copiapó cuenta con una estación monitorea de calidad del aire de control, con la cual se ha efectuado un monitoreo continuo de calidad del aire desde el mes de septiembre de 2006. En ella se monitorean los parámetros MP10, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>/NO/NO<sub>2</sub>.

El presente documento ha sido estructurado en cuatro secciones: la Sección 1.0 Introducción, la Sección 2.0 entrega un resumen de la Línea Base de Calidad del Aire, la Sección 3.0 expone los resultados del inventario de emisiones a la atmósfera, y la Sección 4.0 que evalúa los efectos de dichas emisiones sobre la calidad del aire.

## SECCIÓN 2.0 – LÍNEA BASE DE CALIDAD DEL AIRE

En esta sección se presenta un resumen de la línea base de calidad del aire, con el objeto de caracterizar la situación base en el área de estudio de la Planta de Cal INACESA Copiapó en el momento de presentar el Proyecto ante la autoridad. Este resumen se hace en términos de Material Particulado Respirable (MP10), Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>x</sub> y NO<sub>2</sub>) para las estaciones de la red de calidad del aire de Paipote y la estación INACESA Copiapó.

Estas estaciones se presentan en el Cuadro 2.0-1, donde además se indica su ubicación geográfica en coordenadas UTM.

**Cuadro 2.0-1**  
**Ubicación Estaciones Calidad del Aire**

Estación	Norte – UTM	Este – UTM	Parámetro	Periodo	
	m	m		MP10	SO <sub>2</sub>
Copiapó	6.972.628	368.557	MP10 – SO <sub>2</sub>	2006 - 2009	2003 – 2005
Los Volcanes	6.971.514	370.864	MP10 – SO <sub>2</sub>	2006 - 2009	2003 – 2005
San Fernando	6.968.982	371.409	MP10 – SO <sub>2</sub>	2006 - 2009	2003 – 2005
Tierra Amarilla	6.960.215	374.945	MP10 – SO <sub>2</sub>	2006 - 2009	2003 – 2005
Paipote	6.967.090	374.356	MP10 – SO <sub>2</sub>	2006 - 2009	2003 – 2005
			Análisis químico MP10	abril 2007 – ago. 2008	
INACESA Copiapó	6.972.952	378.574	MP10-SO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> - Análisis químico MP10	sep. 2006 – jun. 2009	
			NO <sub>2</sub> , NO	sep. 2006 – ago. 2007	

Datum WGS 84

Cabe destacar que la planta INACESA Copiapó se encuentra fuera de la zona saturada por SO<sub>2</sub> establecida por el Ministerio de Salud en el año 1993, a su vez, ésta circunda a la fundición Hernán Videla Lira. Además, en el sector dónde se emplaza la planta, así como en su área de influencia no existen asentamientos humanos; los más próximos se encuentran a más de 8 km al suroeste de las instalaciones. Por lo mismo, las localidades que cubre la red de monitoreo de la Fundición Hernán Videla Lira, quedan fuera del área de influencia del Proyecto.

### 2.1 MATERIAL PARTICULADO, MP10

En el Cuadro 2.1-1 se muestra un resumen de las concentraciones de MP10, expresado en términos de la concentración promedio anual y percentil 98 (P<sub>98</sub>), para las estaciones de Fundición Hernán Videla Lira e INACESA Copiapó.

**Cuadro 2.1-1**  
**Resumen Concentraciones MP10, en  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$**

Estaciones	Percentil 98				Media Anual			
	2006	2007	2008	2009 <sup>(2)</sup>	2006	2007	2008	2009
Copiapó	109	148	118	153	42	48	56	50
San Fernando	141	134	112	137	65	59	59	53
Paipote	172	191	131	259	69	73	83	79
Tierra Amarilla	131	174	125	131	65	80	75	65
INACESA Copiapó <sup>(1)</sup>	127	160	179	98	72	72	83	56

Fuente: Elaboración Propia

<sup>(1)</sup> Los datos del 2006 comprende los meses de septiembre a diciembre

<sup>(2)</sup> primer semestre del 2009

Los resultados del monitoreo permiten verificar que la ciudad de Copiapó presenta niveles de MP10 en el aire, inferiores a los valores primarios que establece el DS 59/1998 del Ministerio de Salud. En efecto, la media anual considerando los tres años (2006, 2007 y 2008) presenta un valor de  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  (norma primaria:  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) y el valor máximo del Percentil 98 de la concentración en 24 horas, durante los tres años, corresponde a  $148 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  (norma primaria:  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

Los registros en Tierra Amarilla indican que el nivel de MP10 supera la norma anual, al igual que las concentraciones de 24 horas que establece el referido decreto. En efecto, la media anual considerando los tres años presenta un valor de  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  (norma primaria:  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) y el valor máximo del Percentil 98 de la concentración en 24 horas, durante los tres años, corresponde a  $174 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  (norma primaria:  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

Los registros para el periodo de análisis muestran que la concentración media de MP10 en la estación de control de la planta industrial de INACESA Copiapó es de  $71 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ . El mayor valor del P<sub>98</sub> de las concentraciones de 24 horas fue de  $179 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , que se presentó el año 2008.

Respecto de los valores registrados por la estación de control de INACESA Copiapó, cabe destacar que a contar de junio del 2007 los mismos reflejan la condición actual de operación de la planta INACESA Copiapó, fecha a partir de la cual ha entrado en operaciones el filtro de manga del Horno de Cal N° 1 considerando en el EIA del “Proyecto de Optimización Planta de Cal INACESA Copiapó”.

## 2.2 DIOXIDO DE AZUFRE, SO<sub>2</sub>

El Cuadro 2.2-1 resume las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en las estaciones antes mencionadas. Los registros disponibles para el periodo de análisis muestran que la concentración media de SO<sub>2</sub>, para el periodo 2006-2009, en el sector donde se emplaza la planta industrial de INACESA Copiapó alcanza el valor de 18 µg/m<sup>3</sup>N, con un P<sub>99</sub> de la concentración de 24 horas de 79 µg/m<sup>3</sup>N. Estos valores son inferiores a los valores de la norma primaria que establece el DS 113/2001 MINSEGPRES, tanto para la norma anual (80 µg/m<sup>3</sup>N) como la norma de 24 horas (250 µg/m<sup>3</sup>N).

Respecto de estos valores, cabe destacar que solo a contar de junio del 2007 reflejan la operación actual de la Planta, fecha a partir de la cual entra en operación el Proyecto de Optimización Planta de Cal INACESA Copiapó.

**Cuadro 2.2-1**  
**Resumen Concentraciones SO<sub>2</sub>, en µg/m<sup>3</sup>N**

Estaciones	Percentil 99							Media Anual						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Copiapó <sup>(1)</sup>	25	12	17	-	-			4	1	2	-	-	-	-
Los Volcanes <sup>(1)</sup>	54	28	51	-	-			8	4	8	-	-	-	-
San Fernando <sup>(1)</sup>	74	41	44	-	-			10	5	6	-	-	-	-
Paipote <sup>(1)</sup>	206	188	184	-	-			36	22	25	-	-	-	-
Tierra Amarilla <sup>(1)</sup>	93	54	65	-	-			20	12	12	-	-	-	-
Pabellón <sup>(1)</sup>	17	12	10	-	-			3	2	1	-	-	-	-
INACESA Copiapó <sup>(2)</sup>	-	-	-	5	53	51	133	-	-	-	2	7	13	36

Fuente: Elaboración Propia

<sup>(1)</sup> 3 años, periodo 2003 - 2005

<sup>(2)</sup> periodo agosto 2006 - junio 2009

Los monitoreos de SO<sub>2</sub> en las estaciones de la Fundación Hernán Videla Lira permiten verificar que la calidad del aire presenta niveles de SO<sub>2</sub> inferiores a los valores primarios que establece el DS 113/2001 MINSEGPRES, tanto para la norma anual (80 µg/m<sup>3</sup>N) como la norma de 24 horas (250 µg/m<sup>3</sup>N).

### 2.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

En el Cuadro 2.3-1 se resume el monitoreo de calidad de aire para NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, realizado en la estación INACESA Copiapó.

**Cuadro 2.3-1**  
**Resumen Monitoreo Calidad del Aire NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>,**  
**Estación INACESA Copiapó, en µg/m<sup>3</sup>N**

Variable	NO		NO <sub>2</sub>			NO <sub>x</sub>			
	2006 <sup>1</sup>	2007 <sup>2</sup>	Norma	2006 <sup>1</sup>	2007	2006 <sup>1</sup>	2007 <sup>2</sup>	2008	2009 <sup>3</sup>
Media Anual	9	18	100	5	11	30	60	49	31
P <sub>99</sub>	36	80	400	11	50	154	284	154	77
Máxima Diaria	130	93	-	11	73	694	387	265	78

Fuente: Elaboración Propia

1 Datos tomados a partir de septiembre de 2006

2 Datos tomados hasta agosto de 2007

3 Datos tomados hasta abril de 2009

De acuerdo al DS 114/2002 del MINSEGPRES, la concentración anual de los dióxidos de nitrógeno no deben sobrepasar los 100 µg/m<sup>3</sup>N calculado como promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años consecutivos, y los 400 µg/m<sup>3</sup>N del promedio aritmético de 3 años consecutivos del P<sub>99</sub>.

En el Cuadro 2.3-1 se observa que la concentración media anual de NO<sub>x</sub>, no supera los 60 µg/m<sup>3</sup>N en el período de análisis, mientras que el mayor valor del P<sub>99</sub> registrado es de 284 µg/m<sup>3</sup>N en el año 2007, por tanto se verifica que los niveles no sobrepasan los límites máximos permisibles.

Se observa que la concentración media anual para NO<sub>2</sub> es de 11 µg/m<sup>3</sup>N en el año 2007, con un P<sub>99</sub> igual a 50 µg/m<sup>3</sup>N para el mismo período. La concentración media anual de NO alcanza los 18 µg/m<sup>3</sup>N y el P<sub>99</sub> no supera los 80 µg/m<sup>3</sup>N.

## SECCIÓN 3.0 – INVENTARIO DE EMISIONES

En esta sección se presentan los resultados del inventario de emisiones a la atmósfera para la Planta INACESA Copiapó. Se incluye el inventario de emisiones para la condición sin Proyecto y para el escenario que se proyectan para la operación futura de INACESA Copiapó, esto es condición con Proyecto.

### 3.1 GENERALIDADES

Los procesos de elaboración de cal de INACESA Copiapó son estándar, ampliamente utilizados a nivel de la industria nacional e internacional.

Las emisiones a la atmósfera de estos hornos responden al proceso en particular, y se generan independientemente del combustible que se esté utilizando. Por lo mismo también son características de éstos, e incluyen nitrógeno ( $N_2$ ), anhídrido carbónico ( $CO_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ) y vapor de agua, así como en menor medida material particulado (MP10), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), anhídrido sulfuroso ( $SO_2$ ). Los principales constituyentes de los gases emitidos a través de la chimenea de un horno de cal como el que considera este Proyecto corresponden a  $N_2$  (~65% volumen),  $CO_2$  (~25% volumen), oxígeno (~6% volumen) y vapor de agua (~4% volumen). Gases, tales como  $SO_2$  y  $NO_x$ , son emitidos en menor proporción, a niveles de traza.

#### 3.1.1 Emisiones de MP10

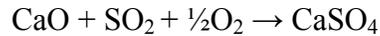
Las emisiones de MP10 se generan principalmente por el arrastre que ocasiona el paso de los gases calientes a través del horno de cal, particularmente sobre el material con que es alimentado. Por ello, el MP que se emite a la atmósfera por la chimenea presenta una composición similar al material que ingresa al horno (caliza).

#### 3.1.2 Emisiones de Anhídrido Sulfuroso, $SO_2$

El  $SO_2$  se genera a partir de la oxidación del azufre del combustible y de la caliza (<0,12%). Sin embargo, la naturaleza alcalina de los hornos para la fabricación de cal, proveen las condiciones para la adsorción o fijación del  $SO_2$  en el producto, reduciendo con ello el contenido de  $SO_2$  del gas que se emite.

La presencia de la caliza ( $CaCO_3$ ) y cal ( $CaO$ ) reducen el  $SO_2$  generado en los hornos para formar yeso ( $CaSO_4$ ) como subproducto, el yeso resultante sale con la matriz de productos.

Las ecuaciones de las reacciones de reducción del SO<sub>2</sub> con caliza y cal son las siguientes:



Numerosos estudios han sido desarrollados a nivel internacional, para comprender adecuadamente la cinética de las reacciones anteriormente expuestas. Conforme a tales estudios puede asumirse que la calcinación de la caliza ocurre de manera instantánea. Mientras que la cinética de la reacción de reducción del SO<sub>2</sub> es determinada por la reactividad del absorbente (caliza y cal). Adicionalmente, la cinética de reacción de reducción del SO<sub>2</sub> depende de la concentración de SO<sub>2</sub> alrededor de la partícula y del tiempo de residencia del absorbente.

El mecanismo de la reacción de reducción de SO<sub>2</sub> implica una reacción en fase sólida-gas, por lo mismo, el tamaño de la partícula absorbente (caliza o cal) toma importancia en la cinética de la reacción; ambas reacciones de reducción del SO<sub>2</sub> están fuertemente influenciadas por el tamaño de las partículas de caliza y cal; las partículas absorbentes de menor tamaño presentan una mayor reactividad. Con el incremento del tamaño de la partícula absorbente la principal resistencia a la reacción cambia de difusión de poros y reacción superficial a difusión a través de la capa superficial de CaSO<sub>4</sub> que se forma sobre la superficie de la partícula absorbente.

Esta condición, que caracteriza a los hornos de fabricación de cal, le otorga a éstos condiciones inmejorables, inclusive mejores a las que poseen los sistemas de abatimientos tradicionales, para la reducción o abatimiento del SO<sub>2</sub>.

La naturaleza alcalina de los hornos para la fabricación de cal, proveen las condiciones para la fijación del SO<sub>2</sub> en el producto, reduciendo con ello el contenido de SO<sub>2</sub> del gas que se emite. La presencia de la caliza (CaCO<sub>3</sub>) y cal (CaO) reducen el SO<sub>2</sub> generado en los hornos, con una efectividad de abatimiento del 96%, es decir, tan solo un 4% de azufre que ingresa al horno, tanto en la caliza como en el combustible, se emite a la atmósfera como anhídrido sulfuroso.

### **3.1.3 Emisiones de NOx**

Respecto de las emisiones de NOx, es importante señalar que su formación y posterior emisión no dependen del tipo de combustible que se esté utilizando, si no más bien de la temperatura de operación de los hornos.

Para entender tal aseveración, a continuación se exponen los aspectos teóricos y prácticos que permiten comprender la formación de los NOx.

Sobre el particular, es importante expresar lo siguiente sobre el NOx:

- Las emisiones de NOx consisten principalmente de monóxido de nitrógeno u óxido nítrico (NO). Menos significativo es el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). En grandes ciudades promueve el smog fotoquímico, en ambientes húmedos contribuye a la lluvia ácida y causa el decaimiento de la capa de ozono.
- En los procesos de combustión tres son los mecanismos que explican la generación de NOx:
  - NOx térmico (85% del total); son los más significativos y se refiere a la reacción del N<sub>2</sub> con el oxígeno en exceso de los gases a altas temperaturas. Prevalece a altas temperaturas.
  - NOx cinético; se refiere a las reacciones del N<sub>2</sub> con radicales libres procedentes de los hidrocarburos. Prevalece a bajas temperaturas.
  - NOx intrínseco; procedente de la combustión de compuestos nitrogenados presentes en el combustible.

Las reacciones globales de formación más relevantes que explica la formación del NOx térmico son las siguientes:



En la práctica, estudios sobre la materia han determinado que las concentraciones de NOx no coinciden con los valores de equilibrio que se predicen mediante esquemas termodinámicos a partir de las ecuaciones de las reacciones globales. Tal observación indica que la termodinámica no es suficiente para explicar la formación del NOx sino que debe emplearse además la cinética. En tal sentido, y para comprender de mejor manera la formación de NOx térmico, Zeldovich (1975) propuso un mecanismo de reacción de formación del NO térmico, que corresponde al constituyente principal del NOx. Las principales ecuaciones que considera el mecanismo de Zeldovich son las siguientes:





La tercera ecuación del mecanismo de Zeldovich contribuye en condiciones de combustión próximas a la de proporción estequiométrica; en exceso de oxígeno, como suele suceder en la mayoría de los casos prácticos, esta reacción del mecanismo se puede ignorar.

Las constantes de reacción de los mecanismos de formación del NO térmico han sido determinadas y validadas en numerosas investigaciones. Las expresiones de los coeficientes cinéticos de las reacciones son de la forma:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}, \text{ m}^3/\text{gmol}\cdot\text{s} \quad (3.3)$$

En el Cuadro 3.1-1 se resumen los coeficientes de reacción de los mecanismos de formación de NO.

**Cuadro 3.1-1**  
**Coefficientes de Reacción de Formación de NO**

	$k_0, \text{ m}^3/\text{gmol}\cdot\text{s}$	$E_a/R$
$k_1$	$1,8 \times 10^8$	38.370
$k_{-1}$	$3,8 \times 10^7$	425
$k_2$	$1,8 \times 10^4$	4680
$k_{-2}$	$3,8 \times 10^3$	20.820
$k_3$	$7,1 \times 10^7$	450
$k_{-3}$	$1,7 \times 10^8$	24.560

Es importante señalar que para las ecuaciones del mecanismo de Zeldovich,  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  corresponde a los coeficientes cinéticos para las reacciones hacia delante, mientras que  $k_{-1}$ ,  $k_{-2}$  y  $k_{-3}$  la reacción inversa.

La tasa de formación de NO, vía los mecanismos señalados, se puede expresar entonces como sigue:

$$\frac{dNO}{dt} = k_1[O][N_2] + k_2[N][O_2] + k_3[N][OH] - k_{-1}[NO][N] - k_{-2}[NO][O] - k_{-3}[NO][H] \quad (3.4-a)$$

$$\frac{dNO}{dt} = 2k_1[O][N_2] \frac{\left(1 - \frac{k_{-1}k_{-2}[NO]^2}{k_1[N_2]k_2[O_2]}\right)}{\left(1 + \frac{k_{-1}[NO]}{k_2[O_2] + k_3[OH]}\right)} \quad (3.4-b)$$

La tasa de formación de NOx es importante únicamente a elevadas temperaturas (mayores que 1.800 °K) debido a que la fijación del nitrógeno requiere la ruptura del triple enlace de N<sub>2</sub> (energía de disociación de 941 KJ/gmol). Esta situación se puede evidenciar por el elevado valor de la energía de activación (Ea) del coeficiente cinético de la reacción de la primera ecuación del mecanismo de Zeldovich (ver Cuadro 3.3-1); la ocurrencia de la misma es el paso que limita el mecanismo de formación de NOx propuesto por Zeldovich. Sin embargo, la energía de activación de los átomos de N es pequeña. Cuando existe suficiente oxígeno, como en una llama pobre en combustible, la tasa de consumo de átomos de nitrógeno libre se torna igual a la tasa de su formación, y de esta manera se puede establecer un estado cuasi-estacionario para el N. Este supuesto es válido para la mayoría de las situaciones de combustión, exceptuándose aquellos casos en los cuales la combustión se efectúa bajo condiciones de enriquecimiento de combustible.

A partir del análisis de la ecuación 3.4-b es posible inferir las conclusiones siguientes, respecto a la tasa de formación de NO térmico:

- Se incrementa con la concentración de oxígeno.
- Es altamente dependiente de la temperatura.
- Es independiente del tipo de combustible.

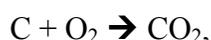
En general, el análisis muestra que no existe una dependencia directa entre la tasa de formación de NO y el tipo de combustible que se emplee.

En el caso particular de INACESA Copiapó, el horno opera con una cantidad de aire en exceso de aproximadamente 6%, independiente del combustible que se esté empleando. Y la formación de NOx en éste caso está directamente relacionada fundamentalmente con la temperatura de operación del horno, la cual a su vez está determinada por el tipo de producto que se está procesando. La concentración de NOx en el gas de salida del horno de INACESA Copiapó es de aproximadamente 160 ppm (164 ppm medido en muestreo isocinético, los informes del muestreo se presentan en Apéndice B), y su control en este rango es un indicio que el horno tiene una buena combustión y está operando a una temperatura adecuada.

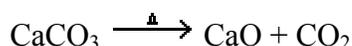
En síntesis, por lo expuesto claramente con la instalación y operación del nuevo Horno Cal N°2, se tendrá una nueva fuente de emisiones de NOx. En consideración de los argumentos técnicos expuesto sobre el control de la operación de calcinación, la emisión del NOx en la corriente gaseosa de chimenea debiera ser a una concentración, expresado como NO<sub>2</sub>, de 164 ppm.

### 3.1.4 Emisiones de CO<sub>2</sub>

La formación de CO<sub>2</sub> tiene su explicación en dos mecanismos: la combustión y la calcinación de la caliza. La formación de CO<sub>2</sub> mediante el mecanismo de combustión queda representada mediante la siguiente ecuación de reacción:



Por su parte la formación de CO<sub>2</sub> por calcinación se representa mediante la siguiente ecuación de reacción:



La estequiometría de la ecuación de combustión indica que cada tonelada de carbón quemado, genera 3,7 toneladas de dióxido de carbono. Por su parte, la calcinación de una tonelada de caliza genera aproximadamente 0,45 toneladas de CO<sub>2</sub>.

## 3.2 ESCENARIO DE ANÁLISIS

Los escenarios de análisis que se detallan a continuación, se refieren a las condiciones de operación que han sido consideradas en el inventario de las emisiones a la atmósfera y en el análisis de los efectos que se pronostican sobre la calidad del aire. La determinación del escenario depende de dos aspectos, el nivel de procesamiento y el tipo de combustible a utilizar. Como principio general se ha definido como escenario de evaluación el más desfavorable o conservador desde el punto de vista de las emisiones, a los fines de contar con la certeza que la evaluación que se haga comprende o incluye aquellas condiciones de operación menos extremas. En tal sentido, desde el punto de vista del nivel de procesamiento se ha definido la condición de operación a plena capacidad de ambos hornos; que implica la producción a plena capacidad de 1.570 t/día, la cual se presentaría cuando ambos hornos están operando al total de sus respectivas capacidades.

Para determinar el combustible que será considerado como parte del escenario de posibles análisis se ha elaborado el Cuadro 3.2-1, que resume las emisiones a la atmósfera para 69 mezclas de combustibles que potencialmente pueden ser utilizadas. Cabe destacar que para el

pronóstico de las emisiones del Cuadro 3.2-1, tanto de la condición sin Proyecto (SP) y con Proyecto (CP) se ha considerado la composición de Azufre en combustible que se indica en el Cuadro 3.2-2. Los cálculos del Cuadro 3.2-1, indican que la condición más desfavorables o de mayor emisión se presentaría con el uso del coque de petróleo en un 100%.

**Cuadro 3.2-1**  
**Emisiones de SO<sub>2</sub>**  
**Situación Sin Proyecto y Con Proyecto a Plena Capacidad**

ID	Combustible					Emisión SO <sub>2</sub> kg/hr	
	CB 6.500	CP 7.500	AU 8.000	GN 8.400	FO 9.720	SP	CP
1	100%	0%	0%	0%	0%	3,24	10,84
2	80%	20%	0%	0%	0%	5,96	19,92
3	60%	40%	0%	0%	0%	8,36	27,94
4	40%	60%	0%	0%	0%	10,48	35,04
5	20%	80%	0%	0%	0%	12,40	41,38
6	80%	0%	0%	20%	0%	2,32	7,74
7	60%	0%	0%	40%	0%	1,56	5,22
8	40%	0%	0%	60%	0%	0,94	3,14
9	20%	0%	0%	80%	0%	0,42	1,42
10	80%	0%	0%	0%	20%	3,70	12,38
11	60%	0%	0%	0%	40%	3,98	13,30
12	40%	0%	0%	0%	60%	4,14	13,82
13	20%	0%	0%	0%	80%	4,20	14,04
14	0%	100%	0%	0%	0%	14,04	46,94
15	0%	80%	0%	20%	0%	10,72	35,80
16	0%	60%	0%	40%	0%	7,68	25,66
17	0%	40%	0%	60%	0%	4,88	16,34
18	0%	20%	0%	80%	0%	2,34	7,82
19	0%	80%	0%	0%	20%	11,26	37,66
20	0%	60%	0%	0%	40%	9,00	30,08
21	0%	40%	0%	0%	60%	7,12	23,80
22	0%	20%	0%	0%	80%	5,54	18,52
23	0%	0%	0%	100%	0%	0,00	0,00
24	0%	0%	0%	80%	20%	1,06	3,54
25	0%	0%	0%	60%	40%	2,00	6,68
26	0%	0%	0%	40%	60%	2,84	9,46
27	0%	0%	0%	20%	80%	3,56	11,90

ID	Combustible					Emisión SO <sub>2</sub> kg/hr	
	CB	CP	AU	GN	FO	SP	CP
	<b>6.500</b>	<b>7.500</b>	<b>8.000</b>	<b>8.400</b>	<b>9.720</b>		
28	80%	0%	20%	0%	0%	2,64	8,84
29	60%	20%	20%	0%	0%	5,18	17,28
30	40%	40%	20%	0%	0%	7,42	24,76
31	20%	60%	20%	0%	0%	9,38	31,36
32	60%	0%	20%	20%	0%	1,84	6,16
33	40%	0%	20%	40%	0%	1,18	3,96
34	20%	0%	20%	60%	0%	0,64	2,14
35	60%	0%	20%	0%	20%	3,16	10,54
36	40%	0%	20%	0%	40%	3,46	11,60
37	20%	0%	20%	0%	60%	3,66	12,24
38	0%	80%	20%	0%	0%	11,16	37,32
39	0%	60%	20%	20%	0%	8,04	26,86
40	0%	40%	20%	40%	0%	5,20	17,36
41	0%	20%	20%	60%	0%	2,58	8,62
42	0%	60%	20%	0%	20%	8,76	29,26
43	0%	40%	20%	0%	40%	6,78	22,66
44	0%	20%	20%	0%	60%	5,14	17,18
45	0%	0%	20%	80%	0%	0,18	0,62
46	0%	0%	20%	60%	20%	1,26	4,20
47	0%	0%	20%	40%	40%	2,20	7,36
48	0%	0%	20%	20%	60%	3,04	10,14
49	0%	0%	20%	60%	20%	1,26	4,20
50	0%	0%	20%	40%	40%	2,20	7,36
51	0%	0%	20%	20%	60%	3,04	10,14
52	60%	0%	40%	0%	0%	2,14	7,16
53	40%	0%	40%	0%	0%	2,40	8,02
54	20%	0%	40%	0%	0%	2,64	8,80
55	40%	20%	40%	0%	0%	4,48	14,96
56	20%	40%	40%	0%	0%	6,56	21,94
57	40%	0%	40%	20%	0%	1,44	4,82
58	20%	0%	40%	40%	0%	0,86	2,88
59	40%	0%	40%	0%	20%	2,68	8,94
60	20%	0%	40%	0%	40%	3,02	10,10

ID	Combustible					Emisión SO <sub>2</sub> kg/hr	
	CB	CP	AU	GN	FO	SP	CP
	<b>6.500</b>	<b>7.500</b>	<b>8.000</b>	<b>8.400</b>	<b>9.720</b>		
61	0%	60%	40%	0%	0%	8,42	28,18
62	0%	40%	40%	20%	0%	5,52	18,42
63	0%	20%	40%	40%	0%	2,82	9,46
64	0%	40%	40%	0%	20%	6,38	21,26
65	0%	20%	40%	0%	40%	4,66	15,56
66	0%	0%	40%	60%	0%	0,38	1,28
67	0%	0%	40%	40%	20%	1,46	4,88
68	0%	0%	40%	20%	40%	2,42	8,06
69	0%	0%	40%	0%	60%	3,24	10,86

**Cuadro 3.2-2**  
**Contenido de Azufre en Combustible**  
**Considerado en Pronóstico de Emisiones por Chimenea**

Combustible	S, %
Carbón Bituminoso (CB)	1,3
Coque de Petróleo (CP)	6,5
Aceite Usado (AU)	0,5
Gas Natural (GN)	-
Fuel Oil (FO)	2,53

En síntesis, el escenario de análisis desarrollado para los fines de evaluar el efecto del Proyecto sobre la calidad del aire considera: i) la condición de operación a plena capacidad de ambos hornos (1.570 t/día), y ii) el uso del coque de petróleo en un 100% del requerimiento calórico. Ambas condiciones, determinan las condiciones más desfavorables o conservador del Proyecto desde el punto de vista de las emisiones.

### 3.3 FUENTES DE EMISIÓN

Las emisiones de material particulado se generan en las actividades asociadas a la calcinación de la caliza en la planta industrial. Incluye el manejo y la transferencia de materiales, la acción erosiva del viento sobre los acopios activos de materiales, el tránsito de los camiones, y las emisiones del horno de calcinación, así como sus instalaciones anexas.

Las fuentes de emisión de material particulado que posee el Proyecto objeto a evaluación, son las siguientes:

- Transporte de Caliza,
- Producción de Cal,
  - Descarga de Caliza
  - Traspasos internos de caliza
  - Clasificación de caliza
  - Horno de Cal
  - Clasificación & Chancado de Producto
  - Transferencias de Producto No Conforme
- Despacho de Cal
- Manejo de POREFI
- Manejo de Finos de Caliza
- Producción de Cal Hidratada
- Producción de Magnecal
- Producción de Cal Viva Molida
- Manejo de Combustible sólido
- Transporte Interno
  - Transporte cal
  - Transporte cal hidratada, cal viva molida y magnecal
- Área de estacionamiento Camiones Área exterior a la Planta
  - Erosión
  - Transito camiones internos y externos
- Erosión de Áreas Activas

Las emisiones de SO<sub>2</sub> se generan por la oxidación del azufre (S) contenido en la caliza y en los combustibles a utilizar.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> se generan como consecuencia de la oxidación del N<sub>2</sub> contenido en el aire de combustión.

### **3.4 FACTORES DE EMISIÓN**

#### **3.4.1 Factores de Emisión de MP10**

Para calcular las emisiones fugitivas de material particulado, en su fracción respirable (MP10), se han empleado los factores de emisión que proporciona el documento EPA "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources". Tales factores nos proporcionan una medida de la cantidad de polvo que se emite por volumen o masa de material que se transfiere o manipula, o bien, los kilómetros que se desplaza un vehículo.

Por otro lado, los factores de emisión MP10 empleados para la operación del horno fueron obtenidos a partir de la eficiencia del filtro (50 mg/m<sup>3</sup>N) y el monitoreo isocinético que se han efectuado durante el año 2008 y 2009. En la Tabla 1 se presentan los factores de emisión de MP10 empleados.

### 3.4.2 Factores de Emisión de SO<sub>2</sub>

No fue necesario utilizar factores de emisión para el SO<sub>2</sub>, por cuanto las mismas se obtuvieron en base a balances de masa, empleando para ello las características de los combustibles utilizados, de la caliza y a los requerimientos energéticos de los hornos, así como la capacidad de fijación del azufre.

El calculo de la fijación del horno, se ha efectuado a partir de los resultados de un muestreo efectuado a los gases emitidos por la chimenea, durante el año 2008 y 2009, los cuales se encuentran adjuntos en el Apéndice 2.C.

Cualquier carga de azufre que pueda provenir del uso del coque de petróleo, o cualquier combustible de la matriz de combustible, será reducida y fijada en una gran proporción (96%) en la matriz de sólidos calcáreos que circula al interior del horno de calcinación.

### 3.4.3 Factores de Emisión de NO<sub>x</sub>

La emisión de NO<sub>x</sub> se ha determinada a partir de la concentración de éste (164 ppm) que es controlado en el proceso de calcinación, como indicador de la temperatura del horno.

## 3.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

El Cuadro 3.5-1 resume la estimación de las emisiones a la atmósfera para las condiciones sin Proyecto y pronosticadas con Proyecto, para el escenario de análisis dado por: i) la condición de operación a plena capacidad de ambos hornos (1.570 t/día), y ii) el uso del coque de petróleo en un 100% del requerimiento calórico.

**Cuadro 3.5-1**  
**Emisiones a la Atmósfera**

**Situación Sin Proyecto y Con Proyecto a Plena Capacidad**

Agente Contaminante	SIN PROYECTO	CON PROYECTO
MP10, kg/hr	30,3	23,4
SO <sub>2</sub> , kg/hr <sup>†</sup>	14,04	46,94
NO <sub>x</sub> , kg NO <sub>2</sub> /hr (ppm)	18,9 (164)	63,1 (164)

Fuente: Elaboración Propia

<sup>†</sup> Máxima emisión con uso de 100% de coque de petróleo (ID 14 del Cuadro 3.2-1)

### 3.5.1 Emisiones de MP10

Respecto de las emisiones de MP10 del Cuadro 3.5-1, cabe señalar que aproximadamente el 29% son fijas, emitidas a través de chimenea; el resto de las emisiones son del tipo fugitivas, siendo las principales la resuspensión por tránsito de vehículos (26%), la clasificación y chancado de producto (16%) y la erosión (15%), la proporción restante corresponde principalmente a emisiones de polvos fugitivos por transferencia de material.

En las Tablas 2 y 3 se detallan los inventarios de las potenciales emisiones de MP10 para las condiciones sin Proyecto y con Proyecto, respectivamente. En general se observa que con la implementación del Proyecto, las potenciales emisiones de MP10 se reducirán las actuales potenciales emisiones de 30,3 a 23,4 kg/hr, una vez que la planta esté operando a plena capacidad. Esta reducción de las emisiones respecto a la situación actual responde principalmente a la incorporación de diversas medidas de mitigación, las que son detalladas en la Sección 7.0 del presente EIA y se resumen en las siguientes:

- La tolva de recepción de calizas contará con Filtro de Mangas. Encapsulamiento tolva actual y filtro de despolvamiento en la descarga a cinta.
- El transporte de caliza hasta los silos se realizará por correas encapsuladas, la cinta transportadora actual que sale de este sistema considera encapsulamiento en todo su trayecto y en el traspaso intermedio, a la altura de la tolva de finos, considera un filtro de despolvamiento.
- Los silos de caliza contarán con un sistema de despolvamiento.
- El transporte de caliza hasta el nuevo sistema de harneado de caliza y el Horno de Cal N°2, al igual que el Horno de Cal N°1, contarán con un Filtro de Mangas como medida de control de sus emisiones.
- La descarga del Horno de Cal N° 2 será realizada de manera encapsulada.
- La carga y descarga de los nuevos silos de almacenamiento de caliza contarán con Filtro de Mangas.
- La carga de los silos de cal, tanto nuevos como existentes, contará con Filtro de Mangas
- La descarga de los nuevos silos de cal se realizará mediante manga retráctil y contará con Filtro de Mangas para el control de sus emisiones.
- La descarga del POREFI y finos de caliza serán descargados de sus respectivas tolvas mediante manga retráctil y contarán con Filtro de Mangas.
- Se aplicará un sellante superficial al acopio de carbón bituminoso de tal manera de disminuir las emisiones por erosión eólica.
- Los caminos internos de la planta de mayor uso serán pavimentados y el resto tratados con Filler Calcáreo o similar.

- Los caminos utilizados para la recepción de calizas, ubicados en el sector noreste de la planta, serán tratados con Filler Calcáreo o similar.
- Se humectará el área utilizada para el estacionamiento de camiones para el despacho de productos, ubicada entre la planta y la carretera.

Por otro lado se adjunta en el Anexo 2.D-1 del presente Apéndice un Inventario detallado de las fuentes existentes en la Planta, operando a plena capacidad.

Cabe mencionar que los inventarios de emisiones que se presentan en la Tabla 2 y 3 del presente Apéndice indican las potenciales emisiones de cada fuente, considerando que en ellos se asume la operación a la máxima capacidad de la planta en cada una de las áreas productivas que ésta tiene. En relación a esto, es importante aclarar que los niveles de producción de cal viva molida, cal hidratada, y magnecal dependen directamente de la cantidad de cal producida, siendo utilizados en el inventario los máximos factores de actividad esperados.

Por otro lado es importante indicar que, tal como se explica en la Sección 7.0 del cuerpo principal del presente EIA, en la situación con proyecto los finos de caliza y el POREFI (polvos recuperados de los filtros) se dispondrán en el botadero de finos existente en la Mina Jilguero, y las emisiones asociadas a esta actividad contemplan como medida de control el tratamiento del camino con Filler Calcáreo, sin embargo esta medida será implementada por la Minera Jilguero y no por el Proyecto que se describe en el presente EIA.

### **3.5.2 Emisiones de SO<sub>2</sub>**

El cálculo que se resume en el Cuadro 3.5-2, muestra que la emisión de SO<sub>2</sub> se incrementaría, para el escenario más desfavorable con uso de 100% de coque de petróleo, de 14,04 a 46,94 kg/hr. El Cuadro 3.2-1, del presente apéndice, resume las emisiones de SO<sub>2</sub> para distintas mezclas de la matriz de combustibles.

En general, y aún cuando se prevé un incremento de las emisiones de SO<sub>2</sub>, las mismas serán menores, toda vez que su valores serán muy inferiores al criterio de 3 t/día establecido por el DS 185/1991 del Ministerio de Minería para calificar una fuente como “mega fuente de anhídrido sulfuroso”. En efecto, la máxima emisión de SO<sub>2</sub>, que se presentará para la condición “Con Proyecto”, con el uso del coque de petróleo, equivale a aproximadamente el 37% del criterio que determina una mega fuente. Dos son los motivos o razones principales que explican esta baja emisión de SO<sub>2</sub>: i) el bajo consumo de energía del horno, dado que el mismo es de alta eficiencia al emplear un precalentador; y ii) la naturaleza

alcalina del horno que permite fijar casi la totalidad del azufre que contiene el combustible en la matriz porosa de la cal, mediante un mecanismo conocido como sulfatación.

En efecto, como se señala en la Sección 3.1.2, de este Apéndice la naturaleza alcalina de los hornos para la fabricación de cal, proveen las condiciones para la fijación del SO<sub>2</sub> en el producto, reduciendo con ello el contenido de SO<sub>2</sub> del gas que se emite. La presencia de la caliza (CaCO<sub>3</sub>) y cal (CaO) reducen el SO<sub>2</sub> generado en los hornos, con una efectividad de abatimiento del 96%, es decir, tan solo un 4% de azufre que ingresa al horno, tanto en la caliza como en el combustible, se emite a la atmósfera como anhídrido sulfuroso. El cálculo de la fijación del horno, se ha efectuado a partir de los resultados de un muestreo efectuado a los gases emitidos por la chimenea.

### 3.5.3 Emisiones asociadas al DS 45/2007 MINSEGPRES

El artículo 7 del DS 45/2007 MINSEGPRES establece condiciones de operación referidas a temperatura mínima de los gases en la zona de combustión (850 °C y 1100 °C si se procesan sustancias o materiales con más de un 1% de cloro en peso). En el Cuadro 3.5-2 se presentan las características de operación del horno de Cal en donde se indica que se cumplirá con lo establecido en el decreto respecto a la temperatura mínima de operación.

**Cuadro 3.5-2**  
**Características Horno de Cal N° 2**

Características	Horno de Cal N° 2 (Nuevo)
Tipo de horno	Rotatorio
Dimensiones	D = 4, 8 m
	L = 65 m
Capacidad de Producción	1.100 t/día de Cal
Temperatura de Calcinación	1.050 – 1.200°C
Temperatura de Salida	80°C
Altura chimenea	30 m
Temperatura Salida gas	180 – 250°C
Diámetro chimenea	2,3 m

Fuente: Elaboración Propia

El cuadro 3.5-3 presenta los resultados de un muestreo efectuado al Horno de Cal N°1, para una condición de operación de coincineración, cuyo informe se presenta en el Apéndice 2.D. El mismo cuadro proporciona los valores normados. Los resultados muestran que el Horno de Cal N°1 cumple con los parámetros normados por el DS 45/2007 del MINSEGPRES. Para este nuevo horno que será implementado con este Proyecto, y que operará en condiciones similares a las que actualmente opera el Horno de Cal N° 1, se

espera que se presenten valores de emisión similares, lo que implicará el cumplimiento del referido decreto.

**Cuadro 3.5-3**  
**Emisiones asociadas al DS 45/2007 MINSEGPRES medidos en Chimenea Horno de Cal N°1, mg/m<sup>3</sup>N**

Contaminante	Valores Límites emisión, según Tabla N° 2 DS 45, mg/m <sup>3</sup> N	Promedio Concentraciones Medidas Muestreo Isocinético Dic.08
Material Particulado Total (PTS)	50	6,3
Carbono Orgánico Total (COT)	20	4,4
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1	<0,004
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1	<0,02
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (Be)	0,1	<0,02
Plomo y sus compuestos, indicado como metal (Pb)	1	<0,04
Arsénico (As) + Cobalto (Co) + Niquel (Ni) + Selenio (Se) + Telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1	0,2
Antimonio (Sb) + Cromo (Cr) + Manganeso (Mn) + Vanadio (V)	5	0,2
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos, indicados como ácido clorhídrico (HCl)	20	<5
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	2	<0,5
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	5	0,08
Dixinas y Furanos TEQ (ng/m <sup>3</sup> N)	0,2	0,087

Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados del muestreo del Horno de Cal N°1 ratifican que las condiciones termodinámicas del horno destruye prácticamente la totalidad de los hidrocarburos. Las dioxinas y furanos, de los hornos de cal como el que se proyecta instalar con la implementación de este Proyecto, se encuentran en niveles que se sitúan en torno al 10% del valor normado. Una situación similar se presenta con los compuestos inorgánicos fluorados y clorados, toda vez que el horno no maneja combustibles o sustancias precursoras de las mismas.

Las particularidades tecnológicas de este horno son las siguientes:

- Elevada temperatura de llama, de 1800 °C;
- Elevada temperatura del material de cocción, sobre 1200 °C;
- Elevado tiempo de residencia del material, sobre 20 minutos;
- Elevado tiempo de residencia de los gases, mayores a 6 segundos;
- Alta turbulencia en los gases;
- Número de Reynold superior a 100.000;
- Atmósfera oxidante;
- Ambiente interior alcalino;
- Alta absorción de azufre y metales;
- Proceso en contra corriente; y
- Elevada eficiencia de destrucción de compuestos orgánicos.

## SECCIÓN 4.0 – MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA

A continuación se determina y analiza el efecto que se generaría sobre la calidad del aire, debido a la implementación del Proyecto.

Para la estimación del aporte de las fuentes sobre la concentración atmosférica de MP10, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, se utilizó el modelo de dispersión atmosférica CALPUFF para simular la trayectoria de emisiones provenientes de distintas fuentes emisoras. A continuación se describe este modelo, se define el dominio de modelación junto con los receptores de interés y la información meteorológica y de terreno que requiere el modelo. En el último apartado de esta sección se exponen los resultados del modelo.

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO CALPUFF

Se aplicó el modelo de dispersión atmosférica, CALPUFF, el cual pronostica los efectos de las emisiones sobre la calidad del aire en base a los resultados del inventario de emisiones. Este modelo ha sido recomendado por la Agencia de Protección de los Estados Unidos (US EPA) y ha sido aceptado por la autoridad ambiental para efectos de la evaluación de impactos en la calidad del aire de diversos proyectos.

CALPUFF es un modelo de dispersión lagrangiano, que considera modelar la pluma de emisión como Puff (paquetes discretos de contaminantes), tiene la conveniencia de modelar desde metros hasta cientos de kilómetros a partir de una fuente, puede estimar emisiones que van desde una hora hasta un año, tiene la capacidad de trabajar con información meteorológica tridimensional.

La EPA recomienda el uso de este modelo para el transporte de contaminantes a gran escala y también a escala local donde exista variación meteorológica, efectos debido al terreno y variaciones espaciales significativas en la intensidad y dirección de los vientos.

El sistema de modelación CALPUFF incluye tres componentes principales: CALMET, CALPUFF y CALPOST, además de una serie de preprocesadores diseñados para incluir en el modelo datos meteorológicos y geofísicos.

CALMET es un modelo meteorológico que simula campos de viento y temperatura en un dominio de modelación engrillado y tridimensional. También produce campos en dos-dimensiones de variables como altura de mezcla, características de superficie y propiedades de dispersión.

CALPUFF modela el transporte y dispersión de contaminantes emitidos por las fuentes emisoras en forma de puff, procesándolos a través del dominio de modelación. La salida primaria de este modelo contiene cada hora de concentración o flujo de deposición, evaluados en uno o más receptores determinados.

CALPOST encargado de post-procesar las salidas de CALPUFF creando los archivos con las tabulaciones necesarias para la evaluación de los resultados.

Por otro lado cabe mencionar que CALPUFF emplea algoritmos de cálculo de la transformación química para la estimación de nitratos y sulfatos a partir de las emisiones de SO<sub>2</sub> y de NO<sub>x</sub>.

## **4.2 ESCENARIO DE MODELACIÓN**

### **4.2.1 Dominio del Modelo**

El dominio del modelo se refiere al territorio sobre el cual se aplicó la dispersión atmosférica. El dominio de esta modelación cubre una superficie aproximada de 64 x 64 km, limitada por las coordenadas geográficas (UTM 19):

- Este: 390.028 a 358.027
- Norte: 6.982.497 a 6.950.497

### **4.2.2 Receptores**

Para la modelación se definió una grilla rectangular en el dominio del modelo compuesta por 19 columnas y 19 filas, distantes 500 m entre sí. Además, se consideró cuatro receptores adicionales, ubicados en la localización de la estación de control de INACESA Copiapó, de la estación Paipote, de la estación Copiapó y de la estación Tierra Amarilla. Luego, en total se consideraron 264 receptores donde el modelo determinó la concentración que aportan las emisiones determinadas para las condiciones sin Proyecto y con Proyecto.

### **4.2.3 Meteorología**

El análisis consideró la información meteorológica tanto superficial como en altura para el periodo comprendido desde julio de 2008 hasta junio de 2009. La meteorología superficial empleada consideró los registros horarios de cinco estaciones meteorológicas de superficie: INACESA Copiapó, Paipote, Copiapó, Principal y Tierra Amarilla.

Para la información meteorológica en altura se utilizaron los registros que se toman en la estación de la ciudad de Antofagasta.

#### 4.2.4 Fuentes de Emisión

Se han modelado las fuentes de emisión identificadas en la Sección 3.5 de este apéndice. La nómina para la condición sin Proyecto y con Proyecto se detallada en las Tablas 2 y 3 respectivamente. La magnitud de las emisiones modeladas corresponden a aquellas determinadas para la situación más desfavorables, dada para la condición de plena operación de los hornos, y que se presenta en el Cuadro 3-5-1

#### 4.2.5 Topografía

Para la modelación efectuada en esta oportunidad se consideró la topografía del terreno, que se muestra en la Figura 2.D-1 de este Apéndice.

### 4.3 RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados de las modelaciones efectuadas.

Cabe precisar que los resultados de concentración que se exponen a continuación han sido aproximado al entero más cercano, tal cual se establecen en los siguientes decretos: DS 59/1998 de MINSEGPRES Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP10, y DS 113/2003 del MINSEGPRES Establece Norma Primaria de Calidad De Aire para Dióxido de Azufre. Esta aproximación se aplica para calcular los estadísticos que dichos decretos regulan, a partir de las mediciones de calidad del aire. Así por ejemplo, toda vez que el resultado de la modelación arroja un resultado inferior a  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se aproxima a cero (0), de lo contrario se aproxima a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.3.1 MP10

Los resultados de la modelación de dispersión atmosférica para la condición con Proyecto, es decir con ambos hornos operando a plena capacidad, se muestran en las Figuras 2.D-2 y la 2.D-4, cada una de las cuales muestra las isolíneas de concentración de MP10 como concentración media anual y  $P_{98}$  de la concentración de 24 horas respectivamente. Los resultados de la modelación para la condición sin Proyecto, esto es la situación actual sólo con el Horno de Cal N°1 operando, se presentan en las Figuras 2.D-3 y 2.D-5 que muestran las isolíneas de concentración de MP10 como concentración media anual y  $P_{98}$  de la concentración de 24 horas respectivamente.

En general se observa que la dispersión del MP10 responde al patrón de viento imperante en el área, esto es se dispersan hacia el sudeste-noreste, como resultado de la predominancia de los vientos sudoeste y noroeste. El Cuadro 4.3-1 se muestra el aporte del

proyecto en la concentración de MP10 en cuatro receptores de interés (Copiapó, Paipote, Tierra Amarilla y la estación de control de INACESA Copiapó).

**Cuadro 4.3-1**  
**Resumen del Efecto del Proyecto – MP10,  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$**

Estaciones	Percentil 98			Media Anual		
	Aporte sin Proyecto	Aporte con Proyecto	Impacto	Aporte sin Proyecto	Aporte con Proyecto	Impacto
Copiapó	2	2	S/I	0	0	S/I
Paipote	3	2	-1	0	0	S/I
Tierra Amarilla	1	1	S/I	0	0	S/I
INACESA Copiapó	153	130	-23	34	30	-4

Fuente: Elaboración Propia.

Es importante destacar que, tal como se aprecia en las Figuras 2.D-2 y 2.D-3, el pronóstico de la modelación con CALPUFF muestra que los efectos de INACESA Copiapó, se mantendrán a una escala local, en el entorno de la planta, distante de áreas pobladas como Paipote y Copiapó. En efecto, los impactos se circunscriben a las inmediaciones de la planta. La localidad más próxima se sitúa a unos 8 km. al SW de la planta INACESA Copiapó, donde los efectos del Proyecto son prácticamente nulos, según lo demuestra la modelación de calidad del aire efectuada. En general, la modelación indica que el aporte de la planta INACESA Copiapó como valor esperado o media anual se mantendrá en 0  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en las tres localidades analizadas. En otras palabras, el aporte actual de INACESA Copiapó a las tres localidades analizadas es nulo, y seguirá igual en virtud de las medidas de mitigación que la ingeniería ha incluido al Proyecto.

Por su parte, los resultados de la modelación pronostican que la estación INACESA Copiapó, la concentración de MP10, expresada como media anual, disminuirá de 34 a 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , mientras que el percentil 98 (P98) de la concentración de 24 horas disminuirá de 153 a 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  como P<sub>98</sub> de la concentración de 24 horas. Los valores de concentración expresado como media anual y P98 han sido pronosticados para la condición más desfavorable, esto es con la planta a plena capacidad en operación.

Esta reducción en la concentración de MP10, se debe a las medidas de mitigación contempladas para la etapa de operación del Proyecto, las que son detalladas en la Sección 7.0 del cuerpo principal del EIA.

#### 4.3.2 Efecto sobre los Niveles de SO<sub>2</sub>

Al igual que con el MP10, los efectos del Proyecto sobre los niveles de concentración SO<sub>2</sub> en el aire se presentarán en el entorno de la planta. Las emisiones no alcanzarán las áreas pobladas más cercanas como Paipote y Copiapó. Una visión gráfica de los resultados de la modelación de dispersión atmosférica se muestra en las Figura 2.D-6, 7, 8 y 9. En las Figuras 2.D -6 y 7 se muestran las isolíneas de concentración de SO<sub>2</sub>, como concentración media anual para la situación de operación actual y la operación con proyecto, respectivamente. Por otro lado en las figuras 2.D -8 y 9 se muestran las isolíneas de concentración de SO<sub>2</sub>, como P99 de la concentración de 24 horas para la situación de operación actual u la operación con proyecto, respectivamente.

En general se observa que la dispersión del SO<sub>2</sub> responde al patrón de viento imperante en el área, esto es los mismos se dispersan hacia el sudeste-noreste, como resultado de la predominancia de los vientos sudoeste y noroeste.

A continuación en el Cuadro 4.3-2 se muestra el aporte de INACESA Copiapó, tanto para la situación actual como la situación con Proyecto, en la estación de INACESA Copiapó. El mismo cuadro presenta el pronóstico para la estaciones monitoras de las localidades más próxima. Los valores modelados incluyen la concentración media anual, el percentil 99 (P99), la máxima concentración media de 24 horas y la máxima concentración horaria. La concentración media anual y P99 son variables reguladas por la norma primaria, mientras que la concentración de 24 horaria y horaria, junto con la media anual, son reguladas por la norma anual.

**Cuadro 4.3-2**  
**Resumen del Efecto del Proyecto - SO<sub>2</sub>, µg/m<sup>3</sup>N**

Estaciones	Máx Horaria			Máx diaria			Percentil 99			Media Anual		
	Aporte sin Proyecto	Aporte con Proyecto	Impacto	Aporte sin Proyecto	Aporte con Proyecto	Impacto	Aporte sin Proyecto	Aporte con Proyecto	Impacto	Aporte sin Proyecto	Aporte con Proyecto	Impacto
Copiapó	8	25	17	1	2	1	0	1	1	0	0	S/I
Paipote	16	43	27	2	5	3	1	2	1	0	0	S/I
Tierra Amarilla	4	13	9	1	4	3	1	2	1	0	0	S/I
INACESA Copiapó	41	129	88	3	9	6	2	3	1	0	0	S/I

Fuente: Elaboración Propia

El análisis que se expone a continuación se efectúa en términos de la norma primaria y secundaria.

En relación a las variables reguladas por la norma primaria, los resultados de la modelación pronostican que en la estación de control INACESA Copiapó, la concentración de SO<sub>2</sub> no se incrementará, como media anual, mientras que sobre los valores del P99 de la concentración de 24 horas el incremento pronosticado será de 1 µg/m<sup>3</sup>N de 2 a 3 µg/m<sup>3</sup>N. No obstante este incremento, la modelación permite pronosticar que los valores de concentración resultante serán inferiores a la norma primaria, tanto la diaria (250 µg/m<sup>3</sup>N) como la anual (80 µg/m<sup>3</sup>N).

Una situación similar se pronostica para las estaciones monitoras de las localidades analizadas, esto es un incremento nulo para la media anual y de 1 µg/m<sup>3</sup>N para el P99. En efecto, al evaluar los impactos en las estaciones monitoras existentes en los centros poblados más cercanos, los resultados de la modelación pronostican los valores de concentración resultante serán inferiores a la norma primaria, tanto la diaria (250 µg/m<sup>3</sup>N) como la anual (80 µg/m<sup>3</sup>N).

El Cuadro 4.3-3 contrasta los resultados del impacto del proyecto, con la línea base y resultante en la estación de control. La síntesis de este cuadro permite concluir que no obstante este incremento, la modelación permite pronosticar que los valores de concentración resultante serán inferiores a la norma primaria

**Cuadro 4.3-3**  
**Resumen Concentraciones SO<sub>2</sub> estimadas, en µg/m<sup>3</sup>N**

	Norma, µg/m <sup>3</sup> N	LB, µg/m <sup>3</sup> N	Impacto, µg/m <sup>3</sup> N	Resultante, µg/m <sup>3</sup> N	% Norma
Media Anual	80	13	0	13	16%
P99	250	51	1	52	21%
C. 24 horas	365	60	6	66	18%
C 1 hora	1000	646	88	726	73%

Respecto de las variables reguladas por la norma secundaria, se observa que tanto el valor de concentración de 24 horas como la concentración horaria resultante serán inferiores a las normas respectivas. Respecto de este análisis y aun cuando la norma secundaria no será superada, es oportuno precisar que en el entorno del Proyecto no existen recursos ambientales que se puedan ver afectado por las emisiones del Proyecto.

En síntesis, los resultados del análisis indican que aún cuando la emisión del INACESA Copiapó se incrementarán con el Proyecto, la concentración resultante en la estación de

control no superará la norma primaria ni secundaria para SO<sub>2</sub>; ello en consideración a que las emisiones del Proyecto y de la instalación en su conjunto serán menores.

#### 4.3.3 Efecto sobre los Niveles de NOx

Los efectos del Proyecto sobre los niveles de NOx no alcanzarán las localidades más cercanas como Paipote y Copiapó, estos efectos solo serán a escala local, en el entorno de la Planta. Los resultados de la modelación de dispersión atmosférica se muestran en las Figuras 2.D-10 a la 2.D-13. Las Figuras 2.D-10 y 2.D-11 muestran las isolíneas de concentración de NOx, como concentración media anual tanto para la situación sin Proyecto como la situación con Proyecto. En general se observa que la dispersión del NOx también responde al patrón de viento imperante en el área, esto es los mismos se dispersan hacia el sudeste-noreste, como resultado de la predominancia de los vientos sudoeste y noroeste.

A continuación en el Cuadro 4.3-4 se muestra el aporte del Proyecto, tanto para la situación actual como la situación con Proyecto en la estación INACESA Copiapó.

**Cuadro 4.3-4**  
**Resumen del Efecto del Proyecto - NOx, µg/m<sup>3</sup>N**

Estaciones	Percentil 99			Media Anual		
	Aporte Sin Proyecto	Aporte Con Proyecto	Impacto	Aporte Sin Proyecto	Aporte Con Proyecto	Impacto
<b>INACESA Copiapó</b>	31	61	30	0,	1	1

Fuente: Elaboración Propia

## TABLAS

**INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.  
PROYECTO AMPLIACIÓN  
PLANTA DE CAL COPIAPÓ  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

**TABLA 1  
FACTORES DE EMISIÓN DE MP10 PARA LA OPERACIÓN DE INACESA<sup>1</sup>**

<b>Actividad Generación de Polvo</b>	<b>Factor Emisión MP10</b>	<b>Fuente</b>
1.- Actividad de Construcción	2,69 t/ha-mes	Sección 13.2.3 del AP42, 1995
2.- Transferencia de Material	$Fe = 0,35 * 0,0016 \frac{(U / 2,2)^{1,3}}{(M / 2)^{1,4}}$ , kg/t	Sección 13.2.4 del AP42, 1995
3.- Tránsito en sitios industriales: Camino sin Pavimento	$Fe = 0,2819 * 1,5 * \left(\frac{f}{12}\right)^{0,9} \left(\frac{W}{2,7}\right)^{0,45}$ , kg/veh-km	Sección 13.2.2 del AP42, 2003
Camino con Pavimento	$Fe = 4,6 * (sL/2)^{0,65} * (W/2,7)^{1,5}$ , kg/veh-km	
4.- Erosión	$E = 0,95 \left(\frac{S}{1,5}\right) * \left(\frac{f}{15}\right) * \left(\frac{365 - p}{235}\right)$ , kg/día-ha	Sección 13.2.5 de AP42, 1995
5.- Chancado Primario	0,0042 kg/t	Sección 11.17 del AP42, 1995
6.- Clasificación Primaria	0,003 kg/t	Sección 11.17 del AP42, 1995
7.- Chancado Secundario	0,1550 kg/t	Sección 11.17 del AP42, 1995
8.- Clasificación Secundaria	0,00065 kg/t	Sección 11.17 del AP42, 1995
9.- Alimentador Vibratorio	0,000008	Sección 11.19-2 del AP42, 2004
10.- Horno Cal N°1 c/Filtro de Mangas*	0,07 kg/t	Muestreo Isocinético
11.- Horno Cal N°2 c/Filtro de Mangas*	0,09 kg/t	Muestreo Isocinético
12.- Molino de Carbón	0,009 kg/t	Webfire 5.0
A: Superficie tronadura, m <sup>2</sup> d: altura de caída material, m M: humedad del material, % f: contenido de fino del camino o terreno, %		W: peso medio de vehículos, ton U: velocidad media del viento, m/s sL: carga de finos de la superficie del pavimento, g/m <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Elaboración propia

\*Considerando garantía de fabricante. Incluye enfriador de producto

**TABLA 2**  
**INVENTARIO DE EMISIÓN POTENCIAL DE MP10 PARA LA OPERACIÓN ACTUAL <sup>(2)</sup>**

ID	Fuente de Emisión	MP10	Factor de Actividad <sup>(6)</sup>	Eficiencia Abatimiento	Tipo de Medida de Abatimiento <sup>(5)</sup>	Emisión MP10, t/año
<b>100</b>	<b>Transporte de Caliza</b>					
101	Tramo 1	2,79893 kg/T-km	3653,57 veh.-Km/año		s/m	10,226
102	Tramo 2	0,38508 kg/T-km	15012,86 veh.-Km/año		s/m	5,781
103	Tramo 3	0,38508 kg/T-km	26571,43 veh.-Km/año		s/m	10,232
<b>200</b>	<b>Producción de Cal</b>					
201	Descarga Caliza (a/desde tolva de recepción)	0,00858 kg/t	310000,00 ton/año		s/m	2,659
202	Trasposos internos de caliza hasta harnero (6 transferencias)	0,01609 kg/t	310000,00 ton/año		s/m	4,987
203	Cintas Transportadoras de Caliza hasta precalentador (5 cintas)	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,093 ha	11%	Una de las cintas se encuentra encapsulada (75% eficiencia)	0,531
204	Clasificación Caliza	0,03000 kg/t	310000,00 ton/año		s/m	9,300
205	Descarga de harnero a precalentador (2 transferencias)	0,00858 kg/t	279000,00 ton/año	38%	Una de las descargas encapsulada (75% eficiencia)	1,495
206	Horno Cal 1 c/Filtro	0,07 t/día <sup>(1)</sup>	365 día/año		Filtro de Manga	27,304
207	Descarga de Horno de cal	0,00429 kg/t	155000,00 ton/año		s/m	0,665
208	Clasificación Producto	0,00065 kg/t	155000,00 ton/año		s/m	0,101
209	Chancado de Producto	0,15500 kg/t	155000,00 ton/año		s/m	24,025
210	Descarga Chancado	0,00429 kg/t	155000,00 ton/año		s/m	0,665
211	Transferencia Producto No Conforme (4 transferencias)	0,01715 kg/t	4650,00 ton/año		s/m	0,080
212	Erosión Áreas Activas	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,09 ha <sup>†</sup>		s/m	0,575
<b>300</b>	<b>Despacho Cal</b>					
301	Carga de cal en silos	0,00429 kg/t	155000 ton/año	85%	Filtro tipo Jet Pulse	0,100
302	Descarga de cal desde silos	0,00429 kg/t	108500 ton/año	18%	Filtro de Mangas en una de las descargas	0,381
303	Descarga de cal desde silos encapsulado	0,00429 kg/t	7983 ton/año	75%	Encapsulado	0,009
<b>400</b>	<b>Manejo POREFI</b>					
401	Carga camión	0,00429 kg/t	14199 ton/año		s/m	0,061
402	Traslado a Acopio	1,81695 kg/T-km	2028 veh.-Km/año		s/m	3,685
403	Descarga en Acopio	0,00429 kg/t	14199 ton/año		s/m	0,061
404	Erosión de Acopio	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	1,92 ha <sup>†</sup>		s/m	12,269
405	Transporte Material de Rechazo a acopio POREFI	1,81695 kg/T-km	664,29 veh.-Km/año		s/m	1,207
<b>500</b>	<b>Manejo Finos de Caliza</b>					
501	Descarga finos de Caliza a tolva y Camión (2 transferencias)	0,00858 kg/t	31000,0 ton/año		s/m	0,266
502	Traslado a Acopio	1,81695 kg/T-km	1771,4 veh.-Km/año		s/m	3,219
503	Descarga en Acopio	0,00429 kg/t	31000,0 ton/año		s/m	0,133
504	Erosión de Acopio	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,64 ha <sup>†</sup>		s/m	4,090
<b>600</b>	<b>Producción de Cal Hidratada/Cal Viva Molida/Magnecal</b>					
601	Cal Hidratada (3 transferencias)	0,01286 kg/t	13000,0 ton/año		s/m	0,167
602	Magnecal (5 transferencias y molino)	0,04469 kg/t	80000 ton/año	85%	Filtro de Mangas en molino	3,575
603	Cal Viva Molida	0,15962 kg/t	100000 ton/año		s/m	15,962
604	Erosión de áreas activas	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,25 ha <sup>†</sup>		s/m	1,597
605	Área Mezclado Magnecal	0,00429 kg/t	80000,00 t/año		s/m	0,343
606	Transporte de Magnecal a tolva de recepción	1,17460 kg/T-km	40000,00 veh.-Km/año		s/m	46,984
607	Descarga de Cal fuera de especificación en tolva auxiliar	0,00429 kg/t	4650,00 t/año		s/m	0,020
<b>700</b>	<b>Manejo de Combustible Sólido</b>					
701	Trasposos (4 transferencias)	0,01715 kg/t	30310 t/año	66%	Trasposos encapsulados a excepción descarga en acopio de carbón bituminoso	0,179
702	Molino de Carbón	0,009 kg/t	30310 t/año		Filtro de Manga	0,273
703	Erosión Acopio Carbón	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,15 ha	75%	Encostrante	0,240
<b>800</b>	<b>Transporte Interno <sup>(3)</sup></b>					
801	Transporte interno de cal	1,81695 kg/T-km	1611 veh.-Km/año		s/m	2,928
802	Transporte interno de Cal Hidratada/Cal Viva Molida/Magnecal	1,81695 kg/T-km	6893 veh.-Km/año		s/m	12,524
803	Transporte interno de Combustible	1,81695 kg/T-km	2332 veh.-Km/año		s/m	4,236
<b>900</b>	<b>Área de Estacionamiento Exterior <sup>(4)</sup></b>					
901	Tránsito de camiones de la Planta	1,81695 kg/T-km	5018 veh.-Km/año		s/m	9,118
902	Tránsito externo	1,81695 kg/T-km	16009 veh.-Km/año		s/m	29,087
903	Erosión	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,34 ha		s/m	2,173
<b>1000</b>	<b>Acopios</b>					
1001	Acopio Magnecal	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,20 ha		s/m	1,278
1002	Acopio Calizas de Emergencia	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,96 ha		s/m	6,134
1003	Acopio Caliza Magnesiana	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,64 ha		s/m	4,090

<sup>(1)</sup> Garantía Proveedor, emisión de 50 mg/m<sup>3</sup>N

<sup>†</sup> Representa el área activa del depósito

<sup>(2)</sup> Inventario en bases a capacidades máximas de producción en cada una de sus áreas

<sup>(3)</sup> Considera 500 m de camino interno. Las emisiones de las fuentes de emisión 801 y 802 no son aditivas.

<sup>(4)</sup> Considera camino de 170 m

<sup>(5)</sup> s/m: sin medida de mitigación

<sup>(6)</sup> Máximos factores de actividad esperados

**TABLA 3**  
**INVENTARIO DE EMISIÓN POTENCIAL DE MP10 PARA LA OPERACIÓN PROYECTADA (2)**

ID	Fuente de Emisión	MP10	Factor de Actividad (6)	Eficiencia Abatimiento	Tipo de Medida de Abatimiento (5)	Emisión MP10, t/año
<b>100</b>	<b>Transporte de Caliza</b>					
101	Tramo 1	2,79893 kg/T-km	13105,71 veh.-Km/año	75%	Filler Calcáreo	9,171
102	Tramo 2	0,38508 kg/T-km	53852,57 veh.-Km/año	75%	Filler Calcáreo	5,184
<b>200</b>	<b>Producción de Cal</b>					
201	Descarga Caliza (a/desde tolva de recepción)	0,00172 kg/t	1112000,00 ton/año	80%	Encapsulado de Tolva de recepción y Filtro de Manga en la descarga a Cinta Transportadora	1,907
202	Trasposos internos de caliza hasta harnero (6 transferencias)	0,01609 kg/t	1112000,00 ton/año	85%	Encapsulado de correas y Filtro de manga en descarga a/de silo 3 y 4 nuevos	2,684
203	Cintas Transportadoras de Caliza hasta precalentador(5 cintas)	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,13 ha	79%	Encapsulado Cinta desde tolva de recepción de caliza y entre Silos 3 y 4 nuevos	0,178
204	Clasificación Caliza	0,03000 kg/t	1112000,00 ton/año	85%	Filtro de Mangas en ambos harneros	5,004
205	Descarga de harnero a precalentador (2 transferencias)	0,00858 kg/t	1000800,00 ton/año	75%	Encapsulado	2,146
206	Horno Cal 1 c/Filtro	0,07 t/día <sup>(1)</sup>	365 día/año		Filtro de Mangas	27,304
207	Horno Cal 2 c/Filtro	0,09 t/día <sup>(1)</sup>	365 día/año		Filtro de Mangas	32,850
208	Descarga de Horno de cal	0,00429 kg/t	556000,00 ton/año	85%	Filtro de Mangas	0,358
209	Clasificación Producto (8)	0,00065 kg/t	556000,00 ton/año	61%	Filtro de Manga en ambos sistemas de clasificación de producto	0,140
210	Chancado de Producto (8)	0,15500 kg/t	556000,00 ton/año	61%	Filtro de Manga en el nuevo sistema de chancado de producto	33,348
211	Descarga Chancado	0,00429 kg/t	556000,00 ton/año	61%	Filtro de Manga en el nuevo sistema de chancado de producto	0,923
212	Transferencia Producto No Conforme (4 transferencias)	0,01715 kg/t	16680,00 ton/año		s/m	0,286
213	Erosión Áreas Activas	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,09 ha <sup>†</sup>		s/m	0,575
<b>300</b>	<b>Despacho Cal</b>					
301	Carga de cal en silos	0,00429 kg/t	556000 ton/año	85%	Filtro tipo jetpulse	0,358
302	Descarga de cal desde silos	0,00429 kg/t	389200 ton/año	61%	Filtro en descargas en silo 1 y los nuevos silos	0,646
303	Descarga de cal desde silos encapsulado	0,00429 kg/t	28634 ton/año	75%	Encapsulado	0,031
<b>400</b>	<b>Manejo POREFI</b>					
401	Carga camión	0,00429 kg/t	16425 ton/año	85%	Filtro de Manga	0,011
402	Traslado a Acopio	0,46642 kg/T-km	2527 veh.-Km/año	75%	Filler Calcáreo (7)	0,295
403	Descarga en Acopio	0,00429 kg/t	16425 ton/año		s/m	0,070
404	Erosión de Acopio	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	1,92 ha <sup>†</sup>		s/m	12,269
405	Transporte Material de Rechazo a acopio POREFI	0,46642 kg/T-km	248,96 veh.-Km/año	75%	Filler Calcáreo (7)	0,029
<b>500</b>	<b>Manejo Finos de Caliza</b>					
501	Descarga finos de Caliza a tolva y Camión (2 transferencias)	0,00858 kg/t	111200,0 ton/año	85%	Filtro de Mangas en descarga Finos de Caliza tolva Horno N°2	0,143
502	Traslado a Acopio	0,46642 kg/T-km	6843,1 veh.-Km/año	75%	Filler Calcáreo (7)	0,798
503	Descarga en Acopio	0,00429 kg/t	111200,0 ton/año		s/m	0,477
504	Erosión de Acopio	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,64 ha <sup>†</sup>		s/m	4,090
<b>600</b>	<b>Producción de Cal Hidratada/Cal Viva Molida/Magnecal</b>					
601	Cal Hidratada (3 transferencias)	0,01286 kg/t	7000,0 ton/año		s/m	0,090
602	Magnecal (5 transferencias y molino)	0,04469 kg/t	20000 ton/año		Filtro de Mangas en molino	0,894
603	Cal Viva Molida	0,15962 kg/t	45000 ton/año			7,183
604	Erosión de áreas activas	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,25 ha <sup>†</sup>		s/m	1,597
605	Tranporte de Magnecal a tolva de recepción	1,17460 kg/T-km	10000,00 veh.-Km/año		s/m	11,746
606	Área Mezclado Magnecal	0,00429 kg/t	20000,00 t/año		s/m	0,086
607	Descarga de Cal fuera de especificación en tolva auxiliar	0,00429 kg/t	16680,00 t/año		s/m	0,072
<b>700</b>	<b>Manejo de Combustible Sólido</b>					
701	Trasposos (4 transferencias)	0,01715 kg/t	101616 t/año	75%	Trasposos encapsulados a excepción descarga en acopio de carbón bituminoso	0,436
702	Molino de Carbón	0,009 kg/t	101616 t/año		Filtro de Mangas	0,915
703	Erosión Acopio Carbón	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,15 ha	80%	Encostrante	0,192
<b>800</b>	<b>Transporte Interno (3)</b>					
801	Transporte interno de cal por camino pavimentado	0,18230 kg/T-km	18060 veh.-Km/año		Hormigón	3,292
802	Transporte interno de Cal Hidratada/Cal Viva Molida/Magnecal por camino	0,18230 kg/T-km	2571 veh.-Km/año		Hormigón	0,469
803	Transporte interno de Combustible por camino pavimentado	0,18230 kg/T-km	6253 veh.-Km/año		Hormigón	1,140
804	Transporte interno de Combustible por camino sin pavimentar tratado	1,81695 kg/T-km	1563 veh.-Km/año	75%	Filler Calcáreo	0,710
<b>900</b>	<b>Área de Estacionamiento Exterior (4)</b>					
901	Tránsito de camiones de la Planta	1,81695 kg/T-km	10283 veh.-Km/año	55%	Humectación	8,408
902	Tránsito externo	1,81695 kg/T-km	16009 veh.-Km/año	55%	Humectación	13,089
903	Erosión	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,34 ha	55%	Humectación	2,173
<b>1000</b>	<b>Acopios</b>					
1001	Acopio Magnecal	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,20 ha		s/m	1,278
1002	Acopio Calizas de Emergencia	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,96 ha		s/m	6,134
1003	Acopio Caliza Magnesiana	0,05325 kg/m <sup>2</sup> -mes	0,64 ha		s/m	4,090

(1) Garantía Proveedor, emisión de 50 mg/m<sup>3</sup>N

† Representa el área activa del depósito

(2) Inventario en bases a capacidades máximas de producción en cada una de sus áreas

(3) Considera 500 m de camino interno. Las emisiones de las fuentes de emisión 801 y 802 no son aditivas.

(4) Considera camino de 170 m

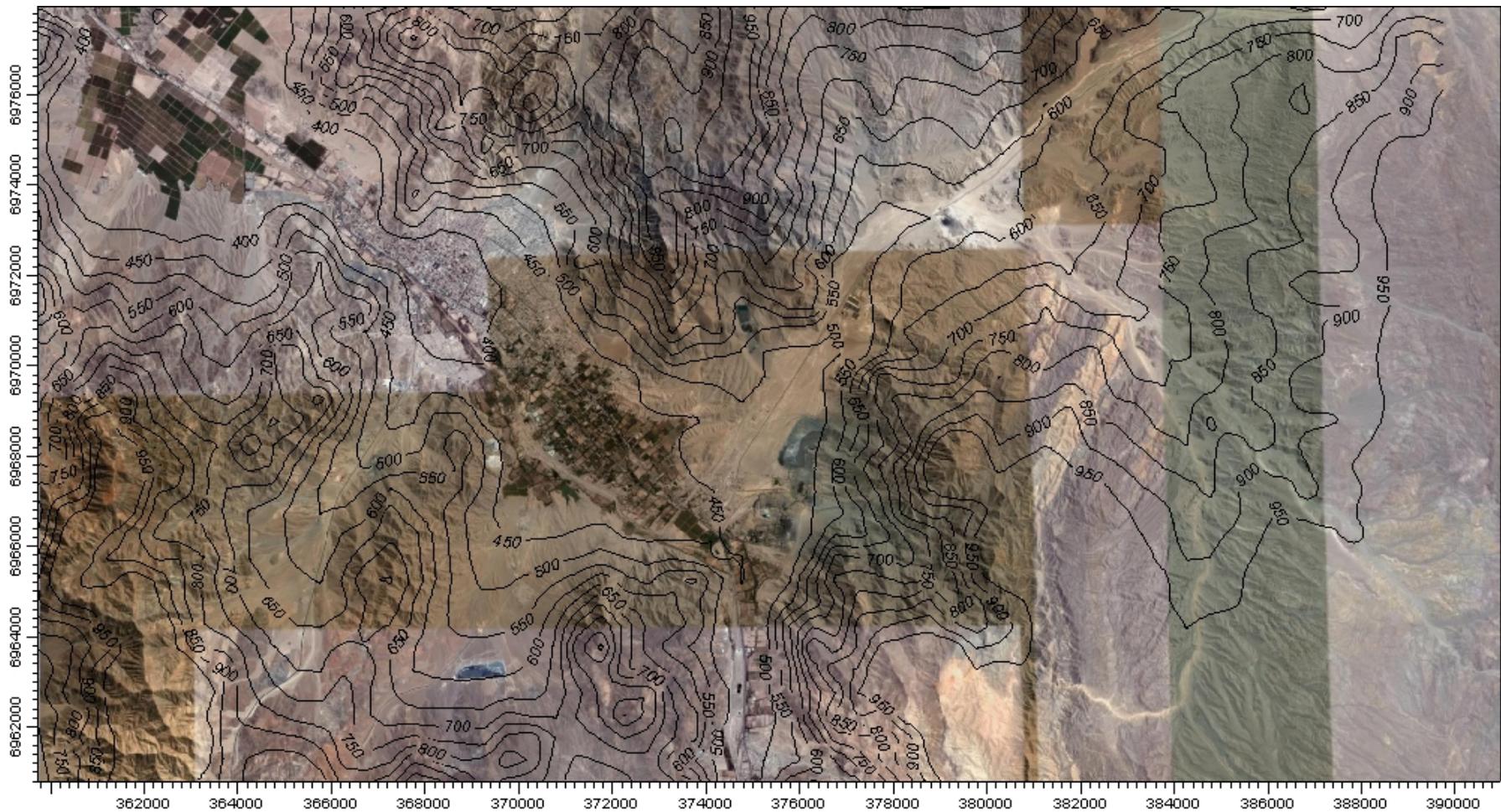
(5) s/m: sin medida de mitigación

(6) Máximos factores de actividad esperados

(7) Medida de Mitigación a implementar por Minera Jilguero

(8) Se considera una nueva línea de clasificación y chancado para el producto del nuevo horno

## FIGURAS



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COIAPÓ – HORNO CAL N°2**

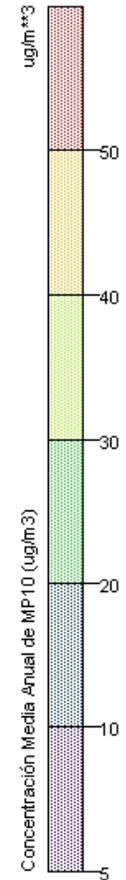
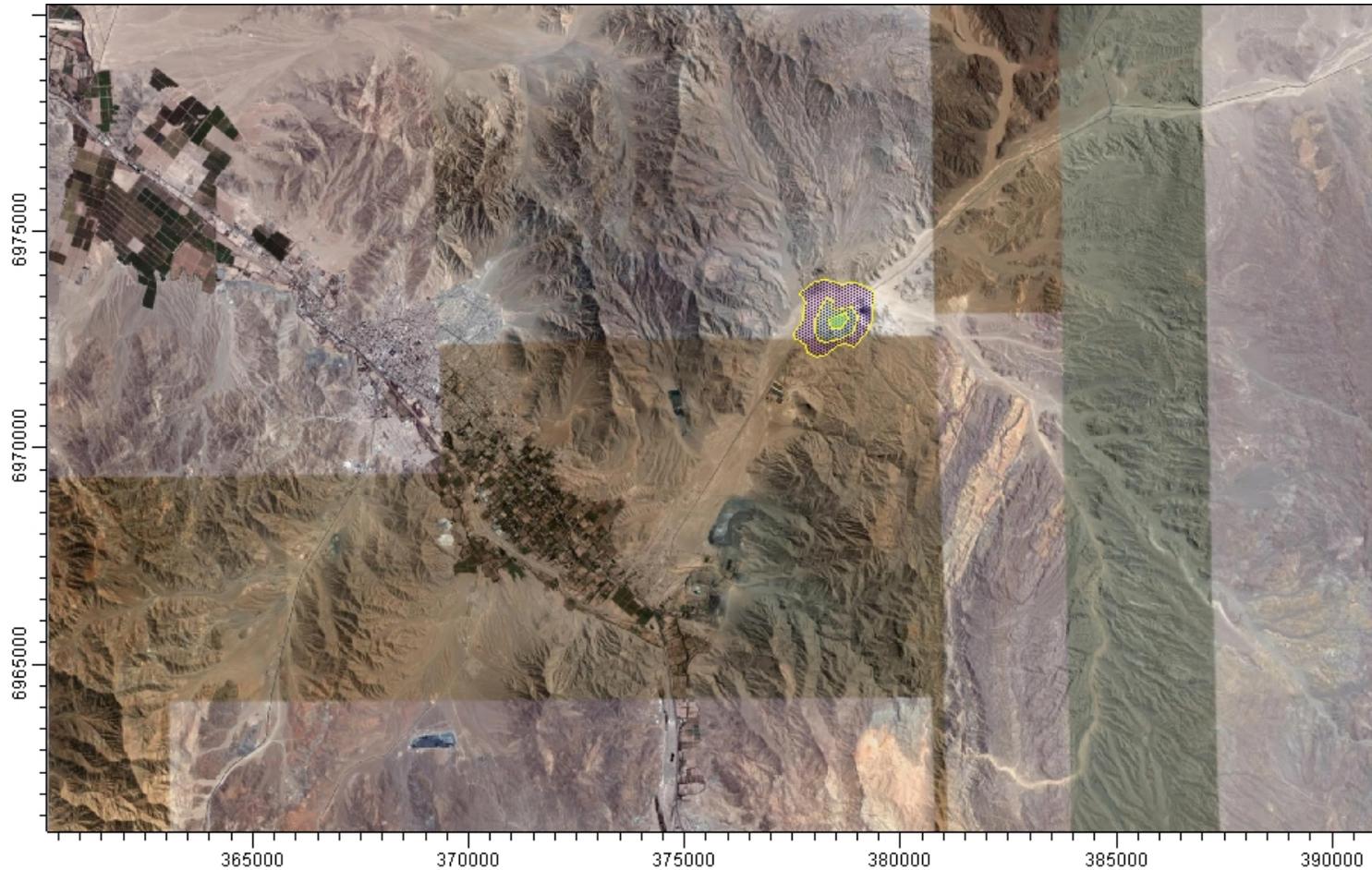
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

DOMINIO DE MODELACIÓN

**INACESA**  
es Cementos Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-1</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COPIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

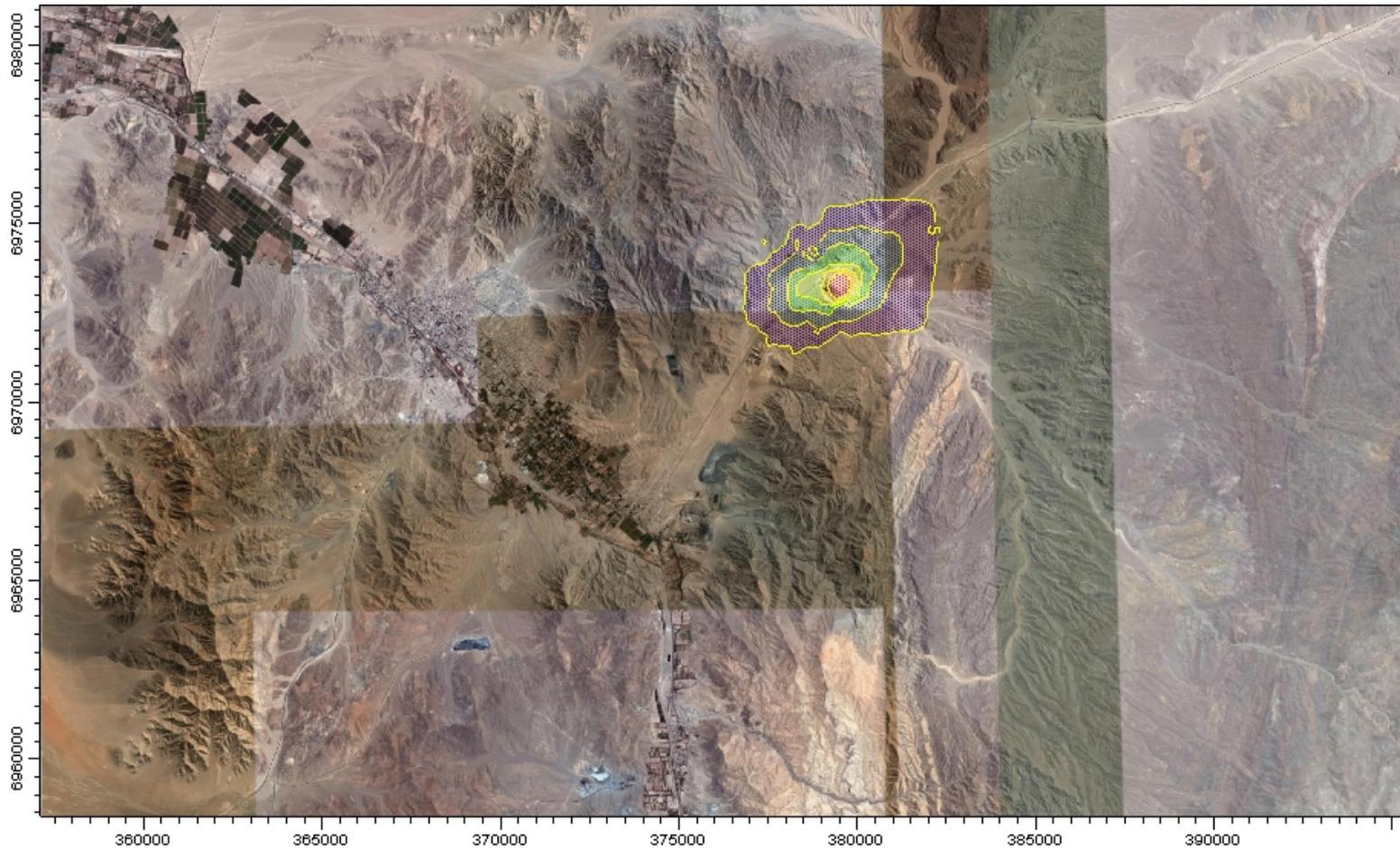
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE MP10,  
SITUACIÓN SIN PROYECTO

**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-2</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

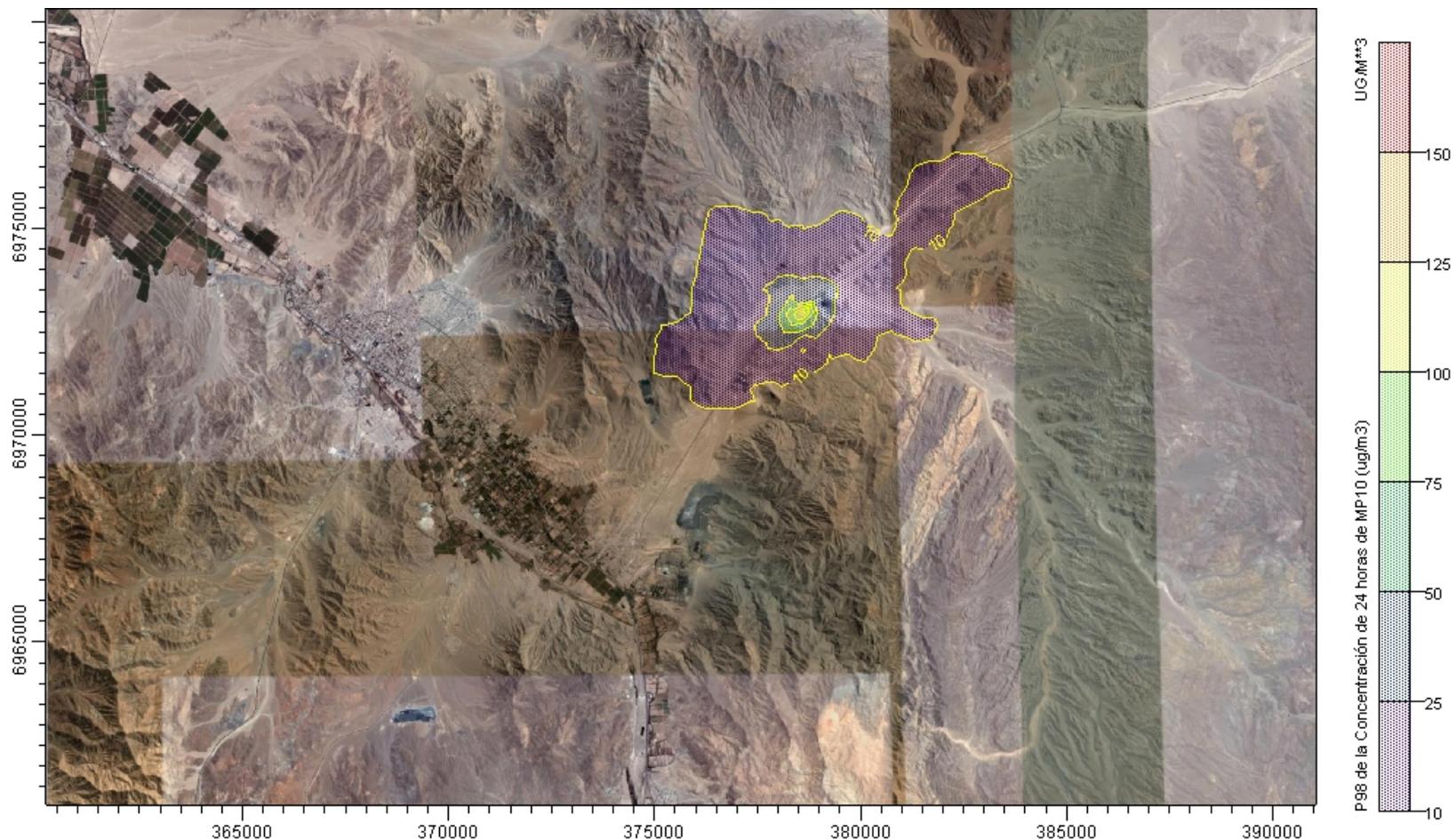
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE MP10,  
SITUACIÓN CON PROYECTO

**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-3</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COPIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

P98 CONCENTRACIÓN 24 HR DE MP10, SITUACIÓN  
SIN PROYECTO

**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

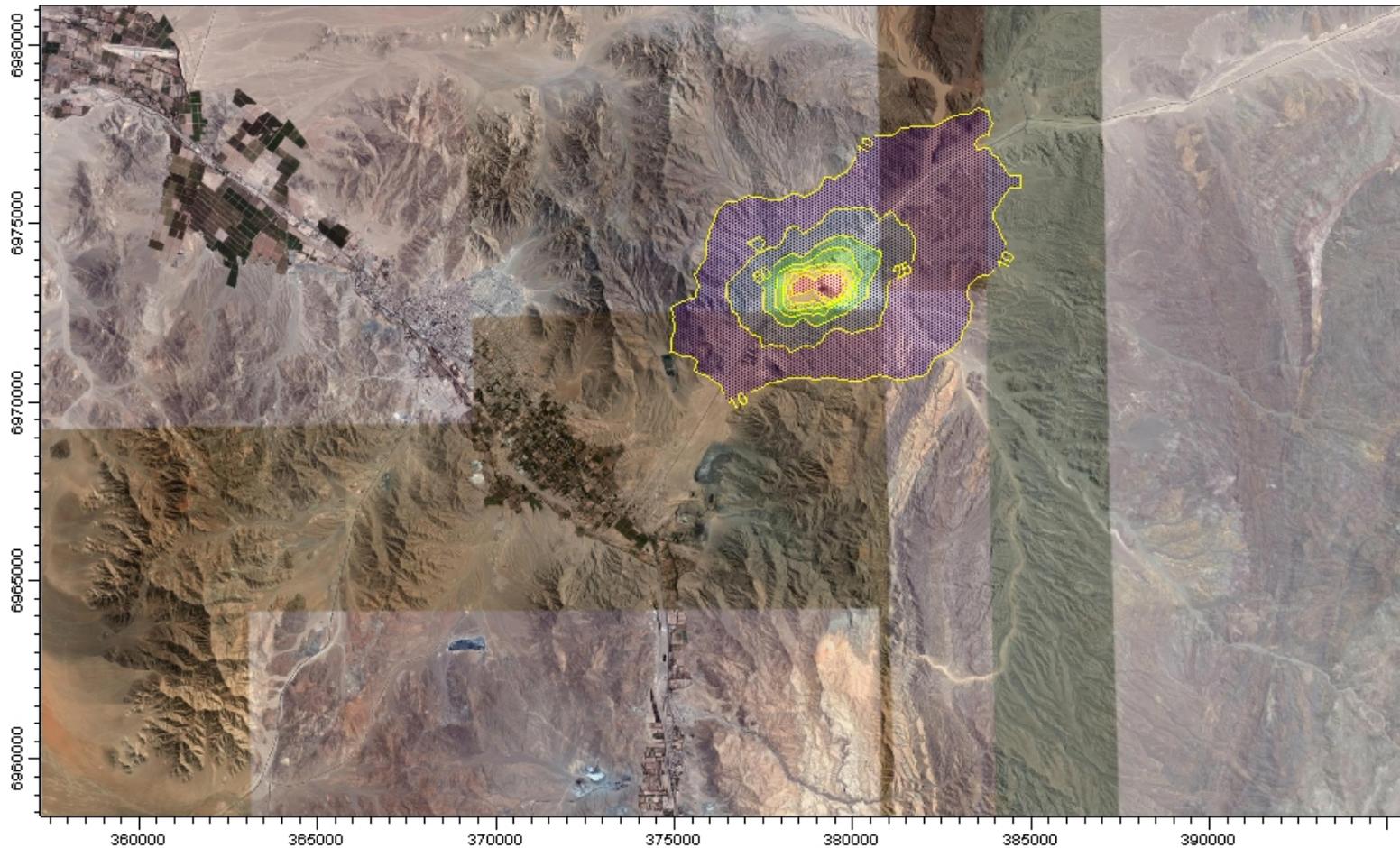
Nº PROYECTO/ Nº PROJECT

SA206-00002/17

REV.

1

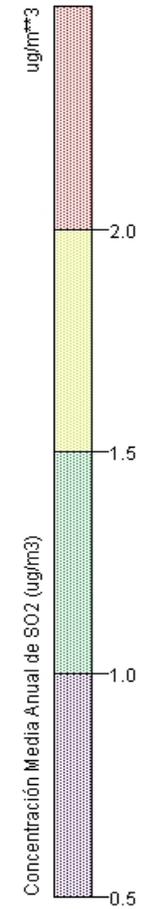
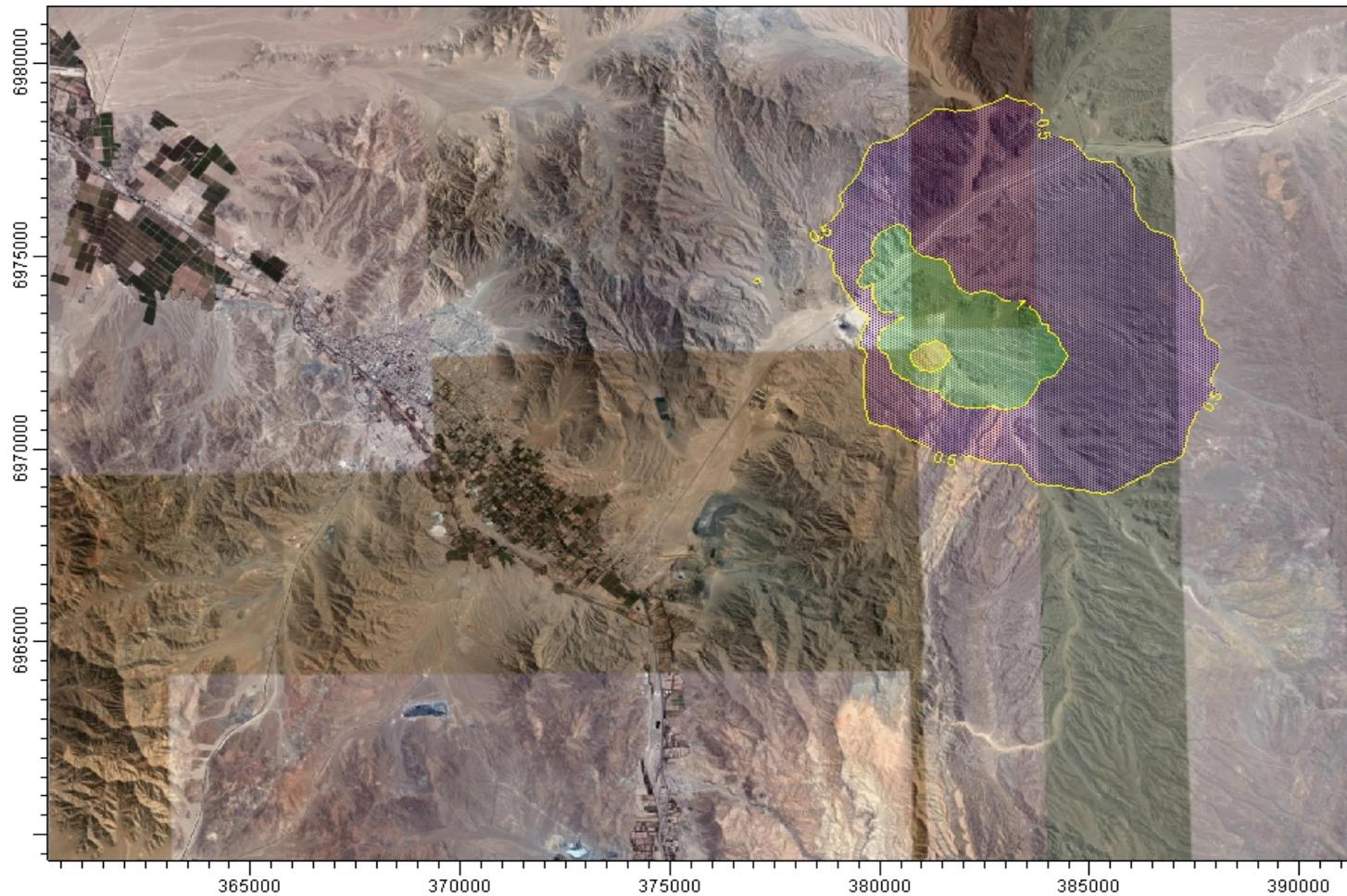
FIGURA 2.D-4



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.  
**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
 COIAPÓ – HORNO CAL Nº2**  
 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
 P98 CONCENTRACIÓN 24 HR DE MP10, SITUACIÓN  
 CON PROYECTO

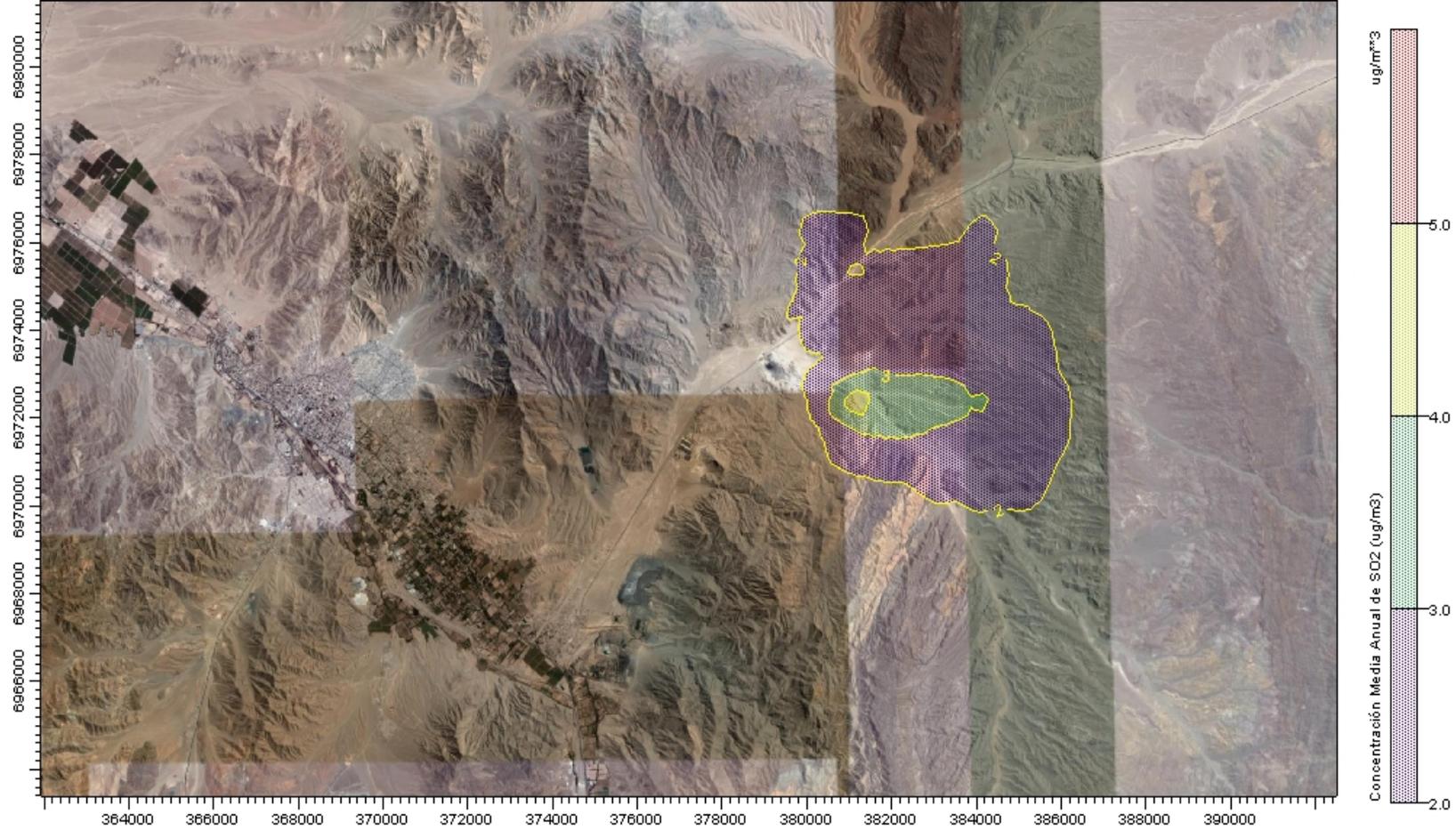


Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-5</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.	
<b>PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL COPIAPÓ – HORNO CAL Nº2</b>	
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE SO2, SITUACIÓN SIN PROYECTO	
Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-6</b>	





INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COPIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

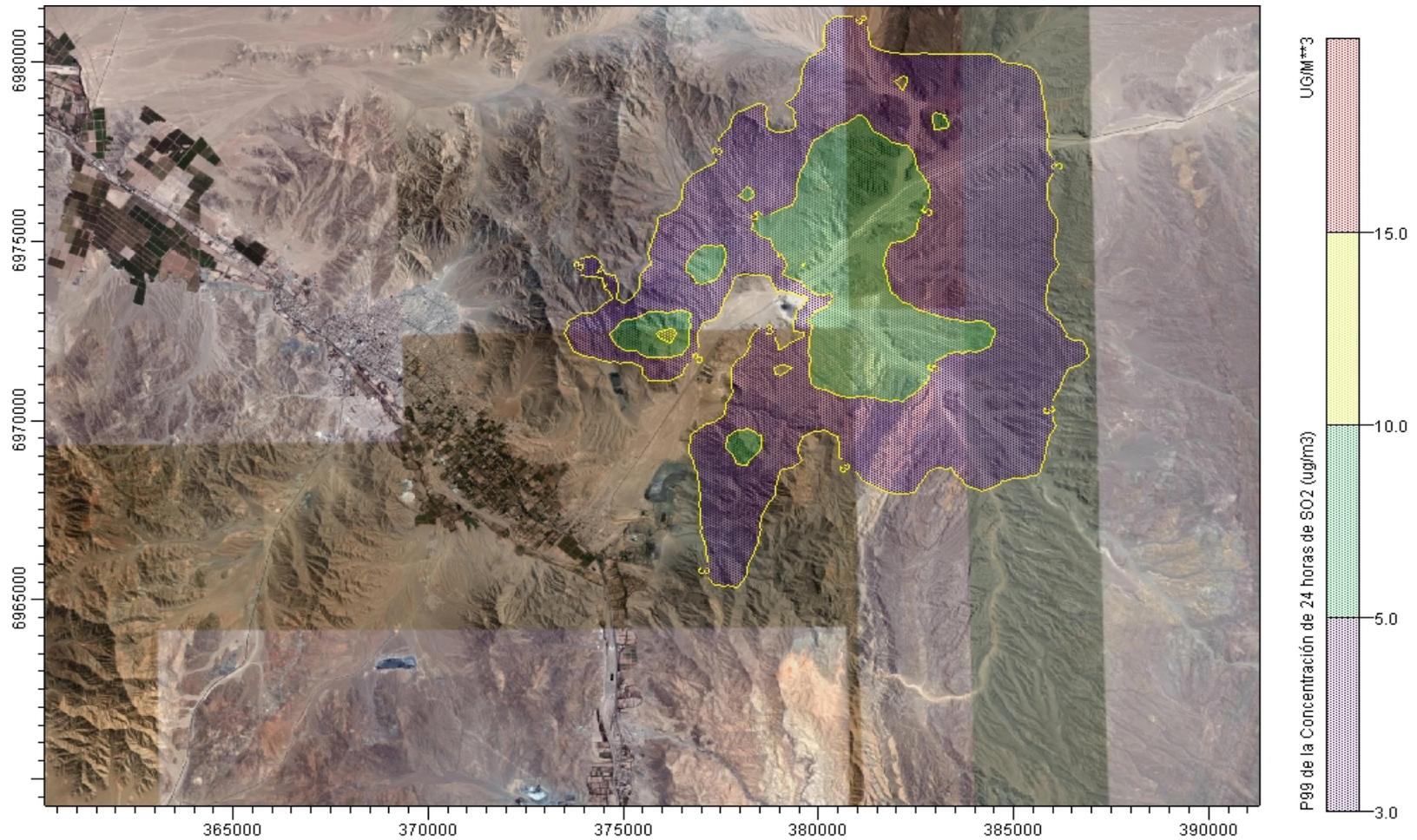
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE SO<sub>2</sub>,  
SITUACIÓN CON PROYECTO

**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-7</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

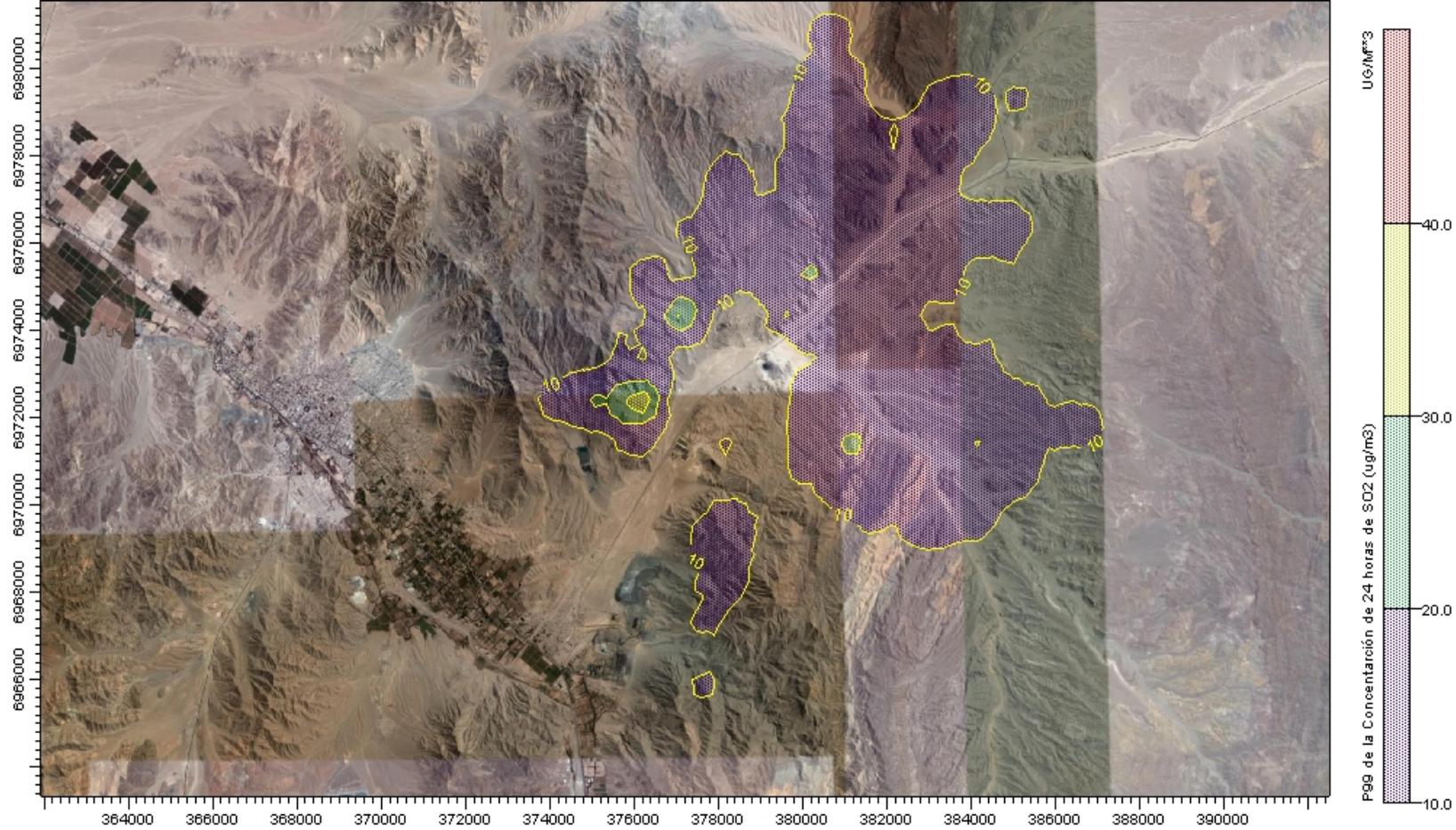
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

P99 CONCENTRACIÓN 24 HR DE SO2, SITUACIÓN  
SIN PROYECTO

**INACESA**  
es Cementos Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-8</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

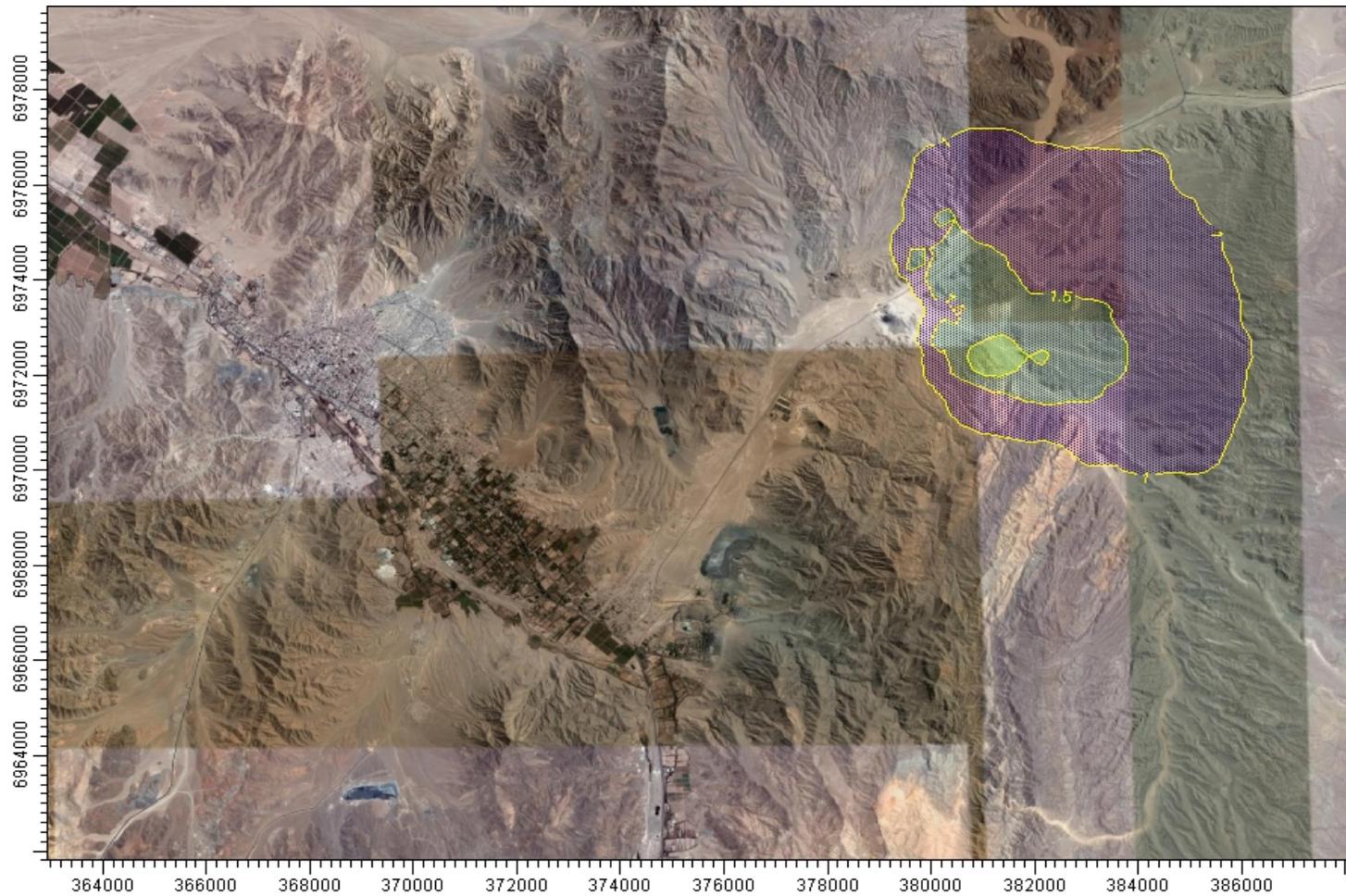
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

P99 CONCENTRACIÓN 24 HR DE SO2, SITUACIÓN  
CON PROYECTO

**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-9</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COPIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE NOx,  
SITUACIÓN SIN PROYECTO

**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

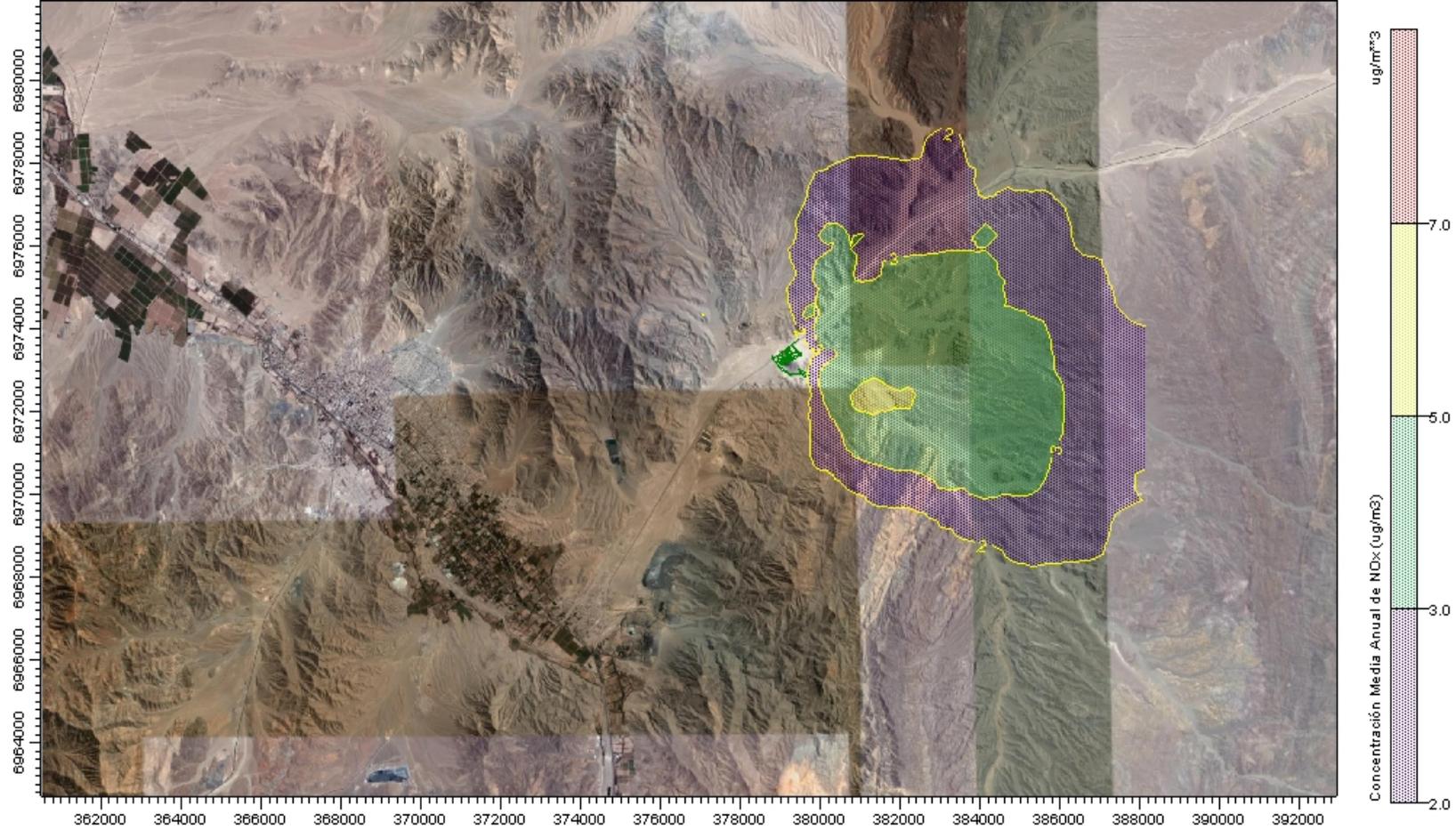
Nº PROYECTO/ Nº PROJECT

SA206-00002/17

REV.

1

FIGURA 2.D-10



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COPIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

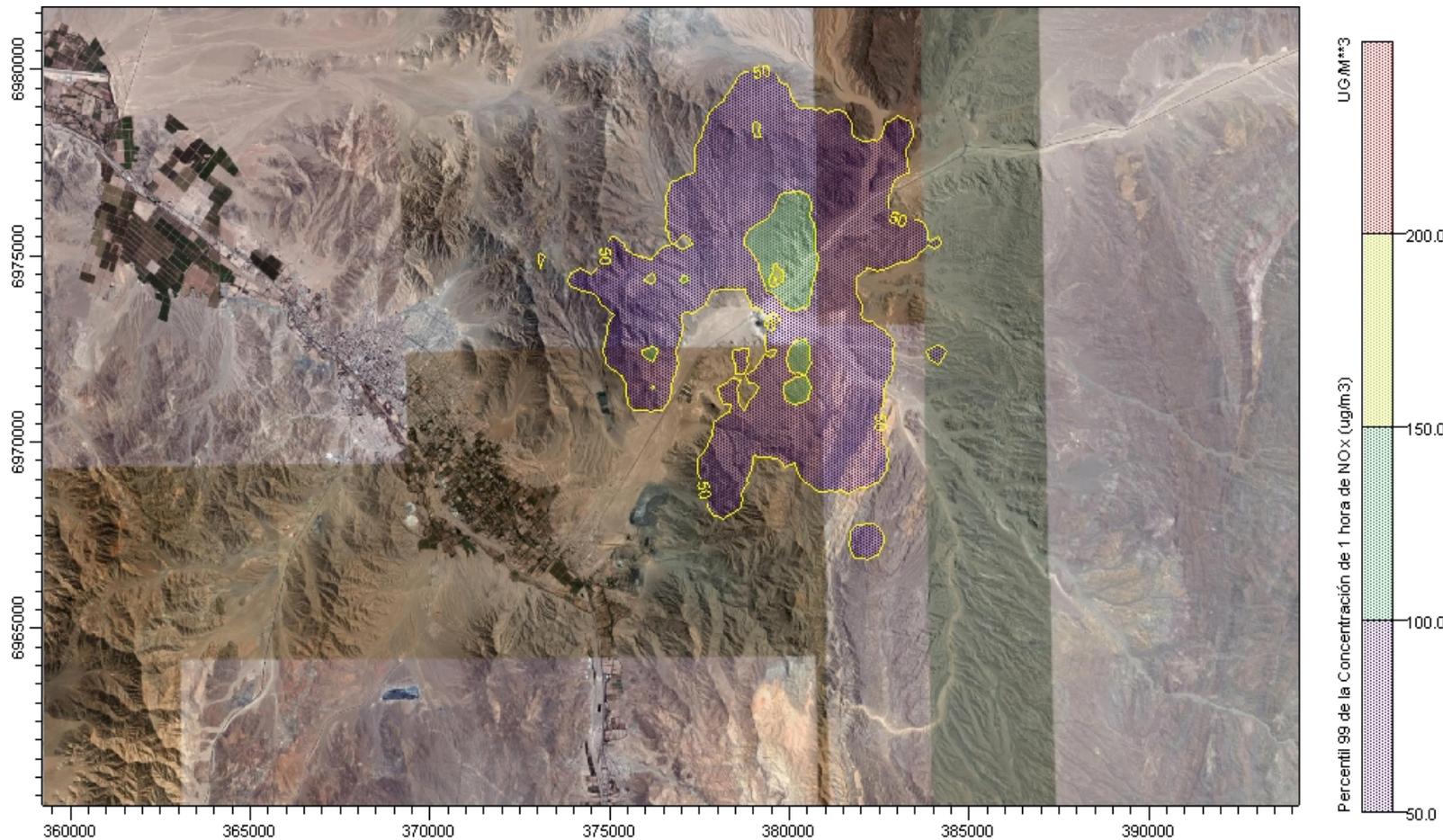
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE NOx,  
SITUACIÓN CON PROYECTO

**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-11</b>	



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.

**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
COPIAPÓ – HORNO CAL Nº2**

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

P99 CONCENTRACIÓN 1 HR DE NOx, SITUACIÓN  
SIN PROYECTO

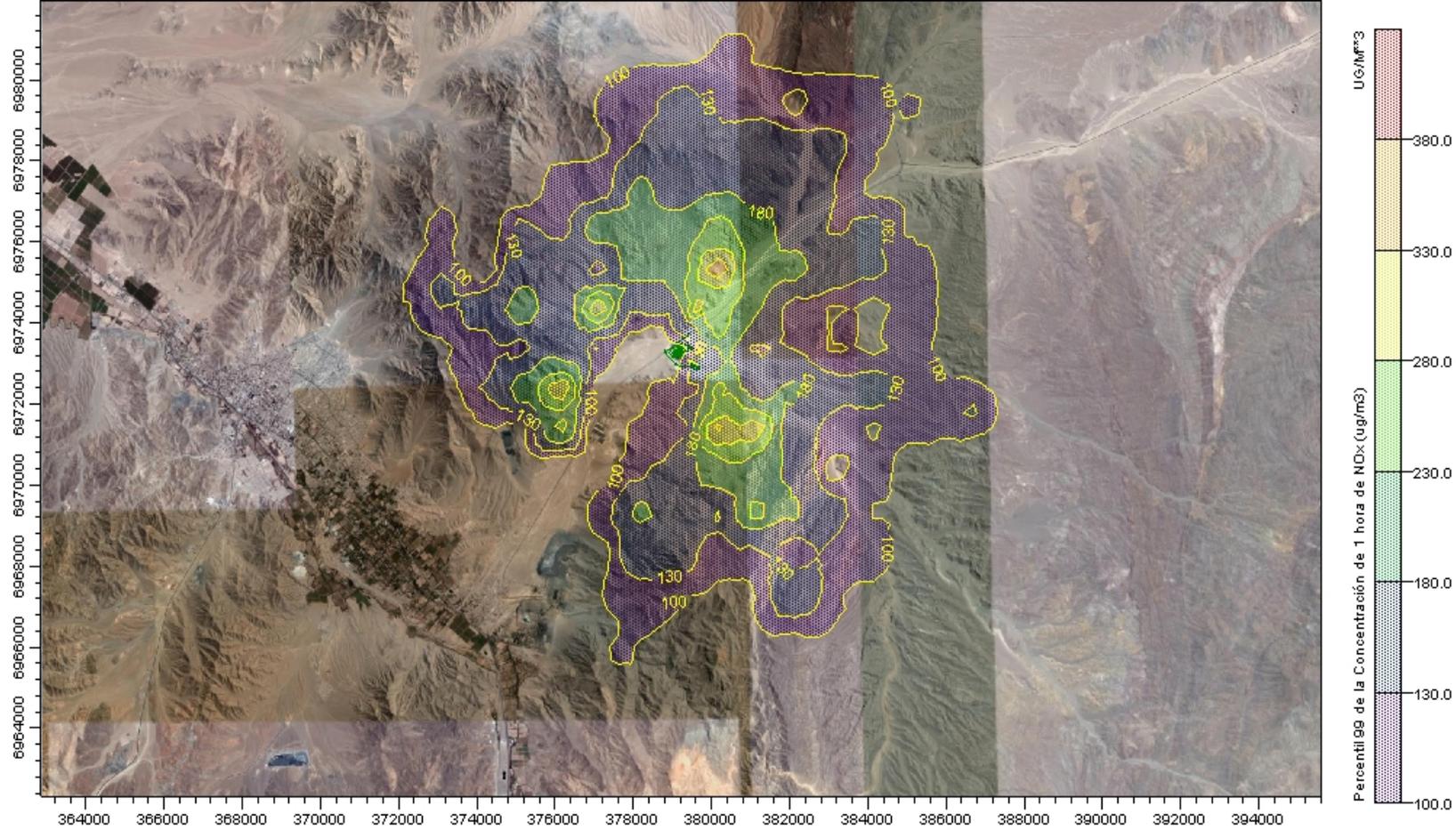
**INACESA**  
es Cements Bio Bio

**Knight Piésold**  
CONSULTING

Nº PROYECTO/ Nº PROJECT REV.

SA206-00002/17 1

FIGURA 2.D-12



INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S.A.  
**PROYECTO AMPLIACIÓN PLANTA DE CAL  
 COPIAPÓ**  
 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
 P99 CONCENTRACIÓN 1 HR DE NOx, SITUACIÓN  
 CON PROYECTO



Nº PROYECTO/ Nº PROJECT	REV.
SA206-00002/17	1
<b>FIGURA 2.D-13</b>	

## ANEXOS

ANEXO 2.D-1  
INVENTARIO DE EMISIÓN DETALLADO OPERACIÓN ACTUAL A PLENA CAPACIDAD, t/año

ID Fuente	Nombre Fuente Emisión	Emisión (t/año)
200.01.1	Recepción de Caliza en Tolva	2,659
200.02.1	Cinta Transportadora 1(Tramo A)	0,107
200.02.2	Transferencia entre cinta tramo 1 y cinta tramo 2	1,329
200.02.3	Cinta Transportadora 1 (Tramo B)	0,107
200.02.4	Descarga de cinta transportadora 1 en Silo 1	0,665
200.02.5	Descarga cinta transportadora 1 en cinta transportadora 2	0,665
200.03.1	Cinta Transportadora 2 silo 1 a silo 2	0,031
200.03.2	Descarga de cinta transportadora 2 en Silo 2	0,665
200.04.1	Descarga en Tolva Auxiliar	0,000
200.05.1	Descarga de tolva de porefi a camión	0,061
400.01.1	Descarga en cinta transportadora 3 de alimentador vibratorio Silo 1	0,001
400.01.2	Descarga en cinta transportadora 3 de alimentador vibratorio Silo 2	0,001
400.01.3	Cinta transportadora 3 a elevador	0,021
400.01.4	Descarga caliza en elevador	0,332
400.01.5	Descarga del elevador en harnero	1,329
400.02.1	Harnero	9,300
400.02.2	Descarga desde el harnero en tolva de Finos	0,133
400.02.3	descarga desde harnero a cinta transportadora al precalentador	1,196
400.03.1	Cinta Transportadora 4 de caliza al precalentador	0,265
400.03.2	Descarga de cinta transportadora 4 en precalentador	0,299
400.04.1	Descarga de tolva de finos a camión	0,133
500.01.1	Horno de cal	27,304
500.02.1	Descarga enfriador a harnero	0,665
500.03.1	Harnero de cal	0,101
500.04.1	Chancador de cal	24,025
500.04.2	Descarga chancador a tolva	0,665
600.01.1	Descarga en silo 1	0,025
600.01.2	Descarga en silo 2	0,025
600.01.3	Descarga en silo 3	0,025
600.01.4	Descarga en silo 4	0,025
600.02.1	Descarga de silo 1 a camión	0,015
600.02.2	Descarga de silo 2 a camión	0,100
600.02.3	Descarga de silo 3 a camión	0,100
600.02.4	Descarga de silo 4 a camión	0,166
600.03.1	Descarga de silo 1 a rastra	0,001
600.03.2	Descarga de silo 2 a rastra	0,003
600.03.3	Descarga de silo 3 a rastra	0,004
600.04.1	Descarga silo 5 a rastra	0,001
600.06.1	Descarga de producto no conforme a acopio en piso	0,020
600.06.2	Harneado para recuperación de producto no conforme	0,020
600.06.3	Carga en camión de Rechazo de harneado	0,020
600.07.1	Transporte de material de rechazo a acopio porefi	1,151
600.07.2	Descarga en acopio porefi material de rechazo	0,020
700.01.1	Descarga petcoke en galpón	0,016
700.01.2	Descarga de petcoke en tolva	0,016
700.02.1	Descarga petcoke en cinta transportadora	0,016
700.02.2	Descarga cinta en tolva	0,016
700.04.1	Descarga carbón en acopio	0,065
700.04.2	Descarga de carbón en tolva	0,016
700.05.1	Descarga carbón en cinta transportadora	0,016
700.05.2	Descarga de carbón cinta en tolva	0,016
700.06.2	molino combustible solido	0,136
800.01.1	Descarga de Magnecal desde acopio de preparación	0,343
800.01.2	Acopio Magnecal	1,597
800.02.1	Carga de cargador frontal en acopio	0,343
800.02.2	Transporte de magnecal a tolva de recepción	46,984
800.02.3	Descarga Magnecal en tolva de recepción	0,343
800.03.1	Descarga de cal fuera de especificación en tolva	0,020
800.04.1	Molino de Magnecal	1,860
800.04.2	Molino de Cal	15,500
800.05.1	Descarga en Tolvas de Magnecal	0,343
800.05.2	Descarga en Tolvas de Cal molida	0,064
800.06.1	Descarga desde tolva de cal molida a camión mediante manga retráctil	0,030
800.07.1	Hidratador de Cal	0,056
800.07.2	Descarga en Tolvas de Cal hidratada	0,056
800.08.1	Descarga de Silo 6 a camión	0,182
800.08.2	Descarga de Silo 7 a camión	0,182
800.09.1	Envasado de magnecal en bolsa	0,172
800.09.2	Envasado en maxisacos de magnecal	0,172
800.09.3	Envasado de cal hidratada en maxisacos	0,028
800.09.4	Envasado de cal hidratada en bolsa	0,028
800.09.5	Envasado en maxisacos de cal molida	0,003
	Erosión Área de mezclado de magnecal	1,278
	Tránsito interno de camiones de cal	2,928
	Tránsito interno de camiones de cal hidratada/cal Viva/Magnecal	12,524
	Transporte Interno de Combustible	4,236
	Transporte de finos a acopio Fc	3,219
	descarga de finos en acopios	0,133
	Transporte de porefi a deposito	3,686
	Descarga de porefi en depósito	0,061
	Tránsito de camiones en estacionamientos frente a la planta	9,118
	Erosión Área de estacionamientos frente a la planta	2,173
	Acopios finos área noreste de la planta	4,090
	Acopios caliza emergencia área noreste de la planta	6,134
	Acopios dolomita en área noreste de la planta	4,090
	Acopio de Carbón	0,240
	Acopio de PORECI en lados del camino hacia el acopio de porefi	
	Acopio Porefi	12,269
	Tránsito de camiones externos en estacionamientos frente a la planta	29,087
	Erosión Áreas activas Planta	0,575
	Mezclado Magnecal	0,343
	Tránsito tramo 1	10,226
	Tránsito tramo 2	5,781
	Tránsito tramo 3	10,232
	<b>Total</b>	<b>265</b>