

UCH FC
Q. Ambiental
A 662
C. 1



UNIVERSIDAD DE CHILE

**“ESTUDIO DE ANTECEDENTES Y FORMULACIÓN DE
PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN
DE LA NORMA SECUNDARIA
DE ANHÍDRIDO SULFUROSO – SO₂”**

SEMINARIO DE TÍTULO

ENTREGADO A LA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

EN CUMPLIMIENTO PARCIAL DE LOS REQUISITOS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE

QUIMICO AMBIENTAL

ANDRÉS PATRICIO ARANEDA CAVADA

DIRECTOR SEMINARIO: Sr. HUGO BALOCCHI VELASTÍN

PROFESOR PATROCINANTE: Sra. MARÍA INÉS TORAL PONCE

AGOSTO 2005



**FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE**

INFORME DE APROBACIÓN

SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la
Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el alumno

Andrés Patricio Araneda Cavada

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación del seminario de Título como
requisito para optar al Título de Químico Ambiental.

Director de Seminario de Título

Sr. Hugo Balocchi Velastín

Comisión de Evaluación del Seminario de Título

Patrocinante: Prof. María Inés Toral

Corrector: M.Cs. Consuelo Gamboa.....

Corrector: Dra. Claudia Ortiz.....



DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, José Araneda Sandoval y María Cavada Cavada, por estar siempre presente, en las buenas y en las malas, por ser mis verdaderos y mejores amigos, soportan mi genio y flojera, me aconsejan, me imparten valores para conducirme correctamente y me ofrecen el sabio consejo en el momento oportuno.

Porque sin ellos nunca podría haber logrado esto, por ser los mejores padres del mundo.

GRACIAS DE CORAZÓN.....



AGRADECIMIENTOS



A mi familia

A mis primas Nena y Loreto, por su apoyo en todo mis estudios.

A la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), por darme la oportunidad de realizar este trabajo.

A Don Hugo Balocchi jefe de Gestión Calidad Seguridad y Medio Ambiente de ENAMI, por su buena onda y por darme su apoyo con la mejor disposición.

A la Sra. Elia Flores y Marcelo, por hacer más fácil y agradable mi trabajo en ENAMI.

A la Profesora Sra. María Inés Toral, por su calidad como profesora y persona.

A mis amigos de ayer y hoy.

A todas las personas que me ayudaron en este proceso y que me dieron su apoyo.

Y especialmente a tí.....

INDICE DE CONTENIDOS



Página

CAPÍTULO I

1.1.- Introducción	1
1.2.- Hipótesis	4
1.3.- Objetivo del estudio	5
1.3.1.- Objetivo general	5
1.3.2.- Objetivos específicos	5

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

2.1.- Antecedentes generales	7
2.1.1.- Minería del cobre en Chile y el mundo	8
2.1.2.- Proceso de fundición de cobre	10
2.1.3.- Problemas ambientales en fundiciones de cobre	13
2.2.- Química y principales efectos del anhídrido sulfuroso	14
2.2.1.- Propiedades del anhídrido sulfuroso	14
2.2.2.- Formación de lluvia ácida	17
2.2.3.- Principales efectos de la presencia de anhídrido sulfuroso	21
2.3.- Ámbito de las regulaciones referentes a anhídrido sulfuroso	23
2.3.1.- Norma de calidad ambiental	23

2.3.2.-	Normas de calidad del aire para anhídrido sulfuroso en Chile	25
2.3.3.-	Normas de calidad para anhídrido sulfuroso aplicadas en otros países.....	28
2.4.-	Características de la contaminación por anhídrido sulfuroso y sus efectos en la flora y fauna	31
2.4.1.-	Contaminación atmosférica por anhídrido sulfuroso	31
2.4.2.-	Ciclo biogeoquímico del anhídrido sulfuroso	37
2.4.3.-	Efecto del anhídrido sulfuroso en la flora	40
2.4.4.-	Efectos de la lluvia ácida	44
2.4.5.-	Efecto del anhídrido sulfuroso en la fauna	48
2.5.-	Descripción del entorno de la Fundición y Refinería Ventanas de ENAMI	50
2.5.1.-	Ubicación	50
2.5.2.-	Descripción geográfica	52
2.5.3.-	Clima	54
2.5.4.-	Suelo	55
2.5.5.-	Hidrografía	56
2.5.6.-	Cubierta vegetal	57
2.5.7.-	Caracterización agrícola	60
2.5.8.-	Áreas silvestres protegidas de ambiente terrestre	63
2.6.-	Fluorescencia	64
2.6.1.-	Fluorescencia molecular	64
2.6.2.-	Fluorescencia UV	67



CAPÍTULO III: PARTE EXPERIMENTAL

3.1.- Estudio de la calidad del aire realizado en las estaciones de monitoreo con respecto a anhídrido sulfuroso	68
3.1.1.- Ubicación de las estaciones de monitoreo	69
3.1.2.- Toma de muestra y cuantificación de la concentración de anhídrido sulfuroso en el aire	70
3.1.3.- Calibración del equipo	71
3.2.- Estudio del impacto de las emisiones de anhídrido sulfuroso y la deposición ácida sobre la vegetación del área circundante a la Fundición y Refinería Ventanas	72
3.2.1.- Determinación de los lugares de toma de muestra	73
3.2.2.- Antecedentes generales del muestreo	74
3.2.3.- Especies vegetales seleccionadas	75
3.2.4.- Estudio anatómico y de ultraestructura	77

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1.- Cumplimiento de la norma secundaria para anhídrido sulfuroso ...	78
4.1.1.- Cumplimiento norma horaria	78
4.1.2.- Cumplimiento norma diaria	85
4.1.3.- Cumplimiento norma anual	86
4.2.- Estudio anatómico y de ultraestructura	87
4.2.1.- Boldo	87
4.2.2.- Sauce	91

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN GENERAL

5.1.- Consideraciones con respecto a la norma secundaria para anhídrido sulfuroso vigente en Chile	94
5.2.- Comparación de norma secundaria aplicada en otros países	95
5.3.- Evaluación de las características ambientales del entorno a la fundición y los posibles efectos generados por el anhídrido sulfuroso en la flora y fauna	96
5.4.- Análisis general de los episodios producidos y el cumplimiento de la norma secundaria vigente en Chile	100
5.5.- Análisis meteorológico relacionado con los episodios de contaminación	102
5.6.- Análisis del impacto de las emisiones de anhídrido sulfuroso y la deposición ácida sobre la vegetación del área circundante a la Fundición y Refinería Ventanas	104

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

6.1.- Generales	106
6.2.- Formulación de propuesta para la adecuación de la norma secundaria para anhídrido sulfuroso	109

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

110

REFERENCIAS	111
ANEXO I	Consideraciones y posterior revisión de la EPA de Estados Unidos de su estándar secundario para anhídrido sulfuroso 115
ANEXO II	Clases de suelo presente en el área circundante a la Fundición y Refinería Ventanas de ENAMI 118
ANEXO III	Ubicación estaciones de monitoreo Complejo Industrial Ventanas 120
ANEXO IV	Curva de calibración. Dasibi 4108 126
ANEXO V	Episodios y niveles de concentración para anhídrido sulfuroso registrado en las estaciones de monitoreo 128
ANEXO VI	Condiciones meteorológicas presentes durante los episodios registrados entre los años 2002 – 2004 136
ANEXO VII	Análisis anatómico foliar y de ultraestructura 139

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1:	
Norma primaria y secundaria para anhídrido sulfuroso vigente en Chile	25
Tabla 2:	
Norma secundaria aplicada en otros países	28
Tabla 3:	
Santuarios de la naturaleza localizados en la V Región	63
Tabla 4:	
Descripción de las estaciones de monitoreo	68
Tabla 5:	
Especies seleccionadas	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Proceso de fundición de cobre	12
Figura 2: Comportamiento del SO ₂ liberado a la atmósfera	19
Figura 3: Efecto de las emisiones de SO ₂ en un ecosistema forestal	22
Figura 4: Circulación vertical del aire	33
Figura 5: Inversión de la temperatura	33
Figura 6: Ciclo del azufre	39
Figura 7: Entrada y transformación del SO ₂ en el interior de la planta	41
Figura 8: Efecto de las emisiones de SO ₂ en la flora	47
Figura 9: Emisión fluorescente	64
Figura 10: Esquema de un fluorímetro	66
Figura 11: Ubicación estaciones de monitoreo complejo industrial Ventanas..	69
Figura 12: Procedimiento experimental para la determinación de SO ₂ presente en el aire	73
Figura 13: Lugares de toma de muestra	73
Figura 14: Matorral abierto Los Maitenes	75
Figura 15: Humedal de Campiche	75
Figura 16: Humedal de Campiche terreno anegado	76
Figura 17: Bosque Las Petras	76
Figura 18: Episodios totales estaciones de monitoreo (2001 – 2004)	78
Figura 19: Distribución mensual de episodios totales estación Los Maitenes Año 2001 – 2004	79

Figura 20:	Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 17 de Enero	80
Figura 21:	Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 28 de Febrero	80
Figura 22:	Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 23 de Marzo	81
Figura 23:	Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 30 de Noviembre	81
Figura 24:	Número de horas año 2004 correspondiente a cada nivel de Concentración	82
Figura 25:	Número de días correspondiente a cada nivel de concentración en cada estación de monitoreo	85
Figura 26:	Promedio anual de concentraciones para los años en estudio	86
Figura 27:	Boldo en Maitenes	87
Figura 28:	Hojas de Boldo	87
Figura 29:	Anatomía de las hojas de Boldo 450 x	88
Figura 30:	Células con cloroplastos 22.500 x	89
Figura 31:	Cloroplastos 17.500 x	89
Figura 32:	Cloroplastos de Boldo 22.500 x	90
Figura 33:	Células clorénquima de Boldo 13.500 x	90
Figura 34:	Hojas de Sauce	91
Figura 35:	Detalles de cistolito en clorénquima de Sauce	92
Figura 36:	Cloroplastos de Sauce	92
Figura 37:	Detalle. Cloroplastos de Sauce en jardín botánico 22.500 x	93

Figura 38:	Injurias en hojas de papa debido a la exposición al SO ₂	105
Figura 39:	Necrosis en hojas de Fresno	105

LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ENAMI	Empresa Nacional de Minería
PIB	Producto Interno Bruto
RILes	Residuos Industriales Líquidos
RISes	Residuos Industriales Sólidos
D.S.	Decreto Supremo
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
MINSEGPRES	Ministerio Secretaría General de la Presidencia

GLOSARIO

Adiabático: Un cambio adiabático es un cambio del volumen y la presión de cierta cantidad de gas, sin intercambio de calor entre ésta y su entorno.

Anaeróbica: Cualquier proceso que puede ocurrir en ausencia de oxígeno, u organismo que puede vivir sin oxígeno.

Anticiclón: Distribución del campo de presión atmosférica, donde el centro presenta una presión mayor que la que existe a su alrededor y a la misma altura. Este fenómeno provoca que descendan las masa de aire.

Aovado: Órgano que presenta figura o contorno de huevo, correspondiendo la parte más ancha a la inferior de él.

Apoplástico: Movimiento a través de las paredes celulares.

Broncoconstricción: Es el mecanismo por el que se contraen los músculos bronquiales lo que dificulta la respiración.

Calcáreo: Que contiene cal. Suelo con suficiente carbonato de calcio, normalmente con carbonato de magnesio.

Cloroplastos: Orgánulo citoplasmático característico de los tejidos fotosintéticos, son los que le dan el típico color verde; lugar donde tiene lugar la fotosíntesis. Los cloroplastos se encuentran en las plantas y en las algas.

Clorosis: Pérdida o deficiencia en el grado de desarrollo de la clorofila.

Colinaje: Cerro, elevación del terreno menor que un monte.

Compostaje: Reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

Cuarcita: Roca formada por cuarzo, de estructura compacta o granulosa.

Detoxificación: Proceso encaminado a lograr una disminución total o parcial de la toxicidad generada por compuestos.

Dioico: Que presenta flores unisexuales dispuestas sobre dos individuos, uno masculino y otro femenino.

Dunas: Formaciones sedimentarias de origen eólico formadas por materiales detríticos de grano fino (arenas). Pueden formarse en regiones interiores o en las costas. En algunas costas pueden formarse cordones de dunas o sistemas dunares paralelos a la costa.

Endógeno: Que se origina o nace en el interior o en virtud de causas internas.

Estomas: Pequeña apertura rodeada de células oclusivas y situada en la epidermis de las hojas y de los tallos, por donde circulan los gases.

Estroma: La matriz que rodea la grana en la membrana interna de los cloroplastos. El área entre las membranas (tilacoides, grana) dentro del cloroplasto.

Evapotranspiración: Es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración.

Fotosíntesis: Conversión de la energía lumínica en energía química; producción de hidratos de carbono a partir del dióxido de carbono y del agua mediante el uso de la energía lumínica en presencia de la clorofila.

Fitoplancton: Vegetales, generalmente microscópicos, que se encuentran flotando en el seno de las aguas dulces o marinas.

Gneis: Roca metamórfica compuesta por capas alternas claras y oscuras.

Hidroponía: Cultivo de plantas en una solución nutritiva, que contiene los elementos necesarios para la vida de la plantas. Por lo tanto general la solución está en un soporte de arena, grava, etc. La hidroponía es rentable y ventajosa, como también para producir en lugares en los que la tierra de cultivo es escasa.

Homeostasis: Tendencia a la estabilidad de las constantes fisiológicas.

Hojas caducas: Son las que se caen en invierno

Inversión térmica: Es el fenómeno atmosférico en el cual se instala una capa de aire cálido por sobre masas de menor temperatura, impidiendo la circulación vertical del aire, estabilizando las condiciones atmosféricas e impidiendo la dispersión de contaminantes.

Lixiviación: Movimiento de drenaje hacia abajo de minerales, o iones inorgánicos, a través del suelo y por medio del agua de percolación.

Mantillo: Tipo de terreno originado por la descomposición de sustancias orgánicas, especialmente procedentes del reino vegetal.

Necrosis: Muerte de células y de tejidos que se manifiesta en un ennegrecimiento.

Palustre: Relativo o perteneciente a pantanos o zonas pantanosas.

Pecíolo: El pecíolo es la parte de la hoja que une el limbo a la rama. Tiene forma de rabito y, a través de él, discurren los vasos conductores.

Ralear: Labor de cultivo consistente en entresacar plantas en los surcos cuando la densidad de las mismas es elevada.

Senescente: Degeneración estructural y funcional que normalmente conduce a la muerte de la planta o de las estructuras de la planta a las que afecta.

Sustrato: Fundamento al cual un organismo está unido; sustancia sobre la que actúa una enzima.

Unisexual: Flor que sólo tiene partes florales de un sexo, masculino o femenino.

Xerófilos: Plantas que se desarrollan en regiones donde la precipitación anual es inferior a los 1.000 mm y las altitudes van desde el nivel del mar hasta los 1.500 m sobre el nivel del mar, con variaciones de temperatura entre 23 – 29 °C.

Xeromorfismo: Adaptación de las plantas a la sequedad del medio.

RESUMEN

Debido a los efectos del SO_2 se han generado normativas de calidad del aire, normas primarias que se preocupan de proteger la salud de las personas y normas secundarias, que se preocupan de proteger la flora y fauna, fijando valores límites de concentración de este contaminante en el aire durante un período determinado.

En Chile la norma secundaria que protege la flora y fauna no posee la sustentación científica necesaria, y no considera la realidad actual en cuanto a la calidad del aire en las zonas circundantes de donde se generan tales emisiones, posterior a la implementación de los planes de descontaminación.

Este estudio tuvo por objetivo obtener, recopilar y evaluar la mayor cantidad de información científica que puedan avalar, de la mejor forma posible, una revisión de la norma secundaria vigente en nuestro país, considerando la realidad existente en la Fundición y Refinería Ventanas de ENAMI.

Es de gran importancia a la hora de fijar una norma, considerar los antecedentes de normativas aplicadas en otros países, como USA que siendo el principal competidor de Chile en la producción de cobre, posee una norma secundaria más flexible, comparada con la aplicada en nuestro país. Otro factor de importancia, es el mejoramiento de la calidad del aire por SO_2 en la zona circundante a la Fundición y Refinería Ventanas, con respecto a los valores existentes cuando se aprobó la norma vigente.

Del estudio realizado con respecto a la calidad del aire en las estaciones de monitoreo de la fundición y refinería Ventanas, se encontró que los incumplimientos de normas y los episodios críticos han disminuido casi en un 100%, desde la puesta en marcha de sus planes de descontaminación, llegando a superar la norma secundaria horaria en tan sólo cuatro oportunidades durante el año 2004 en la estación Los Maitenes. La norma secundaria diaria no ha sido superada desde el año 2001, y la norma anual no ha sido superada en ninguno de los años en estudio (2001 – 2004).

La existencia en la zona de fenómenos meteorológicos, como son la inversión térmica, las condiciones de anticiclón y los efectos que produce el relieve, generan un aumento en la cantidad de episodios de superación de la norma horaria, impidiendo a la operación reaccionar en el tiempo disponible debilitando un control que garantice el cumplimiento absoluto de la normativa vigente.

El estudio realizado en conjunto con la Universidad de Playa Ancha (UPLA) a especies arbóreas y arbustivas, de la zona circundante a la fundición y refinería Ventanas de ENAMI, no detectó evidencias de injurias a nivel morfológico o de ultraestructura, en ninguna de las especies analizadas. Sólo en Palqui se observó clorosis en las hojas, aunque este es un fenómeno frecuente en la especie independiente del lugar de crecimiento. En sauce del Humedal de Campiche, los cloroplastos presentan una estructura poco definida, aunque no es posible establecer a priori una explicación del fenómeno.

Del estudio realizado, es posible inferir, que los efectos en la flora y fauna de la zona circundante, pueden ser históricos, es decir, producto de la calidad del aire acontecida antes de la aplicación del plan de descontaminación.

A partir de las conclusiones obtenidas del estudio, y considerando todos los antecedentes con respecto a la calidad del aire, estudio bibliográfico, normativas aplicadas en otros países, evaluación de las características geográficas del entorno a la fundición y refinería Ventanas, y de los posibles efectos del SO₂ en especies arbóreas y arbustivas; la propuesta realizada para la adecuación de norma secundaria, es la siguiente: Mantener la norma anual de 80 µg/m³N (*). Con respecto a la norma diaria, esta podría ser igual a la norma primaria, es decir, disminuir de 365 µg/m³N a 250 µg/m³N y para la norma horaria surgen dos alternativas, mantener la de 1.000 µg/m³N configurando una condición de cumplimiento con algún nivel de percentil razonable y justo, aproximadamente de 99,5%, es decir 44 horas, o fijar la Norma aplicada en USA de 1.300 µg/m³N para un promedio de 3 horas con un percentil de cumplimiento de 99,8% es decir 22 horas, considerando un total anual de 8.760 horas en un año no bisiesto.

(*) N : Concentración en condiciones normales de 1 atm y 25 °C.

SUMMARY

Due to the effects of the SO_2 , so much in the health of people like in the flora and faun, primary and secondary norm of quality of the air arise that seek to diminish such effects, fixing for this pollutants, value concentration limits in the air during a certain period.

In Chile the Secondary Norm that protects the wildlife resources, it does not possess the necessary sustentation, and it does not consider the reality existent these days, as for the quality of the air in the surrounding areas where such emissions are generated.

The purpose of this study is getting and testing the most information to be able to guarantee the revision of the current secondary standard for our country, considering the existing conditions in Ventanas Smelting and Refinery (ENAMI).

In order to define a norm, it is of great importance to also consider the norms applied in other countries like in USA, that being the main competitor of Chile in the copper production, it possesses a most flexible norm that the applied in our country. With regard to the execution of the effective norm, an important factor to consider is the air quality, as for the existent presence of SO_2 in the surrounding area of the Fundición Ventanas.

Based on air quality study in Ventanas Smelting and Refinery, the monitoring station showed the standards and criteria have decreased in 100% considerably. Since, the implementation of a plan for avoiding the polluting. Occurring an exceeding of a diary secondary standard in only 4 times in Los Maitenes station during 2004. The

diary secondary standard was exceeded in 4 times during 2001, and the annual standard hasn't exceeded in any years of these studies. (2001 –2004)

The existing of weather phenomenon such as: temperature inversion, anticyclone, landscape effects, they produce an exceeding in values of each events. It is impossible to be in control of the operation. And it guarantee the fulfill current standards.

The study carried out together with the Universidad de Playa Ancha (UPLA) to arboreal species and arbustivas, of the surrounding area to the Fundación Ventanas, de ENAMI, it did not detect evidences of morphologic and ultra structure changes, in none of the analyzed species. Only in Palqui, chlorosis was observed in the leaves being this, a frequent phenomenon in the species and independent of the place of growth. In willow, of the Humedal de Campiche, the chloroplastes presents a not very defined structure, although it is not possible to establish an explanation of the phenomenon a priori.

We can say the possible effects, in the resources wildlife in the surrounding area to the Fundación Ventanas de ENAMI, they can be historical, that is to say, product of the emissions carried out before the plans environmental existent these days, where the quality of the air was not evaluated for this pollutant.

These studies done, considering all above reasons it would be better to keep annual standard at $80 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. In accordance with the diary standard it could be equal to primary standard, that is to say, to decrease at $365 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ to $250 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ and for hour standard. It was promulgated two alternatives: to keep standard at $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ with reasonable percent, aprox. 99,5%, that is to say 44 hours, or set the same standard in USA, $1.300 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ on average of 3 hours with reasonable percent, aprox. 99,8% that is to say 22 hours.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

En el siglo XIX con la llegada de la revolución industrial, se intensificó la incorporación de procesos contaminantes, aumentando la contaminación en forma acelerada a medida que transcurrían los años. A nivel mundial, sólo a partir de los años '70 en el siglo XX, se inició una preocupación por controlar la contaminación, comenzando en Chile a comienzo de la década de los '90.

En los últimos 20 años las actividades de naturaleza antropogénica, entre las cuales está la actividad industrial, han intensificado la contaminación del medio ambiente.

Entre los contaminantes responsables del daño ambiental, que afectan tanto a la población como al entorno del territorio nacional, se encuentran: Material particulado, óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), Compuestos Orgánicos Persistentes (COP), Hidrocarburos Aromáticos (HA), metales y anhídrido sulfuroso (SO_2), entre otros.

Las fuentes de contaminación por SO_2 son:

Fuente natural: Especies liberadas al aire a partir de erupciones volcánicas.

Fuentes antrópicas:

- Quema de carbón o combustibles con azufre (petcoke) en centrales termoeléctricas.
- Fusión de concentrados con azufre en fundiciones de cobre.

El anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, no inflamable en condiciones ambientales normales. Puede generar efectos negativos tanto en la salud de las personas, como en ecosistemas y recursos silvoagropecuarios.

Debido a los diferentes efectos negativos que generan los altos niveles de concentración de SO_2 , la autoridad chilena ha fijado normas primarias para proteger la salud humana con razonable margen de seguridad, y normas secundarias para proteger los ecosistemas y recursos silvoagropecuarios, necesarios para el bienestar humano, que se ven afectados por causas indirectas, como son daños a la agricultura, a la flora y a la fauna.

Estas normas tienen por objeto establecer el control de la calidad del aire en las zonas donde se desarrollan las actividades que generan este contaminante. Para estos efectos los responsables de las actividades industriales, deben medir en forma permanente y continua las concentraciones de calidad del aire, llevando una bitácora de operación y de mantenimiento, informando periódicamente a la autoridad.

Como se mencionó anteriormente, una de las actividades responsables de la contaminación por SO_2 , es la fusión de concentrados de cobre con contenidos de azufre. Para asegurar una calidad del aire en el marco de las normativas vigentes en las fundiciones de cobre, se utiliza tecnología que permite capturar el SO_2 transformándolo en ácido sulfúrico (H_2SO_4 líquido). El desarrollo tecnológico de los últimos años, permite aprovechar el calor de combustión del azufre en la fusión de concentrados.



Este proceso se realiza en un Horno Convertidor Teniente, que reemplaza al anterior Horno de Reverbero, produciéndose un gas con mayor concentración de SO_2 , lo que permite abastecer y operar una planta de producción ácido sulfúrico, disminuyendo de esta forma las emisiones de SO_2 hacia la atmósfera.

La Empresa Nacional de Minería ENAMI, entidad estatal de administración autónoma tiene como objetivo fomentar la explotación y beneficio de toda clase de minerales, procesarlos y comercializarlos, así como desarrollar actividades relacionadas con la minería, proporcionando diversos servicios entre ellos, ser la entidad intermediadora entre los productores mineros y el mercado internacional para cobre, plata y oro.

La Empresa Nacional de Minería vela que las acciones productivas de sus fundiciones no dañen el medio ambiente, preocupándose constantemente de cumplir con la legislación vigente. Ha realizado grandes inversiones en modernización, las cuales superan los US \$220.000 millones, logrando una captación de azufre por sobre 90% en ambas fundiciones lo que ha disminuido cada vez más los problemas de contaminación ambiental.

En forma adicional, mantiene permanentemente una preocupación por la comunidad asociada a cada fundición, a través de programas de responsabilidad social ambiental.

El presente estudio, se relaciona con la calidad de aire asociada a las concentraciones resultantes de emisiones de anhídrido sulfuroso, provenientes de la fundición de cobre Ventanas de ENAMI. Consiste en obtener la mayor cantidad de antecedentes, que permitan revisar la norma secundaria para SO_2 .

Y tiene como propósito obtener los antecedentes necesarios para formular una propuesta de norma secundaria para anhídrido sulfuroso.

1.2 HIPÓTESIS

La norma secundaria para anhídrido sulfuroso existente en nuestro país, no contempla la calidad del aire con respecto a la emisión de este contaminante por parte de la fundición y refinería Ventanas de ENAMI, posterior a la implementación de los planes de descontaminación. Incorporar mayores antecedentes con respecto a este tema, permitirá dar inicio a la revisión de esta normativa, y al mismo tiempo generar una propuesta de ENAMI para norma secundaria de anhídrido sulfuroso a la autoridades competentes, de acuerdo a la realizar existente en el entorno a esta fundición y refinería.

1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Formular una propuesta para adecuar la norma secundaria para anhídrido sulfuroso (SO₂), en Chile.

1.3.2 OBJETIVOS ESCÍFICOS

- Realizar un estudio bibliográfico de los antecedentes respecto al impacto del SO₂ en la flora y fauna.
- Llevar a cabo la revisión de antecedentes y criterios de las normativas aplicadas en otros países con respecto al SO₂.
- Realizar un estudio en terreno de los niveles de SO₂ obtenidos en las estaciones de monitoreo y de antecedentes meteorológicos.
- Analizar y discutir los resultados obtenidos, con respecto a los valores máximos y promedio de cada periodo.
- Evaluar el entorno de la fundición Ventanas. Con respecto a su descripción geográfica, clima, tipos de suelo, hidrografía, cubierta vegetal, caracterización agrícola y presencia de áreas silvestres protegidas.

- Describir posibles efectos del SO₂ en especie arbóreas y arbustivas, en el entorno de la fundición Ventanas de ENAMI.
- Realizar la estructuración y evaluación de los antecedentes obtenidos con el fin de realizar una propuesta de norma secundaria.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

El presente estudio, fue realizado para la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), en el departamento de Gestión - Calidad - Seguridad y Medio Ambiente, para la fundición Ventanas. Contando con la cooperación de la Universidad de Playa Ancha para el estudio realizado a especies arbóreas y arbustivas, la cual cuenta con la infraestructura necesaria para ser llevado a cabo.

Este estudio, se centra en la actividad minera del cobre en nuestro país, donde Chile ocupa el primer lugar de producción a nivel mundial, seguido por Estados Unidos. De las etapas de la industria del cobre, es durante el proceso de fundición donde se generan las emisiones de SO_2 . Este gas debido a sus propiedades químicas puede generar efectos dañinos en la salud de las personas, en la flora y fauna; los cuales son disminuidos al aplicar normas de calidad del aire.

2.1.1 MINERÍA DEL COBRE EN CHILE Y EL MUNDO

La minería ha sido uno de los sectores más importantes en la economía chilena en la última década, a pesar de la diversificación de las exportaciones, captando alrededor del 8,5% del producto interno bruto (PIB) y alrededor de 45% del total de las exportaciones del país.

En los últimos años, Chile ha continuado siendo el mayor productor y exportador de cobre del mundo en términos de volumen y valor, y ha sido reconocido por la comunidad minera mundial, como el país minero más activo en términos de nuevos desarrollos e inversiones. Ya en los años 1999 y 2001 Chile ocupó el primer lugar, superando a Estados Unidos que hasta 1998 lideró el ranking con una producción de 1,7 millones de toneladas de cobre fino ese año. Hoy día, Estados Unidos se ubica por debajo de las 700.000 ton, Japón en tanto, superó a Chile los años 2000 y 2002, por 20.000 y 60.000 ton, respectivamente. El año 2002 Japón produjo 1.499.400 ton y Chile 1.438.700 ton. de cobre de fundición.

En el período 1997 – 2001 se registró un aumento de la producción mundial de fundiciones primarias proveniente principalmente de la zona de Asia y Australia, las que en conjunto registraron una tasa de crecimiento promedio anual de 9,4%. En cambio, Norteamérica disminuyó su producción por el cierre y paralización de grandes instalaciones integradas, entre las que destacan fundiciones localizadas en Estados Unidos.

Entre los países que aumentaron su producción destacan: China, India, Corea, Indonesia y Australia donde se materializaron proyectos de ampliaciones e instalaciones nuevas.

Durante el año 2000, Chile produjo aproximadamente 4,6 millones de toneladas de cobre fino, de las cuales 1,8 millones de toneladas de cobre fino correspondió a concentrados de cobre para exportación, es decir, un 38% de la producción nacional.

Las estimaciones de Cochilco señalan que la producción nacional de concentrados ascendería a 4,5 millones de toneladas de cobre fino contenido hacia el año 2010, equivalente 1,4 veces a la producción registrada en el año 2001. Ello significa mantener la posición de Chile como principal productor de esta materia prima a nivel mundial (Cochilco, 2002).

2.1.2 PROCESO DE FUNDICIONES DE COBRE

El proceso de la industria del cobre se realiza en cinco etapas:

A.- Compra

B.- Concentración

C.- Fundición

D.- Refinación a fuego

E.- Refinación electrolítica

La industria de fundiciones y refineries de cobre utiliza como principal materia prima concentrados, los cuales son transformados en cobre electro refinado, pasando previamente por diferentes productos intermedios comercializables como metal blanco, blister, refino a fuego y ánodos.

Con relación a los concentrados de cobre, éstos corresponden al producto resultante del tratamiento de minerales a partir de procesos de flotación, los cuales provienen de yacimientos cuya naturaleza mineralógica corresponde a minerales sulfurados.

La presencia de azufre en los concentrados permite fundir, y a la vez ocasiona emisiones anhídrido sulfuroso (SO_2), gas que debe ser captado por sus efectos negativos sobre el medio ambiente. La forma común de realizar tal operación, es transformar el gas en ácido sulfúrico.

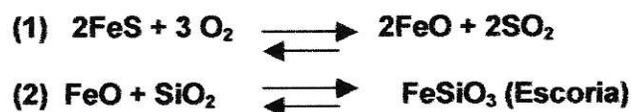
El proceso de fundición consiste en separar, mediante fusión, el cobre de las impurezas que lo acompañan (sílice, óxidos de fierro, alúmina, etc.). En primer lugar, se funden en el "convertidor teniente", la mezcla preparada (concentrados, precipitados, minerales de alta ley, fundentes calizo y circulante), de donde se obtiene una sustancia formada principalmente por sulfuros de fierro y cobre, conocida como

“Eje” o “Mata”, con una ley de 50% de cobre. La ganga, denominada “Escoria”, que contiene alrededor de 0,8% de cobre, se traslada del convertidor teniente a través de un canal de retorno hacia el horno eléctrico, para terminar de extraer el cobre que aún contenga la escoria y poder procesar los circulantes.

Lo que queda de la escoria, es llevado en un convoy de ferrocarril en ollas de 4 m³ de capacidad a un botadero denominado escorial. Las etapas del proceso de fundición son las siguientes.

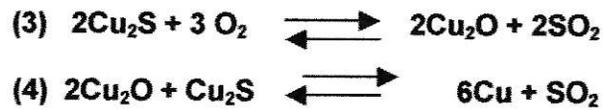
El eje con una ley de 50% de cobre, continúa su proceso en los convertidores, donde se oxidan y eliminan sus impurezas insulflándole aire enriquecido con oxígeno, mediante un sistema de tuberías, siendo su proceso el siguiente:

- **Soplado de escoria:** Consiste fundamentalmente en la oxidación del sulfuro ferroso contenido en el Eje, a óxido ferroso, el cual ante la presencia de sílice, se separa en forma de escoria. El rol de la sílice es actuar como fúndente, generando una escoria de bajo punto de fusión y densidad menor que el metal fundido (la escoria flota sobre el metal fundido). Esto puede ser observado a partir de la ecuación 1 y 2.



El azufre es liberado en forma gaseosa como anhídrido sulfuroso (SO₂) materia prima en la producción de ácido sulfúrico. De esta reacción se obtiene como producto el llamado metal blanco (Cu₂S).

- **Soplado de metal blanco:** El metal blanco obtenido se oxida para eliminar el azufre como anhídrido sulfuroso, formando así cobre blister de 99% de pureza, en donde el anhídrido sulfuroso es enviado a la planta de ácido sulfúrico y el cobre blister sigue su proceso de refinación a fuego. Lo cual puede ser observado en las ecuaciones 3 y 4.



En la siguiente figura, es posible observar las diferentes etapas en el proceso de fundición del cobre.

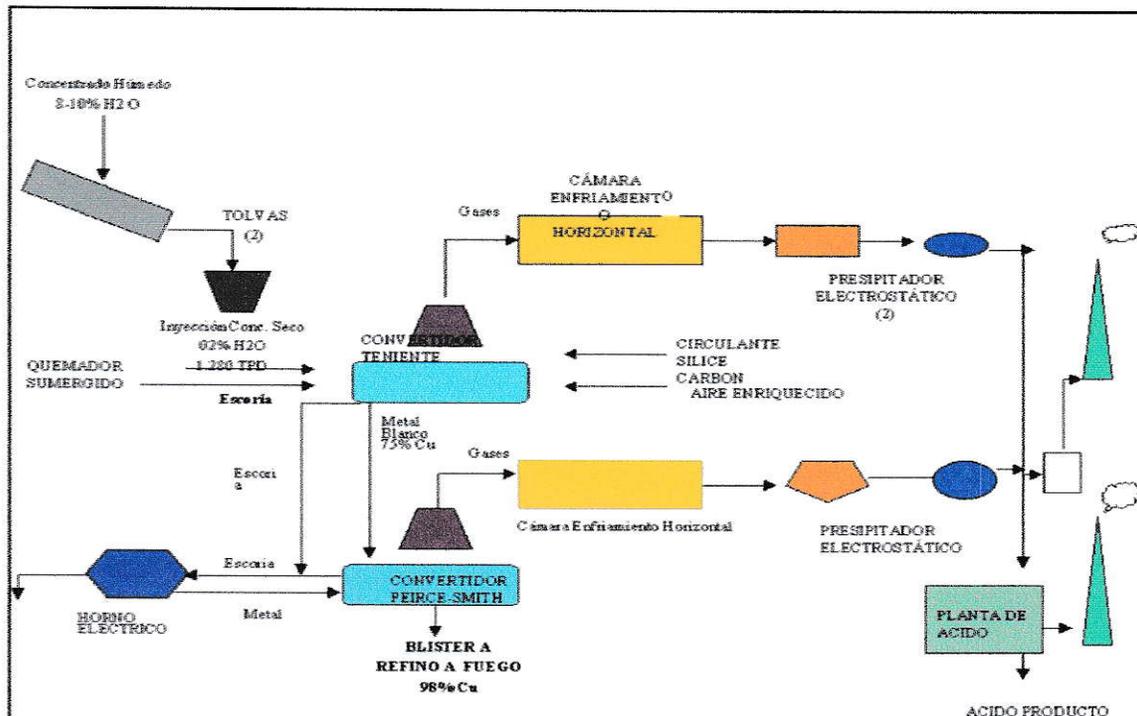


Figura 1: Proceso de fundición de cobre

2.1.3 PROBLEMAS AMBIENTALES EN FUNDICIONES DE COBRE.

Los problemas ambientales asociados a la fundición de cobre son:

- **Escorias:** Las escorias son inertes, o sea, no se disuelven, y no son contaminantes ya que sólo ocupan espacio. Por ello pueden causar pérdidas del hábitat en zonas puntuales.
- **RILes:** En general se puede encontrar:
 - Soluciones de sulfato ferroso
 - Ácidos negros (metales pesados)
 - Aguas de descarte neutralizadas y/o tratadas.
- **RISes:** Peligrosos y no peligrosos. Estos materiales contienen diversas especies mineralógicas tales como:
 - Arseniato de fierro
 - Pentóxido de vanadio agotado
 - Sedimentos de piscina de decantación

Las que de ser abandonadas y expuestas a condiciones naturales pueden disolverse por la presencia de agua, bacterias, oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno.

- **Molestias:** Esencialmente ruido, el cual dependerá exclusivamente de las instalaciones de la empresa
- **Alteración de la calidad del aire:** Emisiones de material particulado, óxidos de arsénico y anhídrido sulfuroso. Éste último, es liberado directamente de la fundición y se denomina contaminante primario.

2.2 QUÍMICA Y PRINCIPALES EFECTOS DEL ANHÍDRIDO SULFUROSO

2.2.1 PROPIEDADES DEL ANHÍDRIDO SULFUROSO

El SO_2 es un importante contaminante primario. Su tiempo de vida basado en la reacción del radical hidróxilo (ver ecuación 10), a niveles atmosféricos típicos de OH, es de 2 a 4 días. Una vez liberado al ambiente, el anhídrido sulfuroso se moviliza al aire. En el aire, el anhídrido sulfuroso puede ser transformado a ácido sulfúrico, anhídrido sulfúrico y sulfatos (ver figura 2).

Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie vía deposición seca o húmeda, el resto por fotooxidación directa en fase gas se convierte en iones sulfato (SO_4^{2-}).

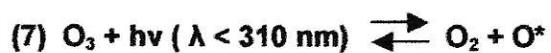
Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante. Condensa (líquido incoloro) a -10°C y solidifica a -72°C . Es soluble en agua (85% a 25°C) y en los solventes orgánicos (Moore S. & Wood K. El mundo de la Química, 2000).

El proceso químico de transformación de las emisiones de SO_2 en la atmósfera se da a conocer a partir de las siguientes ecuaciones.

Uno de los procesos de transformación del SO_2 comienza a partir de la formación de Ozono (O_3), mediante fotólisis del oxígeno, por la luz ultravioleta de longitud de onda corta de acuerdo a la siguiente reacción:



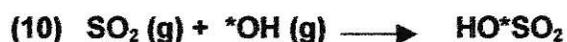
Por fotólisis del O_3 a longitudes de onda corta en el ultra violeta ($< 310 \text{ nm}$) se genera un estado electrónicamente excitado del átomo de oxígeno, la formación de este, puede ser apreciada en las siguientes ecuaciones:



El cual puede reaccionar con el metano o agua para dar uno o dos radicales hidroxilo, a partir de las siguientes ecuaciones:



El SO_2 emitido a la atmósfera se oxida por el radical hidróxido producido, según la reacción:



El SO_2 también puede generar SO_3 a partir de las siguientes reacciones:

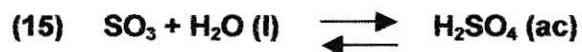


Considerando una temperatura de 298 K, las constantes para las ecuaciones 13 y 14 son las siguientes:

$$K_{s1} = \frac{[[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HSO}_3^-]]}{[\text{SO}_2][\text{H}_2\text{O}]} = 1,3 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

$$K_{s2} = \frac{[[\text{H}_3\text{O}^+][\text{SO}_3^{2-}]]}{[\text{HSO}_3^-][\text{H}_2\text{O}]} = 6,6 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$$

El trióxido de azufre (SO_3) es por lo tanto un contaminante secundario y agente deshidratante poderosísimo, reacciona con el agua atmosférica para dar ácido sulfúrico; éste forma pequeñas gotas que pueden ser arrastradas por los vientos, cientos de kilómetros antes de caer a tierra (Atkinson y col, 1991).

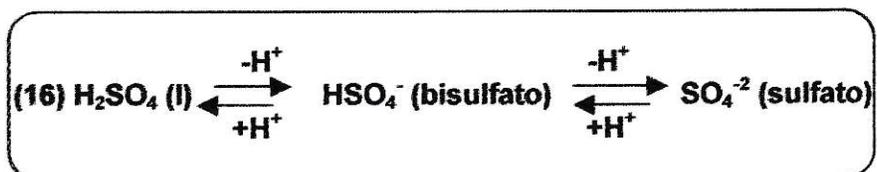


2.2.2 FORMACIÓN DE LLUVIA ÁCIDA

La lluvia normal es ligeramente ácida, debido al ácido carbónico que se forma cuando el dióxido de carbono del aire se disuelve en el agua de lluvia. Su pH suele estar entre 5 y 6.

Cuando la atmósfera recibe fuertes concentraciones de anhídrido sulfuroso, estos compuestos por reacciones químicas complejas, se convierten parcialmente en ácido sulfúrico (ecuaciones anteriores). Algunas de esas partículas ácidas desaparecen por gravedad o por impacto contra el suelo, plantas, etc. (deposición seca). Otras permanecen en la atmósfera, se combinan con la humedad de las nubes y caen por la lluvia, la nieve, niebla, y el rocío (deposición húmeda o lluvia ácida). La lluvia ácida es el fenómeno que se produce por la combinación de los óxidos de nitrógeno y azufre proveniente de la actividad humana o natural, con el vapor de agua presente en la atmósfera, los cuales precipitan posteriormente a tierra acidificando los suelos y cursos de agua, pero que pueden ser arrastrados a grandes distancias de su lugar de origen antes de depositarse en forma de lluvia. El comportamiento de las emisiones de SO_2 , puede ser observado en la Figura 2 (Gorham E., 1998).

El ácido sulfúrico formado, producto de las emisiones de SO_2 , puede generar bisulfato (HSO_4^-) y sulfato (SO_4^{2-}), de acuerdo a la siguiente reacción:

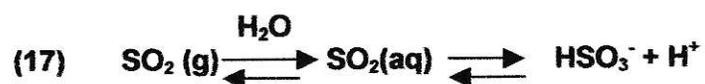


Las constantes de equilibrio para la transformación a bisulfato (K_1) y posteriormente a sulfato (K_2) considerando una temperatura de 298 k son:

$$K_1 = 1000 \text{ mol L}^{-1}$$

$$K_2 = 1,02 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

El SO_2 en fase líquida, también contribuye en la acidificación de la lluvia al formar bisulfito y ión hidrógeno, a partir de la siguiente reacción:



La constante de Henry para el paso de SO_2 en fase gas a SO_2 en fase acuosa se determina a partir de la siguiente formula:

$$[\text{A}(\text{aq})] = H_A P_A$$

Donde

P_A = Presión parcial de A en fase gas (Pa)

$[\text{A}(\text{aq})]$ = Concentración (mol L^{-1}) de A en fase acuosa en equilibrio con P_A

H_A = Constante de Henry en $\text{mol L}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$

$$H_A = 1,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$$

La presión parcial de SO_2 se calcula por la ley de Dalton de las presiones parciales.

$$P_{\text{SO}_2} = P_t * Y$$

Donde

P_t = Presión total

Y = Fracción molar de SO_2 en fase gas ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Una vez conocida la presión parcial y reemplazando este valor en la ley de Henry es posible obtener la concentración de SO_2 en fase acuosa, y aplicando el equilibrio acuoso calcular el pH de la solución resultante.

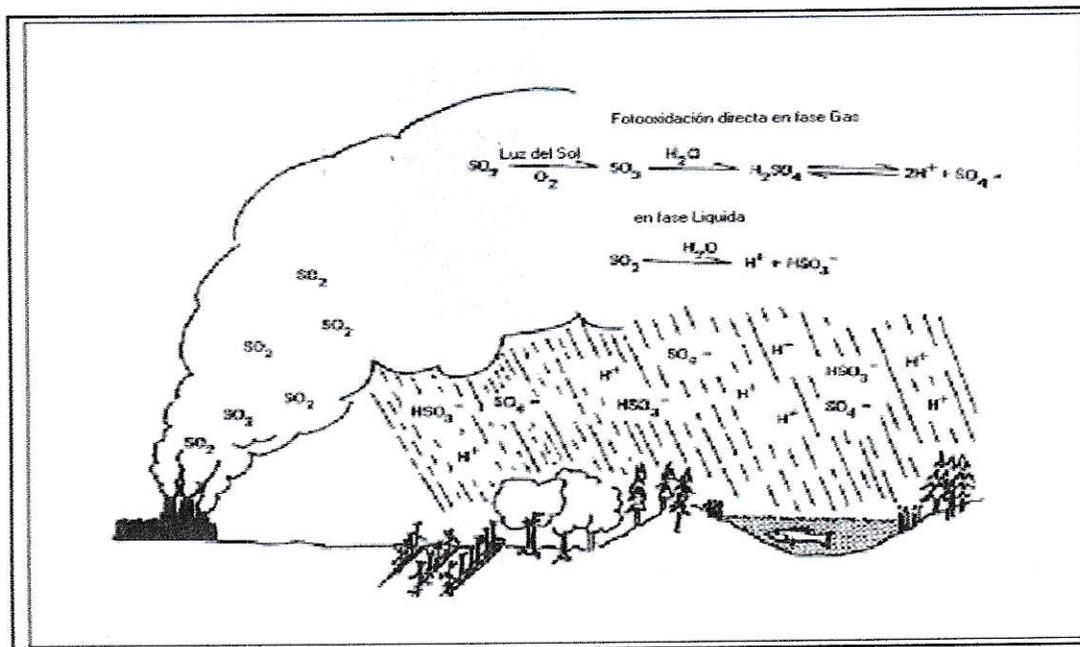


Figura 2: Comportamiento del SO_2 liberado a la atmósfera.

A través del ciclo hidrológico, el agua se mueve en plantas y animales, ríos, lagos y océanos, evaporándose a la atmósfera y formando nubes que viajan empujadas por el viento, de tal suerte que si transportan contaminantes, éstos pueden alcanzar casi cualquier lugar sobre la superficie terrestre (Gorham E., 1998).

Generados tanto el H_2SO_4 como el SO_3 , pueden reaccionar originando el ácido piro sulfúrico ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$), el cual se caracteriza por ser muy corrosivo (ver ecuación 14).



2.2.3 PRINCIPALES EFECTOS DE LA PRESENCIA DE ANHÍDRIDO SULFUROSO

La consecuencia principal de su inhalación es la constricción de los bronquios, con las consiguientes dificultades para la respiración. Los asmáticos son más sensibles a este efecto, pues en ellos la broncoconstricción puede ocurrir con concentraciones mucho menores del gas. La información epidemiológica disponible indica que se produce un aumento de la morbilidad y mortalidad por enfermedades pulmonares cuando tienen lugar incrementos transitorios de la concentración atmosférica de anhídrido sulfuroso y de partículas (Agencia Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, Atlanta E.E.U.U., 1998).

Estudios en animales han demostrado que la inhalación de anhídrido sulfuroso altera las defensas contra enfermedades respiratorias agudas, como la limpieza mucociliar de partículas del área bronquial y la actividad fagocítica de los macrófagos del pulmón (Agencia Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, Atlanta E.E.U.U., 1998).

La respuesta de las plantas a la exposición al SO_2 es un proceso complejo que involucra no sólo la concentración y tiempo de exposición, sino que también la composición genética de la planta y los factores ambientales bajo los cuales ocurre dicha exposición.

Otros efectos producidos por el anhídrido sulfuroso, son la pérdida de visibilidad y el deterioro de materiales (EPA web, Acid Deposition Estándar Study, 2002).

Un ejemplo de los efectos de las emisiones de anhídrido en la flora, puede ser observado en la siguiente figura, donde se aprecia la pérdida completa del follaje, y posterior muerte del ecosistema forestal.

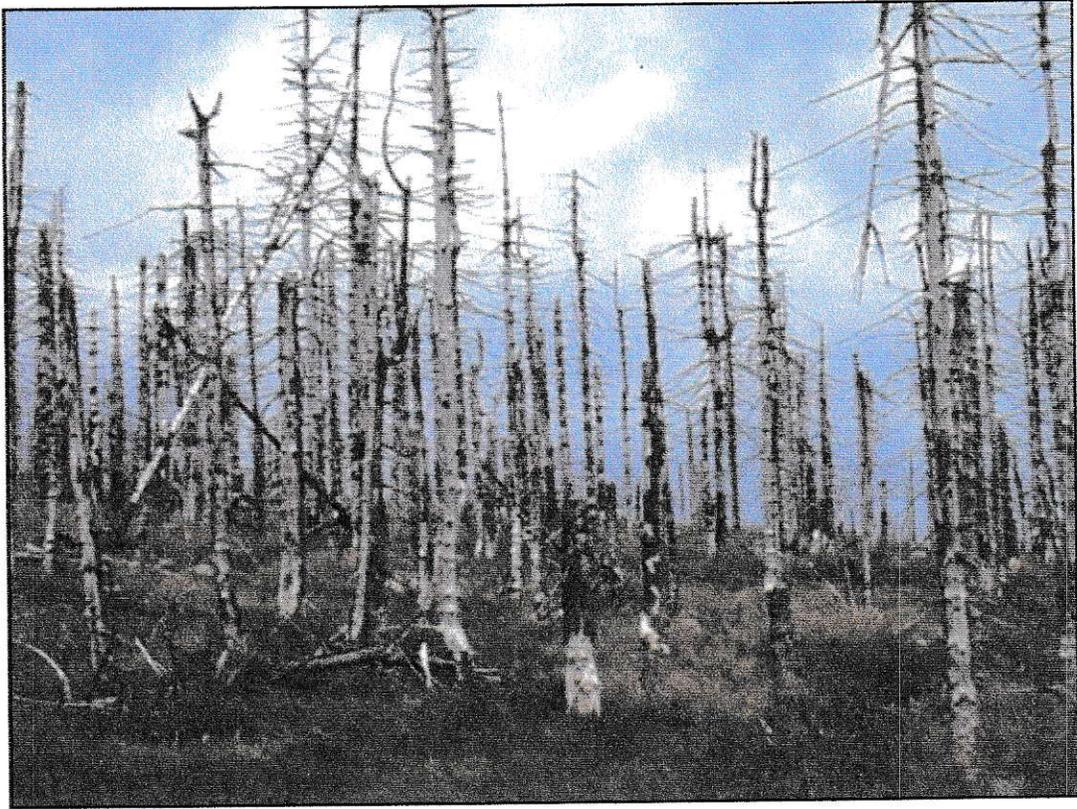


Figura 3: Efecto de las emisiones de SO_2 en un ecosistema forestal.

2.3 AMBITO DE LAS REGULACIONES REFERENTES A ANHÍDRIDO SULFUROSO

2.3.1 NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL

Cuando los hombres se asocian en comunidades, la primera instancia a la solución de conflictos tiende a llevarse a cabo en forma individual. Sin embargo, cuando la población crece y se comienzan a producir externalidades negativas, es necesario establecer ciertas normas, de modo de asegurar una convivencia armónica, donde todos puedan ejercer su libertad, sin perjudicar a terceros.

En cuanto a la contaminación, por ejemplo, tenemos derecho a ejercer actividades productivas en nuestra propiedad, las que van a generar emisiones al aire, agua y suelo. Sin embargo, cuando dicha actividad genera elementos contaminantes que perjudican a terceros, entonces se deben limitar dichas emisiones.

En la búsqueda de la protección de la salud y la corrección de estas externalidades negativas, las autoridades establecen normas de calidad ambiental.

La Constitución Política del Estado, en su artículo 19, número 8, consagra el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Éste a su vez establece, que es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. Asimismo, indica que la ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.

La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente promulgada en 1994, y el reglamento respectivo (D.S. 93/1995, Ministerio Secretaría General de la Presidencia), por su parte, establecen el proceso que regula la generación de normas de calidad ambiental. Define en primer lugar dos tipos de normas de calidad ambiental: normas primarias, aquellas destinadas a proteger la salud de la población y de aplicación en todo el territorio nacional y normas secundarias, aquellas destinadas a proteger los recursos naturales.

2.3.2 NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO EN CHILE

La calidad del aire se define no en función del aire por sí mismo, sino que para que éste, en razón de las concentraciones de los contaminantes que contenga, no represente un riesgo para el hombre, para la flora o fauna. Se define la calidad que debe tener el aire respecto a un contaminante dado, o a la inversa, la forma en que puede ser usado el aire, en cuanto componente del medio ambiente, como receptor de las descargas de un contaminante dado, que generan determinadas actividades naturales o productivas (Ana Luisa C., Serie informe Medio Ambiente, 2002).

Las normas de calidad del aire para anhídrido sulfuroso vigente en Chile, tanto primaria como secundaria, se dan a conocer en la Tabla 1.

Tabla 1: Norma primaria y secundaria para anhídrido sulfuroso vigente en Chile.

Norma	Periodo	Valor Limite $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	Incumplimiento	Eventos Posibles
Primaria (*)	Anual	80	Promedio de Concentración Anual de tres años sucesivos fuere mayor o igual al nivel indicado.	1
	Diaria	250	Promedio de tres años sucesivos, del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante el año fuere mayor o igual al nivel indicado.	365
Secundaria (**)	Anual	80	un año sobre 80	1
	Diaria	365	un día sobre 365	365
	Horaria	1	una hora sobre 1.000	8.760

(*) D.S. N°113/ MINSEGPRES

(**) D.S. N°185/Ministerio de Minería

En 1991, se establece la primera norma secundaria de calidad ambiental para SO₂, aplicable a las áreas de impacto de megafuentes. Esta norma rige en el área circundante a la fundición de cobre Hernán Videla Lira (valle de Copiapó en la III Región), Chagres (valle del Aconcagua en la V región), Caletones (valle del estero Coya en la VI Región) y en el complejo industrial Ventanas en la costa de la V Región (D.S. N° 185, Ministerio de Minería, 1991).

El D.S. N°185/91 que fija la norma secundaria para anhídrido sulfuroso, se basa en los estudios realizados por el Ministerio de Minería que revelan que más del 90% de las emisiones de anhídrido sulfuroso en el país provienen de instalaciones mineras, existiendo la necesidad de reglamentar la operación de estas fuentes, con el propósito de evitar la contaminación del aire.

De acuerdo a lo anterior y realizando las consultas en los distintos organismos competentes (Ministerio de Salud, Ministerio de Minería, Servicio Agrícola y Ganadero y en CONAMA), el D.S. N°185/91, no cumple con el procedimiento obligatorio para la aprobación de normas, que considera a lo menos las siguientes etapas básicas:

- a) Análisis técnico y económico (costo/beneficio).
- b) Desarrollo de estudios científicos rigurosos.
- c) Consulta a organismos competentes, públicos y privados.
- d) Análisis de observaciones formuladas.
- e) Adecuada publicidad.

Las etapas recién mencionadas tienen como función generar un marco objetivo de discusión de las normas, generando información relevante para emitir opiniones, tales como el sustento científico que avala la necesidad de normar, el análisis costo/beneficio, el riesgo implícito en la regulación propuesta, los plazos para lograr el

cumplimiento de la calidad del aire deseada, etc (Ana Luisa C., Serie informe Medio Ambiente, 2002).

La fijación de una norma de calidad ambiental debe estar basada principalmente en un fundamento de carácter científico, lo que obliga a la realización de los estudios pertinentes, que establezcan las asociaciones o correlaciones relevantes entre contaminantes y los efectos que se quieren evitar. Dadas las limitaciones económicas que tienen algunos países, como por ejemplo Chile, para realizar un estudio de esa naturaleza, es razonable adoptar estándares de otros países que han efectuado tales estudios de respaldo, como por ejemplo EE.UU., pero adaptándolos a la realidad nacional.

La norma secundaria para anhídrido sulfuroso (Tabla 1), fue fijada en base a, la no existencia de los planes de descontaminación que existen hoy en día.

Al año 2004, existen planes de descontaminación para las áreas afectadas por la fundición de cobre Ventanas de ENAMI cuya operación supuso la excedencia de las normas de calidad del aire, las que cumpliendo con las metas de reducción de emisiones han logrado rebajas sustanciales en sus emisiones de SO₂.

2.3.3 NORMA SECUNDARIA PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO APLICADA EN OTROS PAÍSES

Con el fin de poder realizar un análisis de la norma secundaria para anhídrido sulfuroso vigente en nuestro país, es de gran importancia comparar ésta con normas de calidad ambiental que hoy rigen en otros países, las cuales se dan a conocer en la Tabla 2.

El análisis de la experiencia extranjera es de gran utilidad, ya que entrega elementos de importancia en la adecuación de una norma ambiental, interesantes de ser observados en nuestra realidad nacional. Es importante destacar que los países desarrollados llevan mucho avanzado en estas temáticas, sin embargo, a nivel latinoamericano, Chile va a la vanguardia en lo referente a la elaboración y aplicación de normas ambientales.

Tabla 2: Norma secundaria aplicada en otros países.

País	Norma	Periodo (hora)	PIB per capita (Billones de US\$ 2002)
Chile	1000	1	5.354
USA	1300	3	31.996
México	No	No	3.819
Argentina	1300	3	7.416
Canadá	890	1	22.541
Australia	523	1	23.838
Perú	No	No	2.368
Ecuador	No	No	3.303

En la Tabla 2, se observa que países Latinoamericanos como México, Perú y Ecuador, no poseen norma secundaria para anhídrido sulfuroso, mientras que países como Canadá y Australia poseen normas más estrictas que la aplicada en nuestro país, en el caso de Canadá, esto se debe principalmente a las características climáticas que éste posee, donde la presencia de fenómenos hidrometeorológicos es muy alta lo que puede agravar los efectos producidos por el SO_2 principalmente en la flora. En el caso de Australia, la aplicación de una norma más estricta, se debe principalmente a la disminución en la producción de fundiciones en comparación con países como Chile y USA, lo que facilita el cumplimiento de estos niveles, y también influye el hecho de que en los lugares de instalación de dichas fundiciones existe una alta actividad agrícola, mucho mayor a la actividad agrícola presente en las zonas circundantes a la fundición Ventanas de ENAMI, donde ésta en la mayoría de los casos es sólo de subsistencia.

Países como USA y Argentina, poseen una norma más flexible en comparación con la aplicada en nuestro país, se aprecia que la norma Argentina es una copia de la de USA, esto se debe a que Argentina no presenta mayores problemas con respecto a las emisiones de SO_2 . Para USA el problema de la contaminación por SO_2 , dejó de serlo, éste fue solucionado hace muchos años fijando un estándar secundario de $1.300 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para un promedio de 3 horas; para determinar este nivel durante ese período de tiempo, fue necesario realizar un gran número de estudios científicos en diferentes condiciones, que puedan avalar este máximo nivel permitido, sin producir daños en la flora circundante a los lugares de emisión. El Anexo I, corresponden a las consideraciones realizadas por la EPA y posterior revisión de los niveles fijados como estándar para anhídrido sulfuroso y su protección a la flora. La protección de la fauna de acuerdo a la EPA se logra a partir de los estándares primarios de calidad del aire.

Es de gran importancia tomar en consideración que Estados Unidos, es el principal competidor con Chile en la producción de cobre. Estados Unidos posee una norma secundaria para SO₂ más flexible que la aplicada en Chile, por lo que es de gran importancia conocer las consideraciones realizadas por la EPA para fijar este estándar. La revisión de este documento, tiene como objetivo rescatar los puntos más importantes, en relación a la implementación de esta normativa ambiental. De manera que sirva como referencia en la propuesta a realizar.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA CONTAMINACIÓN POR ANHÍDRIDO SULFUROSO Y SU EFECTO EN LA FLORA Y FAUNA

2.4.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR ANHÍDRIDO SULFUROSO

El aire que respiramos tiene una composición muy compleja y contiene una gran cantidad de compuestos diferentes. Entre los principales elementos que se pueden encontrar en el aire se encuentran: nitrógeno (78,1%), oxígeno (20,9%) y argón (0,9%). Sin estos tres compuestos, la vida en la tierra sería imposible (Xavier Doménech, Química Atmosférica, 1995).

La calidad del aire está determinada por su composición. La presencia o ausencia de varias sustancias y sus concentraciones son los principales factores determinantes de la calidad del aire. Debido a esto, la calidad del aire se expresa mediante la concentración de contaminantes y la presencia de microorganismos.

La propiedad física más importante de la atmósfera es la variación de la temperatura en altura a razón de 6°C por Km ascendido, cuando más se aparte este gradiente del normal va a provocar que los procesos de contaminación se agraven producto de la inversión térmica. La atmósfera contaminada será aquella en que se han modificado sus características respecto a sus condiciones naturales. Un contaminante atmosférico primario será aquel que ha sido emanado directamente en una concentración suficiente para crear unos efectos negativos en los receptores (seres vivos, flora, fauna, materiales y la propia atmósfera) y un contaminante secundario es aquel que puede ser producido en la atmósfera por procesos físicos y/o químicos a partir de un contaminante primario u otras sustancias presentes (Xavier Doménech, Química Atmosférica, 1995).

Las condiciones meteorológicas presentes en un área determinada, son las responsables del transporte e influyen en los procesos de transformación de los contaminantes.

Las condiciones meteorológicas que más afectan son:

- Presión atmosférica
- Temperatura
- Grado de humedad
- Radiación solar incidente y reflejada por la tierra
- Viento (velocidad y dirección)
- Agentes nucleantes
- Fenómenos hidrometeorológicos

Las condiciones meteorológicas más importantes son la presión, los vientos y los fenómenos hidrometeorológicos. Los movimientos en el aire, en la atmósfera, están determinados por la variación de temperatura en altura, que va a ser responsable del movimiento de las capas de aire. La temperatura disminuye con la altitud, (a más altitud, menor temperatura). El aire más próximo a la superficie terrestre es calentado por ésta, se hace menos denso que el aire más frío que hay sobre él, produciendo con ello una circulación vertical del aire que favorece la dispersión de los contaminantes, lo cual puede ser observado en la Figura 4, lo que agrava los procesos de contaminación son las isotermas de temperatura y la inversión de la temperatura, donde en lugar de disminuir la temperatura ésta aumente por lo tanto no hay difusión en altura. Esto puede ser observado en la Figura 5 (Xavier Doménech, Química Atmosférica, 1995).

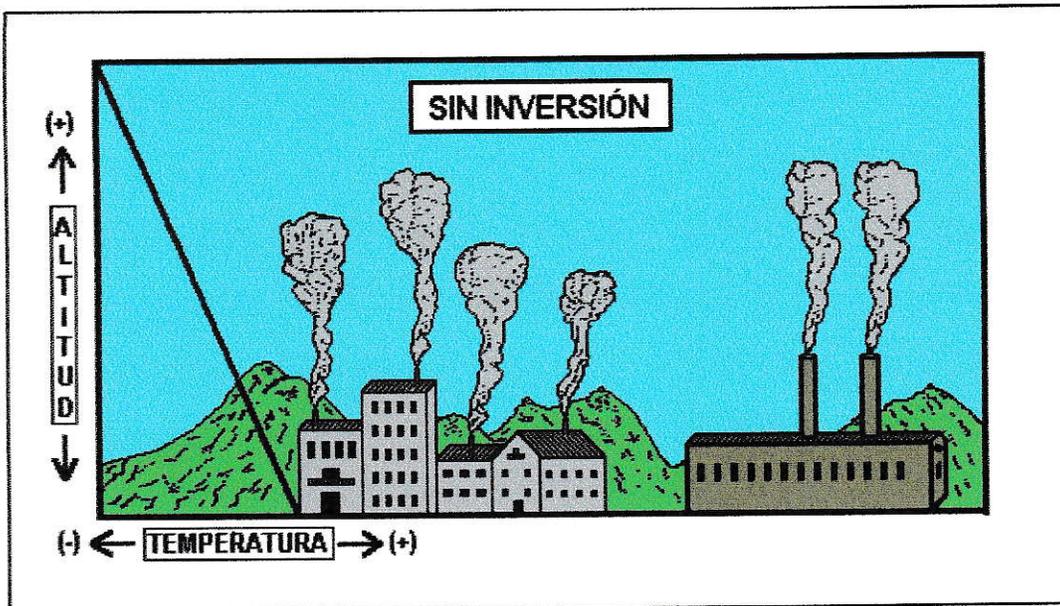


Figura 4: Circulación vertical del aire. Favorece la dispersión de contaminantes.

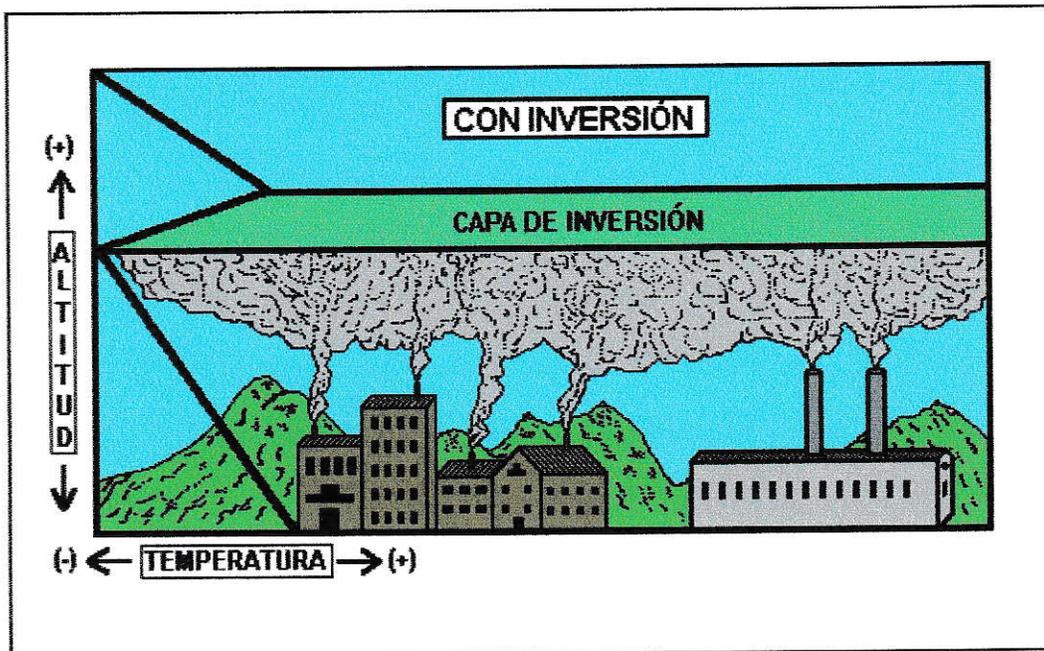


Figura 5: Inversión de temperatura. Agrava los procesos de contaminación.

La inversión térmica se presenta en ausencia de luz solar, en las noches despejadas el suelo ha perdido calor por radiación, las capas de aire cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores de aire lo cual provoca que se genere un gradiente positivo de temperatura con la altitud (fenómeno contrario al que se presenta normalmente, la temperatura de la troposfera disminuye con la altitud). Esto provoca una estratificación de capas de aire con la altura; la capa de aire frío cerca del suelo, la de aire caliente y la superior más fría, generándose una gran estabilidad a la atmósfera porque prácticamente no hay convección térmica, ni fenómenos de transporte y difusión de gases. De este modo disminuye la velocidad de mezcla vertical entre la región que hay entre las dos capas frías de aire. La inversión térmica se termina cuando se calienta el suelo y vuelve a emitir calor lo cual restablece la circulación normal en la troposfera (Xavier Doménech, Química Atmosférica, 1995).

El viento se produce cuando una masa de aire se vuelve menos densa, al aumentar su temperatura, asciende y entonces, otra masa de aire más densa y fría se mueve para ocupar el espacio que la primera ha dejado. Este va a ser el responsable transporte de los contaminantes.

Transporte convectivo horizontal:

El viento, al transportar los contaminantes, produce su dispersión horizontal y determina la zona que va a estar expuesta a los mismos. Por lo general, una mayor velocidad del viento reducirá las concentraciones de contaminantes al nivel del suelo, ya que se producirá una mayor dilución y mezcla.

No obstante, pueden producirse circulaciones cerradas de viento, como en el caso de las brisas del mar correspondiente a aire fresco que viaja de la tierra al mar durante la noche y las de valle y montaña donde aire fresco viaja del mar hacia la tierra durante el día, en las que los contaminantes lanzados a la atmósfera se incorporan a la circulación del viento con lo que se produce una acumulación progresiva de contaminantes, que da lugar a un aumento de la concentración de los mismos en las zonas barridas por este tipo de vientos. Efectos similares se producen cuando los vientos fuertes inciden perpendicularmente a las crestas montañosas, a un valle o sobre los edificios altos; en estas condiciones, los efectos aerodinámicos de estos obstáculos pueden tener consecuencias negativas para la dispersión de contaminantes, acumulándolos en determinadas zonas.

Transporte convectivo vertical:

El principal factor que determina el grado de difusión vertical de contaminantes es la variación vertical de temperaturas en la atmósfera.

Podemos determinar la capacidad de difusión vertical de contaminantes, comparando la variación vertical de temperaturas de un estrato de aire atmosférico con el gradiente vertical adiabático del aire, que corresponde a una variación de -1° C por cada 100 m de altura. De esta forma se obtienen tres clases diferentes de estabilidad atmosférica en el estrato, según que la variación de la temperatura con la altura sea mayor, igual o inferior que la correspondiente al gradiente vertical adiabático.

- La primera clase se produce, si en la capa de aire la temperatura desciende con la altura bastante menos de un grado cada 100 m, los movimientos verticales del aire están muy limitados, por lo que hay poca o nula dispersión vertical de contaminantes. En este caso se dice que la clase de estabilidad atmosférica es de tipo estable.

- La segunda clase se produce, cuando la temperatura del estrato desciende con la altura más de un grado cada 100 m de altura, la estabilidad atmosférica será del tipo inestable y los movimientos verticales del aire están muy favorecidos difundiendo los contaminantes verticalmente hasta donde alcance la inestabilidad.
- Por último, tenemos el caso de la estratificación interferente o nula, que se da cuando coinciden la variación de temperatura del estrato con la gradiente vertical adiabático. En estas condiciones la dispersión vertical no está limitada.

Los fenómenos hidrometeorológicos corresponden a nieblas y precipitaciones. La niebla se produce cuando el grado de humedad en la atmósfera es muy elevado. Las principales reacciones se dan en invierno, ya que en verano al aumentar la temperatura el grado de humedad disminuye. La presencia de niebla hace que varíen las características de la atmósfera, como la visibilidad y el grado de penetración de la radiación solar, lo que provoca que en época de niebla aumente la contaminación y las enfermedades.

La lluvia, nieve o granizo lo que hacen es disminuir la concentración de los contaminantes presentes en la atmósfera, ya que provocan un efecto de disolución y arrastre de los contaminantes, es decir, lavan la atmósfera, pero como consecuencia de esto hay un mayor aumento de la contaminación del suelo y cursos de agua.

Todos estos procesos de inversión, vientos y fenómenos hidrometeorológicos lo que hacen es intensificar o disminuir los posibles efectos de la presencia de contaminación.

2.4.2 CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL ANHÍDRIDO SULFUROSO

El azufre es un elemento esencial para el crecimiento de plantas y animales. Es un constituyente básico de proteínas y es requerido en grandes cantidades por algunas plantas. Bajo condiciones normales el azufre del agua de lluvia y el de la materia orgánica de la tierra, es suficiente para suplir los requerimientos de las plantas. Sin embargo cantidades excesivas de azufre en forma de anhídrido sulfuroso pueden ser tóxicas para las plantas (ver efectos del SO_2 en la flora).

En cualquier ecosistema, la principal fuente de nutrientes deben encontrarse en la atmósfera, agua, en organismos vivos y muertos y en las formas disponibles y no disponibles de sales del suelo y rocas. Los nutrientes realizan un ciclo entre compuestos vivos y no vivos y así sucesivamente. La contaminación ambiental, sin embargo, puede interrumpir estos ciclos, alterando las cantidades y las tasas de flujo entre ellos.

El ciclo del SO_2 se puede desarrollar tanto en los sedimentos como en la atmósfera. El azufre entra en la atmósfera por la combustión de los combustibles fósiles, por erupciones volcánicas, de la superficie de los océanos y en los gases relacionados con los procesos de descomposición. La descomposición anaeróbica de la materia orgánica produce ácido sulfídrico (H_2S) que al llegar a la atmósfera es oxidado rápidamente a anhídrido sulfuroso. El dióxido de azufre es soluble en agua y puede ser devuelto a la tierra por las aguas lluvias diluido como ácido sulfúrico (H_2SO_4). Independientemente de la fuente, el azufre en su forma soluble es tomado por la vegetación e incorporado a través de una serie de procesos metabólicos, incluyendo la fotosíntesis, en aminoácidos. El azufre es transferido de los productores a los consumidores como alimento y a través de la excreción y la muerte es devuelto a la

tierra y a los sedimentos en el fondo de los lagos, pozos y mares, en donde la acción bacteriana lo devuelve en forma de ácido sulfídrico o como sulfato. El azufre en la fase sedimentaria es atrapado por depósitos orgánicos e inorgánicos en la tierra, y se incorpora al ecosistema a través de desgaste geológicos y procesos meteorológicos, siendo éstos últimos la fuente predominante. El desgaste y la descomposición permiten la entrada del azufre a una solución para ser llevado a ecosistemas acuáticos y terrestres. En su forma gaseosa el azufre circula a escala global.

La tierra es el mayor reservorio de derivados atmosféricos del azufre dentro de los ecosistemas. La mayoría del azufre de la tierra no se encuentra disponible para la vegetación y se encuentra orgánicamente atado en el humus. La actividad microbiana, oxida el azufre orgánicamente atado a sulfatos. Los sulfatos pueden ser tomados por las plantas o capturados por la tierra. La tasa de azufre que circula de los compartimientos orgánicos a los inorgánicos es el mayor factor que controla el movimiento de azufre entre la tierra y la vegetación. En la Figura 6, se puede apreciar el ciclo del azufre.

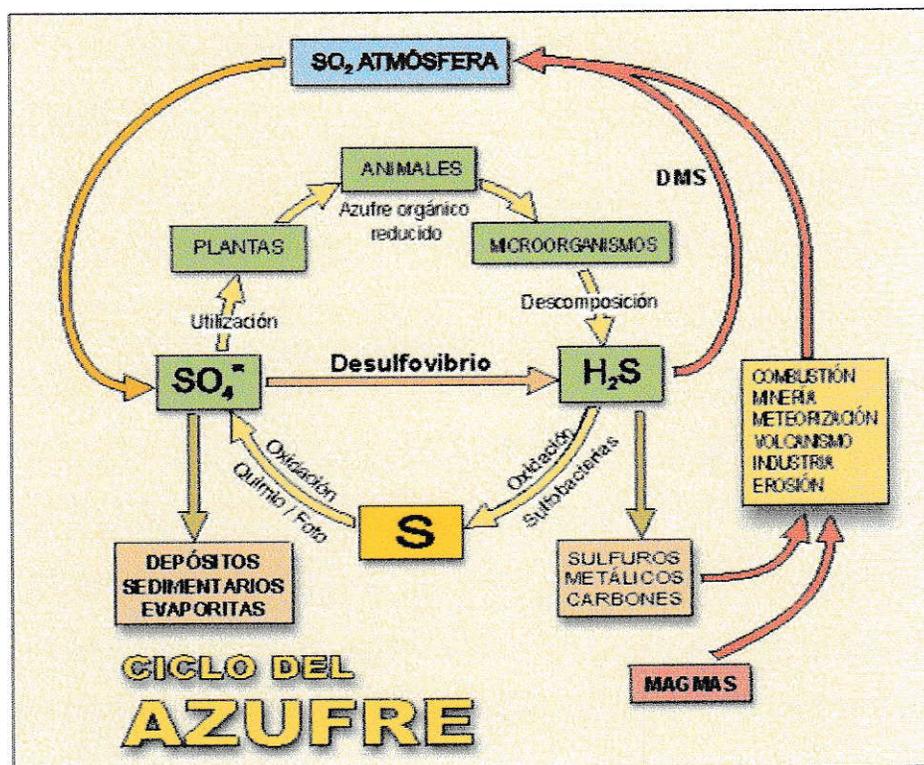


Figura 6: Ciclo del Azufre

2.4.3 EFECTO DEL ANHÍDRIDO SULFUROSO EN LA FLORA

Los elementos contaminantes se introducen en el vegetal, alterando en distinta medida su metabolismo, siendo la fotosíntesis y la respiración los dos procesos más afectados. Como resultado se produce un debilitamiento gradual de la planta, que la hace más sensible a las plagas, enfermedades y a la deficiencia hídrica (EPA web, Acid Rain program, 1999).

La exposición de las plantas al SO_2 presenta una respuesta muy compleja, que depende no sólo de la concentración y del tiempo de exposición (toxicidad), sino que también de la composición genética de la planta y los factores ambientales bajo los cuales ocurre dicha exposición. El proceso consiste en la entrada del SO_2 a la planta a través de orificios presentes en las hojas denominados estomas, y el contacto en el interior de la hoja con las membranas celulares, luego de una serie de reacciones forma sulfitos y sulfatos. La formación de éstos puede generar cambios en los sistemas metabólicos dentro de la planta, los cuales producirán disfunciones fisiológicas, perjudicando el equilibrio u homeostasis de la planta lo cual produce síntomas de daño, que pueden o no manifestarse (USEPA, Second Addendum to criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides, 1982).

El proceso puede ser observado en la siguiente figura.

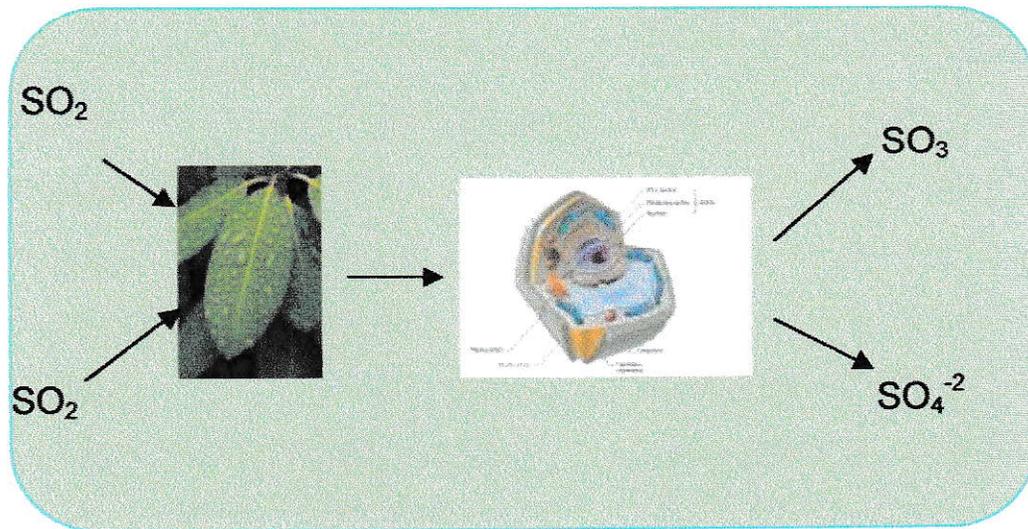


Figura 7: Entrada y transformación del SO₂ en el interior de la planta.

Los posibles efectos de la exposición de SO₂ en las plantas son los siguientes:

- Efecto fertilizante, que produce un mayor crecimiento y producción.
- Reducción en el crecimiento y la producción sin síntomas visibles en el follaje, o con leves síntomas foliares.
- Daños en el follaje como síntomas crónicos o agudos, asociados o no a reducciones en el crecimiento y la producción.
- Muerte de plantas

El daño o muerte de la planta, es consecuencia de la continua exposición a altas o bajas dosis de contaminantes. Dependiendo de la especie de planta, condiciones exactas del momento de la cosecha, dosis de contaminantes, y condiciones ambientales, pueden generar muchas formas de daño y su impacto relativo puede variar. Síntomas de daño agudo o crónico pueden ocurrir simultáneamente en una determinada planta (USEPA, Second Addendum to criterial for Particulate Matter and Sulfur Oxides, 1982).

Los estomas regulan el intercambio gaseoso y la evapotranspiración, en consecuencia se trata de una función clave para el proceso fotosintético. Se ha determinado que muchos factores que manejan la apertura y cierre de los estomas son independientes de las concentraciones de SO_2 a las cuales se encuentra expuesta la planta. Existen factores físicos como la luz, humedad de la superficie de la hoja, humedad relativa del aire y humedad de la tierra los cuales tienen influencia en la apertura y cierre de los estomas, y juegan un papel importante en la susceptibilidad de la planta limitando el ingreso pasivo del SO_2 (USEPA, Second Addendum to criterial for Particulate Matter and Sulfur Oxides, 1982).

Los mecanismos de resistencia de las plantas a la exposición al SO_2 se pueden resumir en los siguientes puntos:

- A) Las células epidérmicas son las más vulnerables y susceptibles a los contaminantes gaseosos por tratarse de la primera barrera entre la planta y el interior de la planta, además estas células carecen de cloroplastos que permiten remover el exceso de azufre mediante la producción y liberación de H_2S .
- B) Para evitar o tolerar efectos adversos la planta incluye cambios a niveles morfológicos, fisiológicos y bioquímicos. Regulando la entrada mediante el movimiento estomático, restringiendo la entrada de gases contaminantes protegiendo la fotosíntesis.
- C) Detoxificación mediante la reducción del SO_2 y expulsión de los subproductos (H_2S) a la atmósfera.
- D) Durante el día se registran valores bajos de ingreso de azufre, debido a la producción y liberación de H_2S ; proceso dependiente de la luz.

- E) Bajas concentraciones de SO_2 normalmente dilatan la apertura estomática sin afectar el funcionamiento diurno del estoma. Altas concentraciones de SO_2 inducen al cierre estomático.
- F) Las hojas nuevas son generalmente menos dañadas que las maduras de la misma planta porque emiten mayor cantidad de H_2S al ser expuesta a una atmósfera con SO_2 . Por otra parte, el complejo $\text{SO}_2/\text{HSO}_3^-$ puede provocar daños en ciertos compartimentos, e.g. en los cloroplastos donde ocurren más reducciones que oxidaciones. Otro mecanismo para contrarrestar los efectos tóxicos del SO_2 puede involucrar la oxidación de SO_3^{-2} a SO_4^{-2} en el espacio apoplástico, catalizado por la enzima sulfuro oxidasa; SO_4^{-2} es un compuesto esencial y 30 veces menos tóxico que el SO_3^{-2} y es utilizado en la síntesis de varios compuestos orgánicos sulfurados.

2.4.4 EFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA

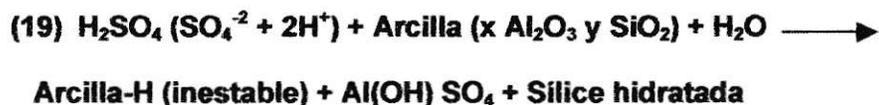
La lluvia ácida afecta directamente las hojas de los vegetales, despojándola de su cubierta cerosa y provocando pequeñas lesiones que alteran la acción fotosintética. Con ello, las plantas pierden hojas y así, la posibilidad de alimentarse adecuadamente (Muthuchelian, K y col, Acid rain, 1994).

El daño se traduce en un color marrón amarillento de sus hojas, pérdida de las mismas y deterioro de sus raíces.

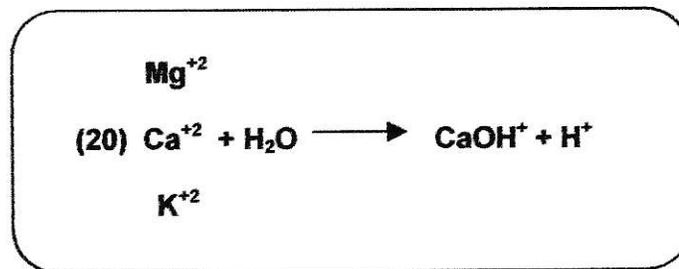
Los pinos sufren también de decoloración con estrechamiento de su extremo cónico superior por pérdida de sus hojas.

La producción primaria puede verse afectada por la toxicidad directa o por la lixiviación de nutrientes a través de las hojas.

Cuando el ácido sulfúrico (H_2SO_4) precipita, reacciona con los minerales presentes en el suelo. Uno de los productos es el sulfato (SO_4^{-2}), un anión muy importante en el proceso de acidificación. Este reacciona con diversos minerales formando otros compuestos, algunos de ellos tóxicos. El sulfato hace posible la liberación de cationes (vía intercambio catiónico con arcillas), generando sulfatos solubles (suelos sulfato-ácidos) los cuales posteriormente son transportados hacia las aguas superficiales. La reacción del sulfato con minerales del suelo se da a conocer en la siguiente ecuación:

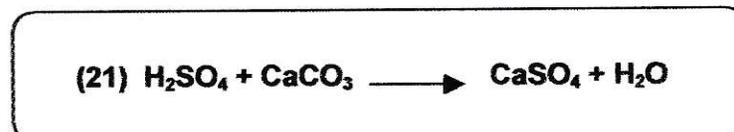


En el suelo, la acidez penetra en la tierra y afecta las raíces de los árboles. El ácido reacciona también con muchos de los nutrientes que necesita la planta para sobrevivir, como el calcio, magnesio o potasio. Todo ello favorece la fragilidad de los árboles. Los científicos reconocen que el agua ácida disuelve los alimentos y los minerales provechosos en el suelo y después los libera lejos, antes de que los árboles y plantas puedan utilizarlos para su desarrollo (P.A. y col, The journal of soil science, v.42). Las reacciones químicas que afectan a los nutrientes son las siguientes:



Ciertos ecosistemas son más susceptibles que otros a la acidificación. Normalmente son suelos poco profundos, no calcáreos, formado por partículas gruesas que yacen sobre un manto duro y poco permeable de granito, gneis o cuarcita (EPA web, Acid Deposition, 2002).

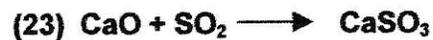
El suelo, sobre todo el calizo, ejerce una acción amortiguadora (buffer) que impide que el pH se torne demasiado ácido a partir de la formación de sulfato de calcio, esto puede ser observado en la siguiente ecuación.



Las áreas de cultivo no son tan vulnerables a los efectos de la lluvia ácida, debido a que generalmente son abonadas con fertilizantes que poseen nutrientes que

amortiguan la acidez o por la aplicación de piedra caliza al suelo (EPA web, Acid Deposition, 2002).

La piedra caliza puede reaccionar con el SO_2 presente en el suelo por deposición seca a partir de las siguientes ecuaciones:



El proceso de acidificación también libera metales que pueden dañar a los microorganismos del suelo responsables de la descomposición, así como a los pájaros y mamíferos superiores de la cadena alimentaria, e incluso al hombre (EPA web, Acid Deposition, 2002).

Los efectos de las emisiones de SO_2 en la flora, pueden ser observados en la Figura 8.

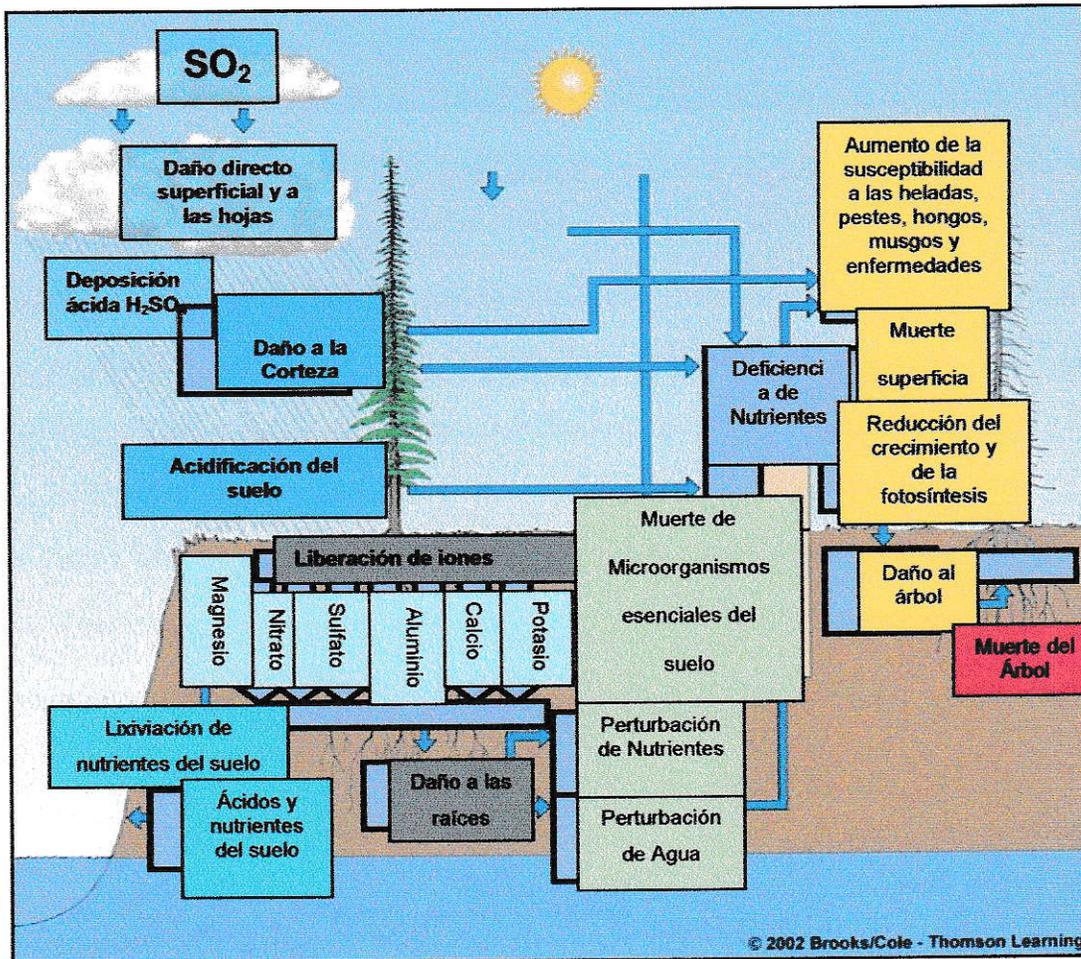


Figura 8: Efecto de las emisiones de SO₂ en la flora.

2.4.5 EFECTO DEL ANHÍDRIDO SULFUROSO EN LA FAUNA

Estudios en animales han demostrado que la inhalación de SO_2 en grandes concentraciones, altera las defensas contra enfermedades respiratorias agudas, incluyendo en particular, la limpieza mucociliar de partículas del área bronquial y la actividad fagocítica de los macrófagos del pulmón. Los efectos producidos en la fauna por las emisiones de SO_2 sólo se producen a concentraciones superiores a los 3 mgL^{-1} , los efectos directos prácticamente son disminuidos a partir de la norma primaria (salud de las personas) y sólo se pueden observar efectos secundarios, principalmente a partir de la generación de lluvia ácida (ATSDR, Reseña toxicológica del anhídrido sulfuroso, Atlanta E.E.U.U, 1998).

El exceso de lluvia ácida puede acidificar a las aguas de tres maneras diferentes.

Estas son:

- A) La precipitación directa a la superficie del lago, río, etc.
- B) El incremento de la cantidad de aniones por aumento del contenido de aluminio y otros metales pesados disueltos en el material que es arrastrado por los ríos y arroyos en los procesos de erosión y depositación.
- C) La acidificación de los suelos que a la vez, lleva a la acidificación de las aguas.

Los efectos de la precipitación ácida en lagos y corrientes de agua implican la muerte de peces, crustáceos, insectos acuáticos y moluscos, y la desaparición del fitoplancton, lo que provoca con el tiempo la imposibilidad de supervivencia del resto de la fauna por falta de alimento (Neeighbour y col, 1988).

La reproducción de los animales acuáticos es alterada por la acción de la lluvia ácida, hasta el punto de que muchas especies de peces y anfibios no pueden subsistir en aguas con pH inferiores a 5,5 (Neeighbour y col, 1988).

2.5 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA FUNDICIÓN VENTANAS DE ENAMI

2.5.1 UBICACIÓN

La Fundición y Refinería Ventanas - ENAMI, se inserta en la comuna de Puchuncaví, ubicada a 71°25" de longitud W. y a 32°45" de latitud S.; esta comuna se emplaza en el extremo superior del tercio central del litoral de la V Región de Valparaíso.

Es una comuna que posee 14.000 habitantes, concentrándose fundamentalmente en los espacios urbanos como Puchuncaví, Ventanas, Maitencillo, La Greda y Horcón.

El territorio comunal se encuentra definido, en tres de sus costados, por elementos naturales significativos: al norte, el estero de Catapilco y el estero de Canela; al este, la línea de cumbres que limita por el poniente la hoya del río Aconcagua; y al oeste, por el Mar Chileno.

El límite sur, en parte, lo está por elementos naturales: línea de cumbres que limita por el norte la hoya del río Aconcagua y línea de cumbres que limita por el sur la hoya del estero Mala Cara, y en parte por los deslindes de antiguos fundos: Chilicauquén y Normandie.

En cuanto al entorno físico de estos centros poblados: Puchuncaví se caracteriza como una planicie con leves pendientes en que los elementos naturales más destacados son los esteros de Puchuncaví y del Rincón.

Ventanas corresponde a la ocupación del borde costero en un área de laderas de fuertes pendientes y con una planicie posterior desmembrada en diversos paños, donde los principales elementos son la vía F-30-E y la Avenida Pedro Aldunate que, recorriendo el borde costero, la relaciona con el poblado de Horcón.

Las principales restricciones naturales para Maitencillo, Horcón y Ventanas provienen del hecho de ser centros de tipo costero, donde el mar y terrenos de playa delimitan el uso urbano. Para Puchuncaví y Ventanas se destaca la existencia de algunas quebradas y pequeños cursos de agua que han orientado el crecimiento, al transformarse en límites naturales.

2.5.2 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

Sector litoral:

Comprende playas y arenales bajos, entre el límite comunal con Quintero y la desembocadura del estero de Puchuncaví; acantilados con roqueríos y playas entre la desembocadura del estero Puchuncaví y estero Catapilco.

En este borde occidental se presentan las formaciones de dunas que refleja la acción constante del viento sur – oeste que afecta a la comuna (Balduzzi y col, 1982).

Planicie central:

Se extiende desde el litoral hasta aproximadamente la cota 200 m sobre el nivel del mar. Es una extensión de suave colinaje recubierto por areniscas y arcillas marinas. El conjunto de mesetas que la integran constituye, por el norte, la cuenca del estero Puchuncaví y el estero El Cardal y, por el oriente, la cuenca del sistema de esteros: Pucalan, Los Maquis, Chilicauquén, San Pancrancio y Mala Cara, sistema que desemboca en la Comuna de Quintero en el sector de Santa Julia, donde detenido por las dunas costeras, forma una amplia vega.

Cordón de cerros:

Limitan la comuna por el oriente y el sur, cuyo punto más alto es el cerro Piedras Trepadas con 1.113 m sobre el nivel del mar. Este borde oriental es el límite de la Formación Horcón. En el sector norte del cordón de cerros existe una planicie que corresponde al Valle de Canela (cota 500 m sobre el nivel del mar.), que da origen al estero del mismo nombre, tributario del estero Catapilco.

Los mencionados esteros forman el sistema hidrológico comunal. Existe un sistema de canales de regadío de escasa significación, por cuanto son soportadores de agua sólo en época de lluvias. El estero La Canela que empalma con el estero Catapilco en la zona de Puchuncaví también forma una laguna en su desembocadura, la que se interna hacia el interior, generando terrenos vegasos en el sector Los Maitenes.

2.5.3 CLIMA

El clima de la zona es de marcada influencia marítima, toda vez que el cordón de cerros conforma un hemicíclo que retiene la humedad del mar, exceptuándose el sector de La Canela debido a su situación de encierro. Corresponde a un clima templado cálido, con temperatura media anual de 14°C; el mes más frío es Julio con una media de 10°C y el más caluroso Enero con una media de 18°C.

La lluvia presenta un promedio de 3,6 mm durante los meses de verano, 31,1 mm durante los meses de invierno y de 10 mm en primavera. Es una región relativamente seca, con concentración de las precipitaciones durante los meses de Mayo a Agosto.

2.5.4 SUELO

Los suelos del área de estudio son, en general, delgados, moderadamente pedregosos, de drenaje imperfecto y de textura más o menos gruesa, presentando aproximadamente a 15 cm de profundidad un estrato arcilloso que dificulta la penetración de las raíces.

El recurso suelo de la Comuna es altamente marginal para la producción de cultivos de alto rendimiento y/o pastoreo intensivo de ganado. Las clases de suelo predominantes son la VI (45% del área física local) y la VII (21% del área total), que sólo son apropiadas para pastoreo extensivo y plantación de bosques, más la VIII (18% de la superficie total), que no tiene valor agrícola. La otra clase de suelos que se encuentran es la IV (13 % de la superficie total), esta última corresponde a la clase inferior de suelo arable de rulo, adecuada solamente para cereales y empastadas de bajo rendimiento. En el área, solo se encuentra un pequeño porcentaje de suelo tipo II, 5,3% del total de los suelos agrícolas de la comuna.

La superficie susceptible de ser cultivada en la comuna de Puchuncaví es de aproximadamente las 6.487 Ha. En tanto, que la superficie no apta para cultivar llega a las 6.832 Ha.

Las características de las diferentes clases de suelos presentes en el área circundante a la Fundición Ventanas de ENAMI, son dadas a conocer en el ANEXO II.

2.5.5 HIDROGRAFÍA

La hidrografía del área de estudio se remite a la existencia de tres esteros semi-permanentes, los que representan la principal fuente de agua para la agricultura del sector. Dichos esteros son:

- Canela
- Puchuncaví
- Pucalan.

El estero de La Canela fluye desde el Sur-Este hacia el Nor-Este, nace en la loma del Lindero, en el sector de la Canela y se convierte en un tributario del estero Catapilco, en el límite comunal.

El estero de Puchuncaví fluye desde el Nor-Este hacia el Sur-Oeste, por un valle bajo y pantanoso conocido como la depresión del Rungue. Dicho estero apoya las labores agrícolas del sector que cruza, antes de desembocar en la bahía de Quintero.

El estero de Pucalan fluye en dirección Nor-Este a Sur-Oeste y tiene como tributarios a cuatro esteros menores: Los Maquis, Chilicauten, San Pancrancio y María Clara. Esta red de esteros se concentra en el cuadrante Sur-Este de la comuna y nacen en el sector de más altas cumbres. Sus aguas desembocan en la comuna de Quintero, formando una amplia vega de terrenos bajos en dicho sector.

2.5.6 CUBIERTA VEGETAL

En la comuna de Puchuncaví, al igual que en el resto de la región, existe una cubierta vegetal adaptada al sustrato, considerando que se encuentran situaciones distintas en terrenos pantanosos, en contraposición con las formaciones dunarias comunes en el sector.

Es preciso considerar también el estado en que se encuentre dicha cobertura, a raíz de la acción antrópica, la cual pudo ser alterada profundamente o, incluso, eliminada.

De acuerdo a las características vegetacionales, se inscribe en la clasificación de bosques subtropicales y esclerófilos y xerófilos, asociándose a un estrato arbustivo que, en los sectores más húmedos, se encuentra muy desarrollado y se presenta con el aspecto de bosque.

Las diferentes asociaciones vegetales que se encuentran en la comuna, dependen de la cantidad de humedad disponible, exposición y suelos. En el litoral, se extiende una faja que penetra aproximadamente 2 km hacia el Este en el territorio y corresponde a una estepa costera siempre verde, la que se mantiene por la influencia oceánica del sector, siendo su principal característica la dependencia de sus abundantes neblinas.

Las especies que se encuentran comúnmente corresponden a plantas suculentas que, con frecuencia, se localizan cubiertas por el agua, tales como el Esparto (*Solanum maritimum*) y el Cacto Rosado (*Neoporteria subjibbosa*). En la faja litoral, aparecen especies como el Boldo (*Peumus boldus*), el Palqui (*Cestrum parqui*), el Sauce (*Salix babilonica*) y Petra (*Myrceugenis exsucca*) entre otras.

La vegetación correspondiente a la Cordillera de la Costa cambia con respecto a la del litoral, producto de la menor cantidad de agua disponible. En este sector el xeromorfismo se hace más evidente, a pesar que existe mayor humedad, por la influencia oceánica en la comuna, que en la ladera Este. En aquellas laderas más húmedas las especies dominantes corresponden al Belloto (*Bellota miersii*), al Peumo (*Criptocaria alba*), el Maqui (*Aristotelia maqui*), entre otras (Balduzzi y col, 1982).

En las laderas ubicadas sobre los 350 m sobre el nivel del mar, con una mayor exposición y por extensión con menor cantidad de agua, aparecen los primeros indicios fuertes del xeromorfismo, representados por el Espino (*Acacia caven*), que aparece asociado a algunas cactáceas tales como los Quisquitos (*Echico catus*) y Chaguales (*Puya chilensis*). Entre los 450 y 500 m sobre el nivel del mar surge el bosque esclerófilo, representado por el Boldo (*Peumus boldus*), el Peumo (*Criptocaria alba*), el Molle (*Schinus latifolius*) y el Maqui (*Aristotelia maqui*). En las partes más altas de los cerros y quebradas se encuentra otro tipo de asociación esclerofila, conformadas por el Quillay (*Quillaja Saponaria*), el Boldo (*Peumusboldus*), el Litre (*Lithraea Caustica*) y el Trevu (*Trevoa trinervis*), las que dan su carácter xerófilo al sector. A medida que aumenta la altura, la vegetación arbórea y arbustiva empieza a ralearse, comenzando a ser reemplazada por especies de carácter precordillerano, tales como la Uva de Cordillera (*Berberis empetrifolia*), el Palo Amarillo (*Berberis chilensis*), la Hierba Blanca (*Chuquiraga oppsitifolia*) y la Guindilla (*Valenzuela trinervis*).

El estado actual de la cubierta vegetal es precario, debido a la sumatoria de muchos factores que ha incidido en su degradación. El principal efecto ha sido la depresión de la agricultura, lo cual llevó a la búsqueda de nuevas fuentes de ingresos y alimentación. Este problema se observa con mayor intensidad en el sector oriental de la comuna, que corresponde a las tierras altas.

Por otro lado, se introdujo la cabra en la ganadería local, lo que ha llevado a un sobre-pastoreo de las praderas naturales y a la destrucción de parte del estrato arbustivo.

Es necesario mencionar que la intensa forestación realizada sobre la comuna, principalmente en el sector de Campiche y La Canela, ha incidido sobre la vegetación nativa fuertemente, pues se están utilizando las laderas para llevar a cabo esta actividad, lo que involucra el despeje de la cubierta vegetal primitiva.

2.5.7 CARACTERIZACIÓN AGRÍCOLA

Debido a las características del área, en términos del impacto causado por la actividad industrial, en esta área no existen comités de agricultores inscritos en el municipio.

Por otra parte, la actividad agrícola es complementada con otras actividades como el comercio, el turismo y el transporte, lo cual explica la baja productividad agrícola que tiene la comuna.

Tan sólo un 18% de la población es rural, pero en los radios urbanos existe importante presencia de explotación de suelo con fines agrícolas.

La caracterización agrícola, será realizada en base, a la ubicación de las estaciones de monitoreo del complejo industrial Ventanas.

ESTACIÓN PUCHUNCAVÍ:

Principales hortalizas:

En invierno existe una producción de repollos, acelgas y lechugas; en verano se cosecha tomate y maíz.

En cuanto a la producción de frutales podemos decir que se desarrollan cultivos, pero sólo de subsistencia.

Principales limitantes del área:

Pérdida de mantillo o suelo orgánico, sucesiones vegetacionales de baja calidad, no utilización de fertilizantes.

ESTACIÓN LA GREDA:**Principales hortalizas:**

Zanahorias, repollos, coliflor, lechuga, espinaca, zapallo italiano, tomate.

Principales limitantes del área:

Es un área fundamentalmente urbana marginal, lo que nos indica que cada vez esta zona pierde más su vocación agrícola.

Cabe señalar que el suelo agrícola se explota a nivel casero o de "Huerto Familiar", lo que nos indica el escaso nivel de desarrollo que presenta el suelo rural en esta área.

Al Sur-Este existen plantaciones de pinos y eucaliptos, que son de autosubsistencia.

ESTACIÓN LOS MAITENES:**Principales limitantes del área:**

Este es un lugar donde hubo actividad agrícola; hoy cualquier tipo de cultivo debe ser desarrollado bajo plástico. Actualmente, existen sólo dos personas explotando el suelo para cultivos de tomates, fundamentalmente.

Estos suelos son de textura arcillosa, su profundidad efectiva no es muy grande y es un sector de secano costero, por lo que presenta problemas de suministro de agua.

ESTACIÓN VALLE ALEGRE:

Esta es una área que presenta mejores condiciones, pues aquí encontramos un buen abastecimiento de agua y suelos de mejor calidad (clasificación IV – VI). Se observa la explotación de hortalizas y praderas naturales, donde existe presencia de caballares y ganado bovino.

ESTACIÓN SUR:

Esta corresponde a una zona de secano costero con capacidad de uso de suelo IV. Fundamentalmente se aprecian praderas naturales; las actividades agrícolas que se desarrollan son propias de un sector con estas características. Por lo tanto, su aptitud está orientada hacia el forraje y forestal (Pinos y Eucaliptos).

La presencia de ganado y caballares es muy común en esta zona. A pesar de ser una zona llana, no posee suelos de calidad.

2.5.8 ÁREAS SILVESTRES PROTEGIDAS DE AMBIENTE TERRESTRE

En la década de los ochenta se establece el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) cuya Ley, la N° 18.362 de 1984, pone en el primer lugar de sus objetivos, el mantener áreas como muestra de diversos ecosistemas.

Existe además un segundo sistema de áreas protegidas por el Estado establecido en el marco de la Ley N° 17.288 sobre Monumentos Nacionales, que permite al ministerio de Educación declarar Santuarios de la Naturaleza. Éstos son supervisados por el Consejo de Monumentos Nacionales dependiente del Ministerio de Educación y tiene como objetivo la preservación de muestras de ambientes naturales y de rasgos culturales y escénicos asociado a ellos, y en la medida de que sea compatible con lo anterior la realización de actividades de educación, investigación o recreación. Si bien estas áreas pueden ser importantes para la protección de componentes de la biodiversidad, corresponde por lo general a áreas más reducidas, caracterizada por la presencia puntual de especies nativas de flora y fauna o por la existencia de sitios geológicos relevantes desde el punto de vista escénico, cultural, educativo o científico (Acerreca, C y col, 1988).

En la Tabla 3, se da a conocer los dos santuarios de la naturaleza localizados en la V Región.

Tabla 3: Santuarios de la naturaleza localizados en la V Región.

Nombre	Ubicación	Fecha
"Campo dunar de la Punta de Concón"	Concón	05/08/1993
"Bosque Las Petras"	Quintero	07/06/1993

Nota: De estos santuarios de la naturaleza, solo el bosque Las Petras, se encuentra en el área de influencia de la fundición de Ventanas.

2.6 FLUORESCENCIA

2.6.1 FLUORESCENCIA MOLECULAR (FUNDAMENTOS BÁSICOS)

La cuantificación de las concentraciones de SO_2 presente en el aire, es realizada utilizando el Dasibí 4.108, cuyo principio de funcionamiento es la fluorescencia U.V.

En la fluorescencia molecular fotones de radiación electromagnética son absorbidos por moléculas, alcanzando éstas un estado excitado y retornando luego a su estado fundamental con la emisión de radiación; la transición energética en este caso no genera un cambio de spin de los electrones. A causa de que los niveles de vibración de ambos estados, fundamental y excitado son similares, el espectro de fluorescencia es una imagen especular del espectro de absorción. El tiempo de vida de un estado excitado simple es de 10^{-9} a 10^{-6} s y el tiempo de vida fluorescente se encuentra dentro de este intervalo. La excitación y posterior emisión fluorescente puede ser observada en la siguiente Figura:

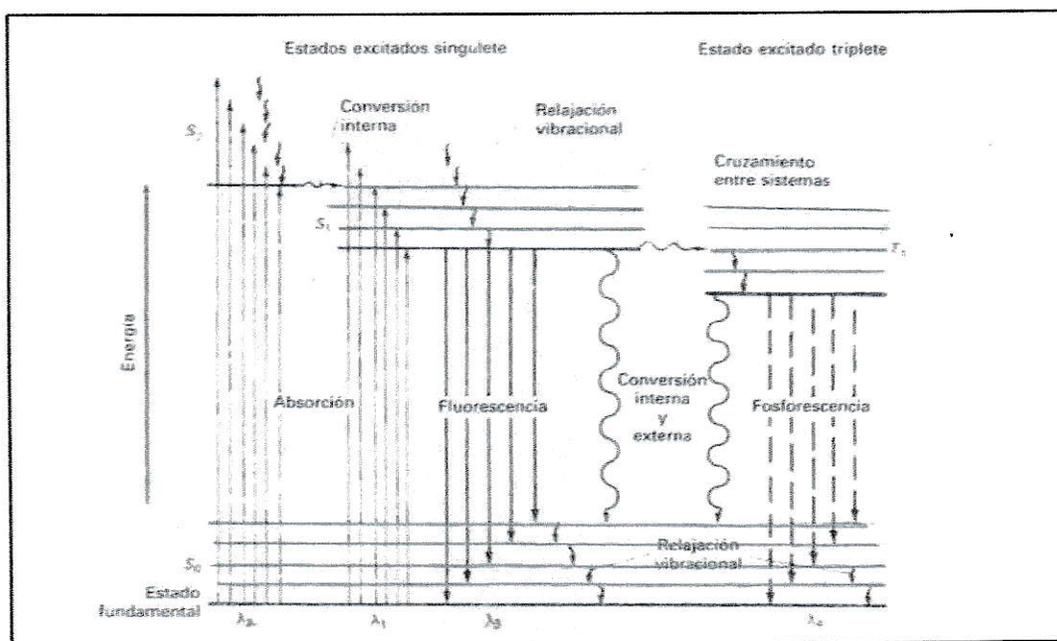


Figura 9: Emisión Fluorescente

Es un método muy usado por su elevada sensibilidad y especificidad. La elevada sensibilidad resulta de la diferencia en longitud de onda entre la radiación excitante y la fluorescente. La elevada especificidad proviene de la dependencia de dos espectros, el de excitación y el de emisión, y la posibilidad de medir la vida media del estado fluorescente.

Para los fluorímetros de filtro, como fuente de radiación se emplea la lámpara de mercurio a baja presión que produce 8 líneas muy intensas entre 254 y 773 nm. Las líneas individuales se pueden aislar con los filtros de interferencia o absorbancia adecuados. Para espectros donde se requiere una fuentes de radiación continua, normalmente se emplea una lámpara de arco de xenón a elevada presión que emite un espectro continuo de 300 a 1300 nm. El esquema general de un fluorímetro se da a conocer en la Figura 10.

Como detectores se emplean tubos fotomultiplicadores dado que la señal es de baja intensidad. También se emplean detectores de diodo alineados.

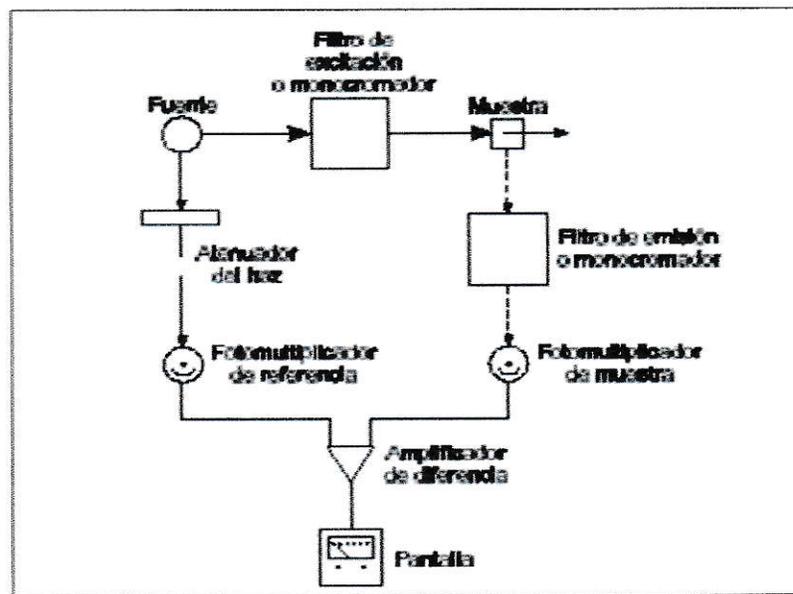


Figura 10: Esquema de un fluorímetro

2.6.2 FLUORESCENCIA UV

Se aplica a la determinación de concentraciones de anhídrido Sulfuroso (SO₂).

Se excita las moléculas del SO₂ con radiación ultravioleta en el intervalo de longitud de onda de 230 a 190 nm, las cuales luego de decaer a su nivel energético fundamental, emiten una radiación fluorescente característica.

La intensidad de la radiación emitida es directamente proporcional a la concentración del anhídrido sulfuroso, previa calibración del equipo.

CAPITULO III
PARTE EXPERIMENTAL

**3.1 ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE CON RESPECTO AL ANHÍDRIDO
SULFUROSO REALIZADO EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO**

La red de monitoreo está compuesta por seis estaciones de monitoreo, cinco de las cuales cuantifican los niveles ambientales de SO₂ y meteorología con adquisición continua de datos, y PM10 con muestreo cada 3 días. La sexta estación está compuesta por una estación meteorológica completa.

En la Tabla 4 se presenta la identificación de las estaciones y los parámetros que en ella se cuantifican.

Tabla 4: Descripción Estaciones de Monitoreo.

ESTACION	PARAMETRO CUANTIFICADO
Puchuncaví	SO ₂ , PM10; Dirección y Velocidad del Viento
La Grada	SO ₂ , PM10; Dirección y Velocidad del Viento
Valle Alegre	SO ₂ , PM10; Dirección y Velocidad del Viento
Sur	SO ₂ , PM10; Dirección y Velocidad del Viento
Los Maitenes	SO ₂ , PM10; Dirección y Velocidad del Viento
Principal	Dirección y Velocidad del Viento, Presión, Radiación Solar, Precipitación, Temperatura y Humedad

3.1.2 TOMA DE MUESTRA Y CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ANHÍDRIDO SULFUROSOS PRESENTE EN EL AIRE

La toma de muestra de aire se realizó a un flujo de $0,5 \text{ L m}^{-1}$ utilizando una bomba de vacío, el cual mediante una manguera de plástico es enviado hasta el interior de la estación de monitoreo, donde se encuentra el monitor continuo Dasibi 4.108, el cual mediante fluorescencia U.V. entregó la concentración de SO_2 presente en el aire en ppb, dato que es enviado a un PC, el cual mediante un software es normalizado, entregando la concentración minuto a minuto en $\mu\text{g/m}^3$. En la siguiente figura, se muestra el procedimiento de toma de muestra y cuantificación de SO_2 .

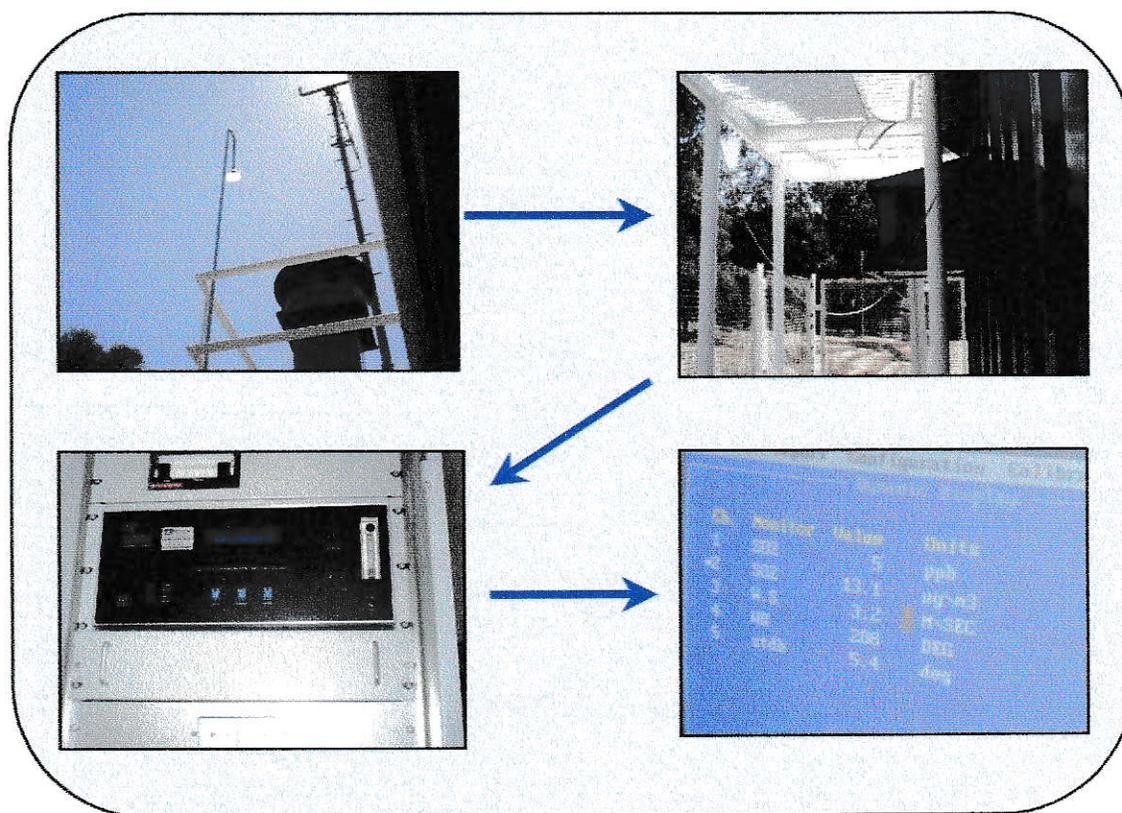


Figura 12: Procedimiento para la determinación de la concentración de SO_2 presente en el aire.

3.1.3 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración de los analizadores automáticos de SO₂ es realizada cada 3 meses, cualquier cambio posterior de escala o una falla en el equipo requiere una nueva calibración. Semanalmente se realiza un diagnóstico de acuerdo a lo señalado por el fabricante.

El procedimiento es el siguiente:

- Haciendo uso de un calibrador externo se generó un gas de concentración cero en SO₂ (concentración $\leq 0,001$ mg L⁻¹ de SO₂), el cual ingresó al equipo y se ajusta el valor de cero del monitor.
- Posteriormente se ingresó una muestra de SO₂ de concentración conocida (concentración equivalente entre un 80% a 90% del valor total de la escala que se usará en el monitor), se lee la respuesta del monitor y se ajusta si es necesario a ese valor.
- Luego se ingresó, 2 ó más muestras intermedias de concentración de SO₂ generadas con el equipo de calibración, se procedió a leer y anotar la respuesta del equipo.

Las calibraciones debe ser realizada en forma periódica y la validez de los datos recolectados entre dos calibraciones sucesivas dependerá del estado o desviación que tenga el equipo en la calibración.

La curva de calibración realizada para el Dasibi 4.108, de la estación de monitoreo Los Maitenes correspondiente al mes de Noviembre, es dada a conocer en el ANEXO IV.

3.2 ESTUDIO DEL IMPACTO DE LAS EMISIONES DE ANHÍDRIDO SULFUROSO Y LA DEPOSICIÓN ÁCIDA SOBRE LA VEGETACIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE A LA FUNDICIÓN Y REFINERÍA VENTANAS.

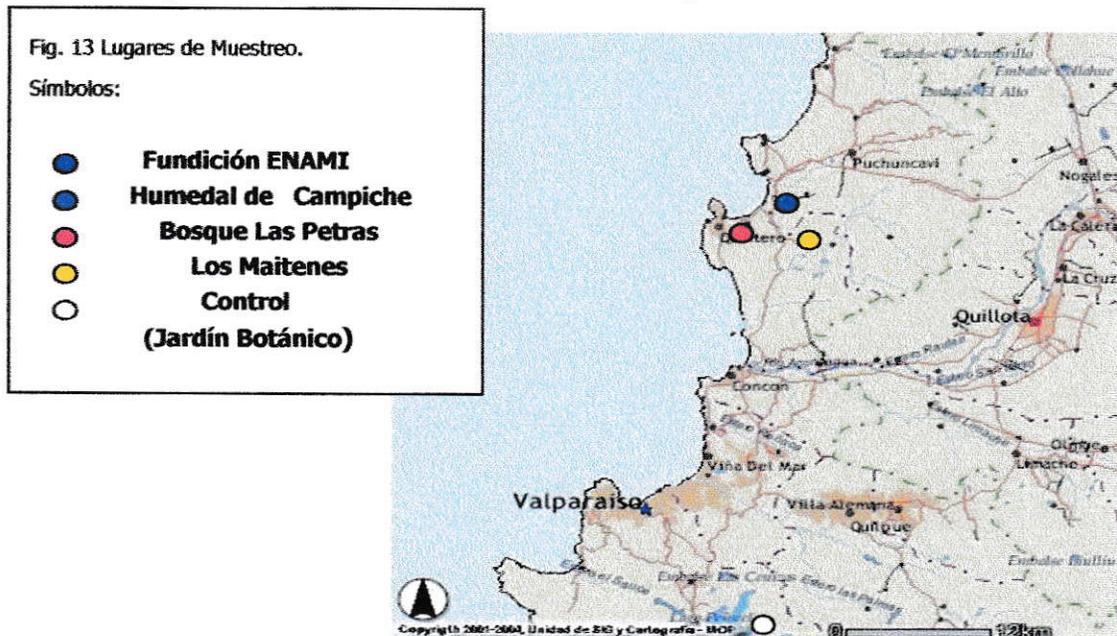
El presente estudio tiene como objetivo encontrar evidencias de injurias en las plantas, de los ecosistemas aledaños a la fundición y refinería Ventanas de ENAMI, producto de las emisiones de anhídrido sulfuroso en el sector, con el fin de poder evaluar la eficiencia de la actual norma. La elección de los ecosistemas se realizó, considerando su proximidad con la fundición, el nivel de las emisiones de fundición Ventanas y la presencia de ecosistemas que estuvieran en alguna categoría de protección. El sitio control elegido fue el Jardín Botánico Nacional de la localidad El Salto, en la comuna de Viña del Mar.

3.2.1 DETERMINACIÓN DE LUGARES DE TOMA DE MUESTRA

La elección de los sitios de muestreo se hizo, teniendo en consideración los siguientes criterios:

- Ecosistema más próximo a las instalaciones de la Fundición y Refinería Ventanas y que corresponde al Humedal de Campiche.
- Ecosistema correspondiente al punto de máximo impacto de las emisiones de la fundición en Los Maitenes.
- Ecosistema protegido por alguna normativa: Santuario de la Naturaleza Bosque Las Petras.
- Control. Un sitio que no se encuentre en el área de influencia directa de las emisiones de ENAMI Ventanas. El sitio elegido fue el Jardín Botánico Nacional.

En la siguiente figura, es posible observar los lugares de muestreo.



3.2.2 ANTECEDENTES GENERALES DEL MUESTREO

En cada sitio se seleccionaron dos especies representativas del ecosistema, de preferencia especies arbóreas. En cada árbol (individuo) se escogieron hojas representativas de una condición promedio de estos órganos, es decir, si la condición general de exposición es de hojas de sol, entonces se evitó coger hojas de sombra. Además las hojas seleccionadas eran todas adultas, se evitó las hojas jóvenes o senescentes. El estudio anatómico realizado tuvo por finalidad detectar injurias a nivel de cloroplastos, por tratarse de organelos muy sensibles a la contaminación. El estudio contempló análisis al microscopio óptico y electrónico de las especies seleccionadas.

El número de individuos para cada especie seleccionada es el siguiente:

Tabla 5: Especies seleccionadas.

Localidad	Especie	Número de individuos
Maitenes	Boldo (<i>Peumus boldus</i>)	3
	Palqui (<i>Cestrum parqui</i>)	3
Humedal de Campiche	Sauce (<i>Salís babilonica</i>)	2
	Totora (<i>Typha angustifolia</i>)	No determinado (*)
	Galega (<i>Galega officinalis</i>)	3
Bosque Las Petras	Petra (<i>Myrceugenia exsucca</i>)	3
	Canelo (<i>Drimys winten</i>)	4

(*) Se trabajo con un grupo de individuos. No fue posible determinar el número de ellos debido a su compactación.

3.2.3 ESPECIES VEGETALES SELECCIONADAS

Maitenes:

Localidad definida como el punto de máximo impacto de las emisiones de ENAMI Ventanas. Las especies elegidas fueron:

- a) Boldo (*Peumus boldus*) Árbol de pequeña talla, acá crece como arbusto alto.
- b) Palqui (*Cestrum parqui*) Arbusto alto.

La localidad de Los Maitenes puede ser observada en la siguiente Figura.



Fig. 14.- Matorral abierto de Maitenes

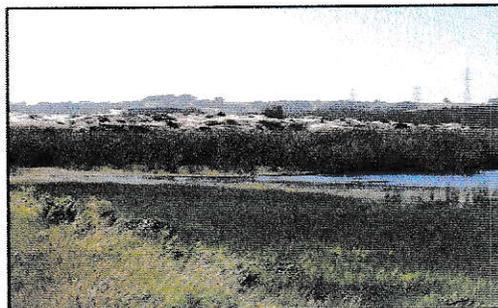


Fig. 15.- Humedal de Campiche

Humedal de Campiche:

En este lugar se escogieron las siguientes especies:

- a) Sauce (*Salix babilonica*) Árbol de baja altura.
- b) Totorá (*Typha angustifolia*) Hierba perenne, planta palustre.
- c) Galega (*Galega officinalis*) Hierba anual que crece en terrenos pantanosos.

El Humedal de Campiche, puede ser observado en las Figura 15 y 16.

Santuario de la Naturaleza: Bosque Las Petras.

Se colectaron hojas de las especies dominantes:

- a) Petra (*Myrceugenia exsucca*) Árbol de altura media.
- b) Canelo (*Drimys winteri*) Árbol de altura media.

El bosque Las Petras, puede ser observado en la Figura 17.

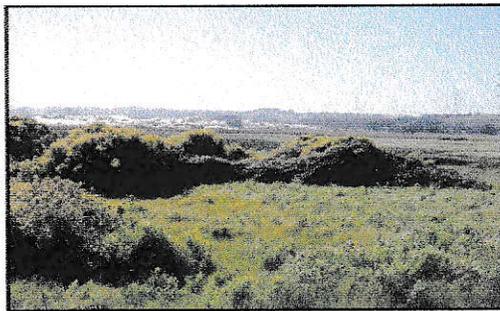


Fig. 16.- Humedal de Campiche.
Terreno anegado.

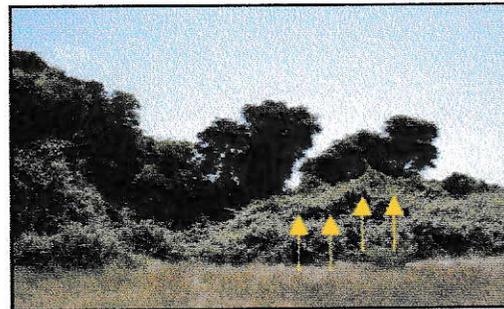


Fig. 17.- Bosque Las Petras.
Las flechas indican la
invasión de zarzamora
sobre el ecosistema

3.2.4 ESTUDIO ANATÓMICO Y DE ULTRAESTRUCTURA

A todas estas especies se les hizo un análisis anatómico foliar, es decir, un estudio de los tejidos de las hojas al microscopio óptico, especialmente los tejidos fotosintetizantes, los parénquimas asimiladores o clorénquimas.

Para esto se realizaron preparaciones con la técnica habitual para este estudio, fijación con FAA (formalina, ácido acético y alcohol), inclusión en parafina para cortes de un grosor de 15 y 16 micrones, con Micrótopo Minot; tinción con safranina (lignina y suberina) y verde rápido (paredes y cloroplastos). Para las observaciones se utilizó un fotomicroscopio compuesto con contraste de fase marca WILD HEERBRUGG M40-58513.

Las muestras fueron preparadas, fotografiadas y analizadas en el laboratorio de Histología de la Universidad de Playa Ancha. Se prepararon 10 muestras de cada especie estudiada, en total 220 muestras.

Además, se estudiaron las especies al Microscopio electrónico de transmisión (MET), ZEISS modelo M-65, para observar la estructura de los cloroplastos. Según la metodología clásica, fijadas con glutaraldehído en tampón fosfato, postfijación en tetróxido de osmio, incluido en resina epoxi, y cortado en ultramicrotomo. Las preparaciones y observaciones se hicieron en el Laboratorio de microscopía electrónica de la Universidad de Valparaíso. Para la colecta de estos individuos, se eligieron siempre hojas adultas.

Estos estudios también son realizados a individuos de las mismas especies colectadas en Ventanas y Quintero, que crecen en el Jardín Botánico para su comparación.

CAPITULO IV

RESULTADOS

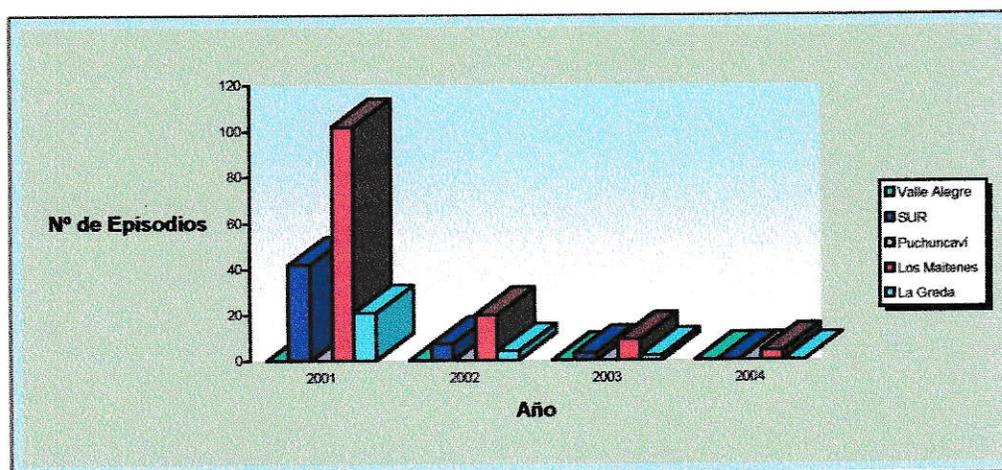
4.1 CUMPLIMIENTO NORMA SECUNDARIA PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO

4.1.1 CUMPLIMIENTO NORMA HORARIA

El cumplimiento de las normas de calidad del aire, implica evaluar la necesidad de tomar medidas para prevenir la contaminación y controlar las fuentes de emisión.

El trabajo realizado de calidad del aire, con respecto a los valores de concentraciones de SO₂ en todas las estaciones de monitoreo se da a conocer en el ANEXO V. Para realizar el estudio de la calidad del aire, se consideraron las concentraciones registradas desde el año 2001 hasta el año 2004. El número de episodios corresponde a las veces que el valor límite de la norma es superado. Los resultados obtenidos, pueden ser observados en la siguiente figura.

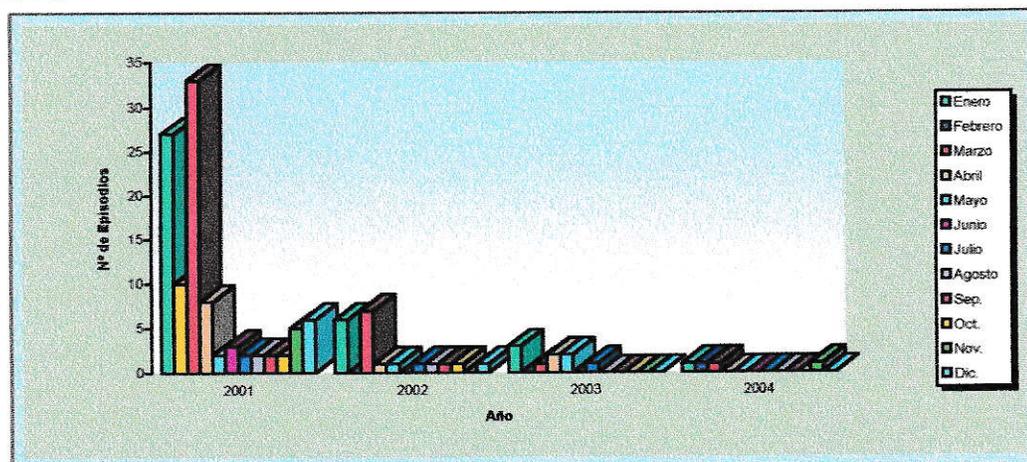
Figura 18: Episodios totales estaciones de monitoreo (2001-2004).



Considerando los episodios ocurridos durante los años 2001-2004 en conjunto, la estación Los Maitenes es la que presenta mayor número de episodios, principalmente en el año 2001, disminuyendo a solo cuatro episodios durante el año 2004. El resto de las estaciones poseen un número menor de episodios, disminuyendo en su totalidad el número de ocurrencias en el año 2004.

Considerando a la estación de monitoreo Los Maitenes, como la que presenta el mayor número de ocurrencia, puede ser observado en la siguiente figura, la distribución mensual de los episodios.

Figura 19: Distribución mensual de episodios totales estación Los Maitenes año 2001-2004.



La evolución de los episodios ocurridos durante el año 2004 en la estación Los Maitenes, se da a conocer en las figuras 20, 21, 22 y 23.

figura 20: Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 17 de enero

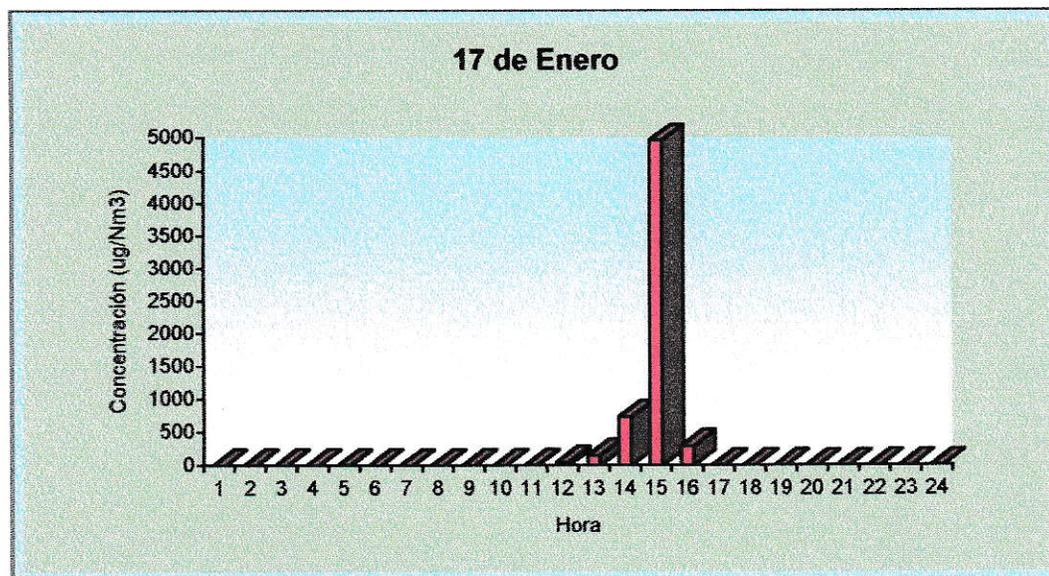


figura 21. Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 28 de febrero

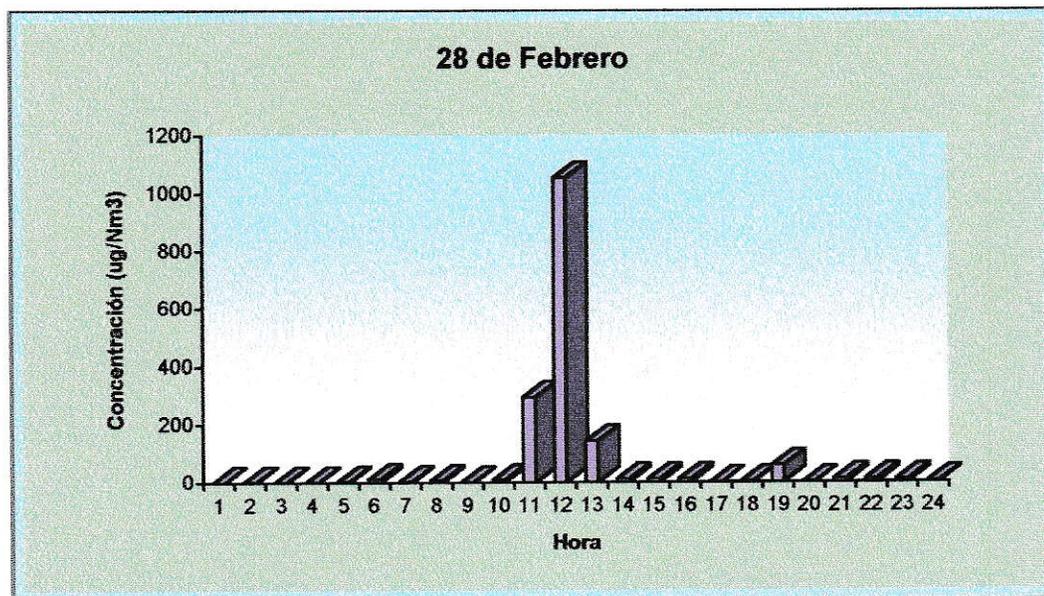


Figura 22. Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 23 de marzo

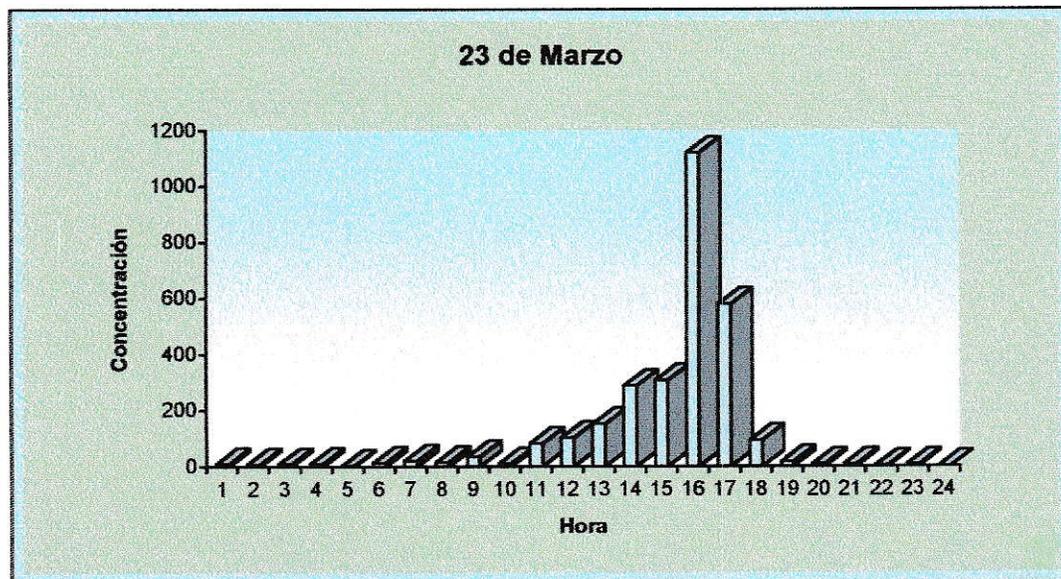
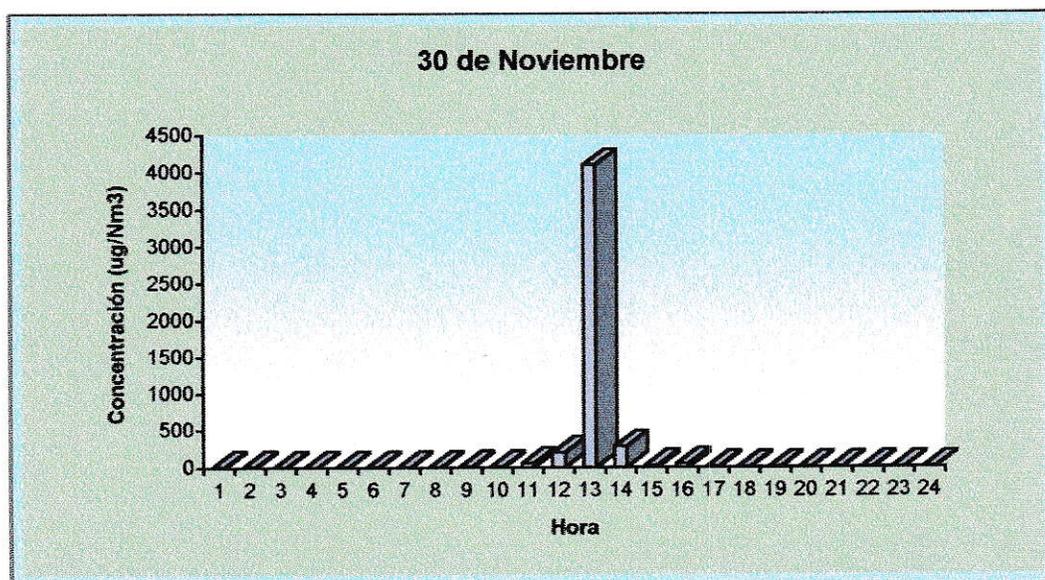


Figura 23: Evolución durante el día para el episodio ocurrido el 30 de noviembre



Para evaluar los niveles registrados por las distintas estaciones de monitoreo durante el año 2004, se realiza una separación de acuerdo a los siguientes niveles de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$):

Bajo 100

Entre 100 – 400

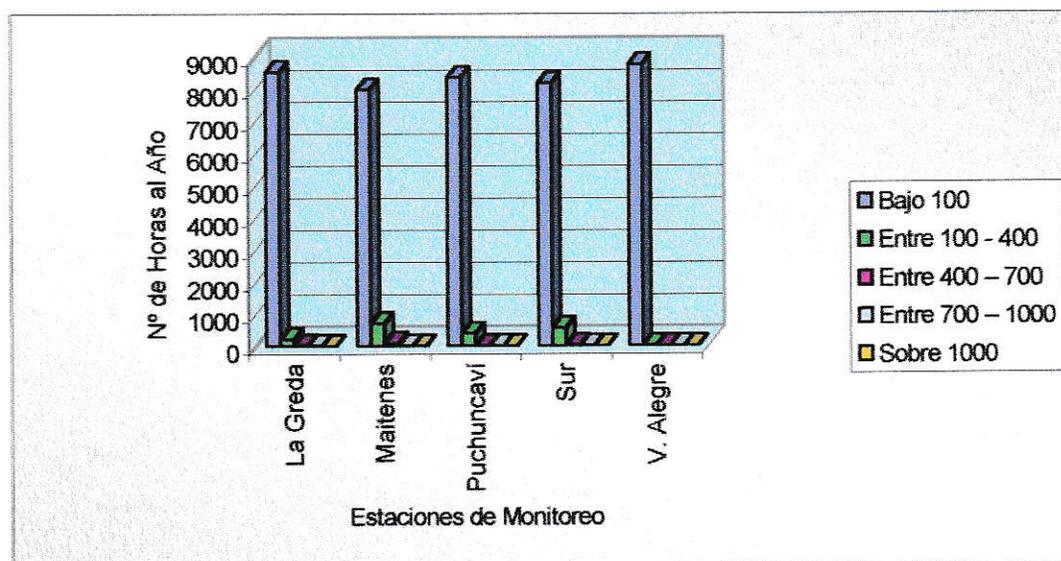
Entre 400 – 700

Entre 700 – 1000

Sobre 1000 (máximo nivel permitido).

En la figura 24, se puede apreciar los distintos niveles de concentración registrados de un total de horas de 8.784, en las distintas estaciones de monitoreo durante el año 2004.

Figura 24: Número de horas año 2004 correspondiente a cada nivel de concentración.



Considerando la concentración más alta de SO_2 , registrada el 17 de Enero del año 2004 en la estación Los Maitenes correspondiente a $4.968 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, y con el fin de poder calcular el cambio de pH estimado en condiciones normales, al estar el contacto el $\text{SO}_2(\text{g})$ con agua se tiene:

$$\text{PM}_{\text{SO}_2} = 32 \text{ g mol}^{-1}$$

$$P_t = 1 \text{ atm}$$

$$4,968 \times 10^{-3} \text{ gr} / 32 \text{ g mol}^{-1} = 1,553 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$Y = 1,553 \times 10^{-4}$$

$$P_{\text{SO}_2} = 1 \text{ atm} * 1,553 \times 10^{-4}$$

$$P_{\text{SO}_2} = 1,553 \times 10^{-4} \text{ atm}$$

Para obtener la P_{SO_2} en Pa se realiza la siguiente operación:

$$1,553 \times 10^{-4} \text{ atm} * (1,01325 \times 10^5 \text{ Pa} / 1 \text{ atm})$$

$$P_{\text{SO}_2} = 15,74 \text{ Pa}$$

$$[\text{SO}_2(\text{aq})] = 15,74 \text{ Pa} * 1,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$$

$$[\text{SO}_2(\text{aq})] = 1,89 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

Aplicando el equilibrio acuoso se tiene:



$$K = [\text{X}]^2 / ([\text{SO}_2] - \text{X})$$

De la reacción (13) $K = 1,3 \times 10^{-2}$

$$1,3 \times 10^{-2} = X^2 / (1,89 \times 10^{-4} - X)$$

Resolviendo la ecuación cuadrática se tiene que:

$$X_1 = 1,85 \times 10^{-4} \quad \text{y} \quad X_2 = -0,013$$

Donde $\text{pH} = -\log X$

$$\text{pH} = 3,73$$

Por lo tanto, la emisión de $4.968 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ de $\text{SO}_2 (\text{g})$ produce una disminución aproximada en el pH de un cuerpo de agua en equilibrio con una atmósfera contaminada con esta concentración de SO_2 hasta valores bastante ácidos.

4.1.2 CUMPLIMIENTO NORMA DIARIA

Durante el año 2001 la norma diaria para anhídrido sulfuroso fue superada en cuatro oportunidades, dos en la estación sur (abril y agosto) y dos en la estación Los Maitenes (febrero y marzo). Para los años 2002, 2003 y 2004 no se superó el nivel límite de $365 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como norma diaria, en ninguna de las estaciones de monitoreo.

Para evaluar los niveles registrados por las distintas estaciones de monitoreo durante el año 2004 con respecto al cumplimiento de la norma diaria, se realiza una separación de acuerdo a los siguientes niveles de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$):

Bajo 100

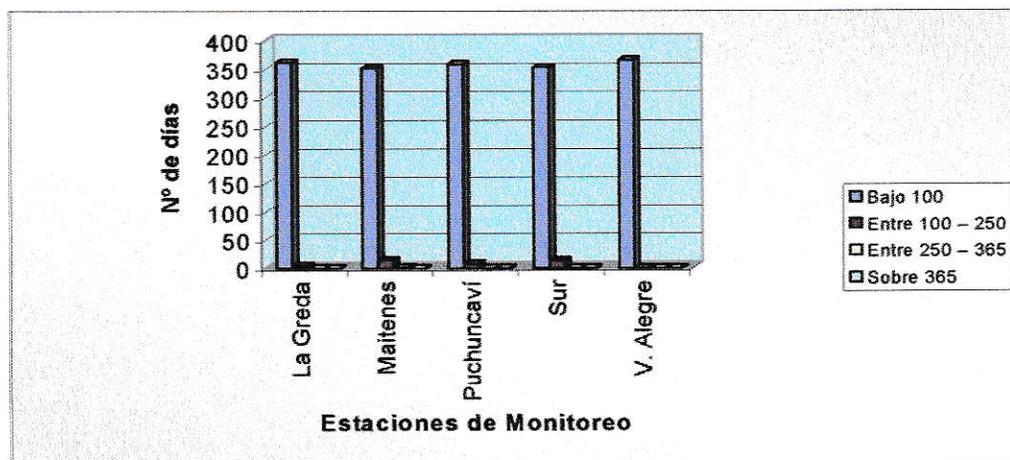
Entre 100 – 250

Entre 250 – 365

Sobre 365 (máximo nivel permitido).

En la figura 25, se puede apreciar los distintos niveles de concentración registrados en un total de 366 días (año bisiesto), en las distintas estaciones de monitoreo durante el año 2004.

Figura 25: Número de días correspondiente a cada nivel de concentración en cada estación de monitoreo.

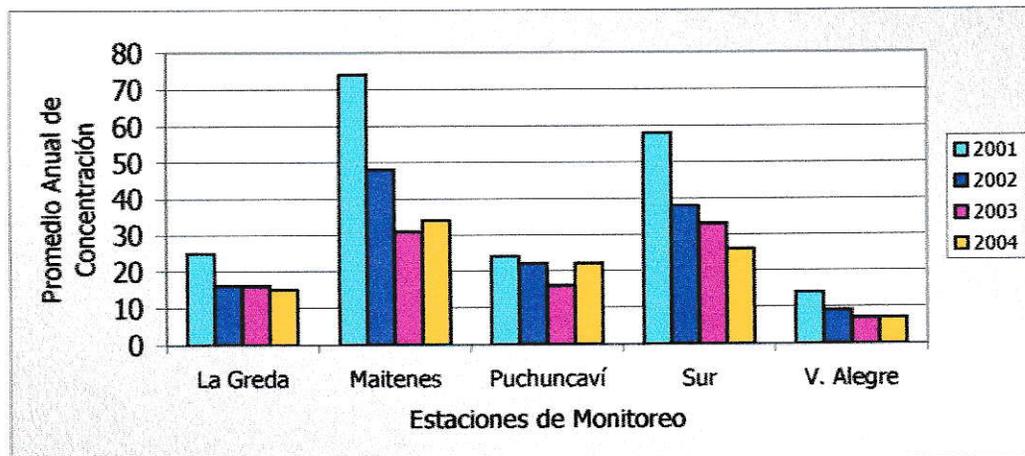


4.1.3 CUMPLIMIENTO NORMA ANUAL

La norma anual no sobrepasó el nivel límite de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en ninguna de las estaciones de monitoreo para los años en estudio.

En la figura 26, se puede apreciar los distintos niveles de concentración promedio anual, registrados en las distintas estaciones de monitoreo entre los años 2001 – 2004.

Figura 26: Promedio anual de concentraciones para los años en estudio



El estudio meteorológico realizado a partir de la ocurrencia de episodios durante los años 2002 a 2004, se da a conocer en el ANEXO VI.

4.2 ESTUDIO ANATÓMICO Y DE ULTRAESTRUCTURA

Los resultados con respecto al análisis anatómico foliar a los tejidos de las hojas y estudio de ultraestructura realizado al microscopio electrónico de transmisión, son dados a conocer en el ANEXO VII. Como ejemplo de esto, se dará a conocer los resultados obtenidos para la especie Boldo y Sauce.

4.2.1 BOLDO

Árbol o arbusto dioico, aromático. Hojas aovadas, con glándulas olorosas, envés claro y nervadura conspicua. Flores blancas unisexuales de 5 a 10 mm de diámetro. Fruto una drupa carnosa. En las siguientes Figuras se puede observar el árbol y hojas de Boldo respectivamente

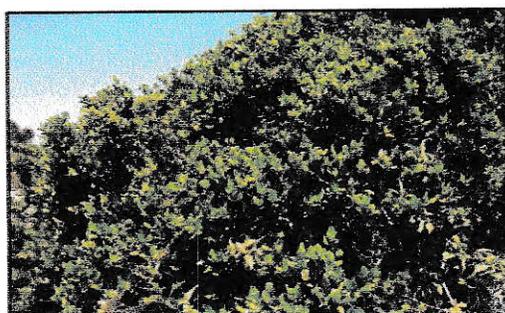


Fig. 27.- Boldo en Maitenes

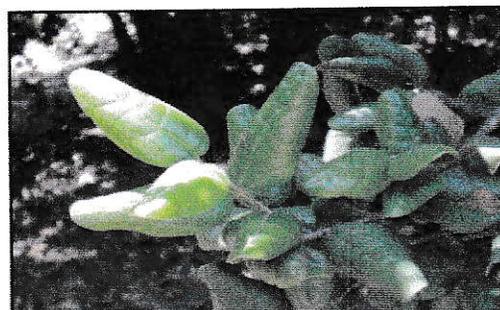


Fig. 28.- Hojas de Boldo

Morfología foliar:

Hojas enteras, aovadas, cortamente pecioladas con nervadura reticulada muy marcada. La cara superior verde oscura con muchas glándulas; la inferior más clara con pelos estrellados. Las fotos que acompañan el texto corresponden a la planta de donde se colectaron las hojas (Maitenes). Ellas no evidencian síntomas de deterioro producto de emisiones de gases contaminantes. La anatomía de la hoja de Boldo puede ser apreciada en la Figura 29.

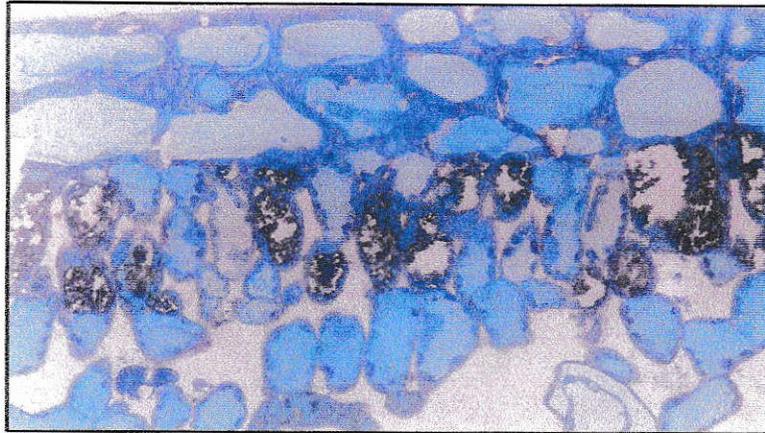


Fig.29 .- Anatomía de la hoja de boldo. 450 x

Anatomía foliar:

Epidermis superior con células cuadrangulares de cutícula gruesa, lisa sin desarrollo de crestas en las ceras epicuticulares, no se observaron pelos; por debajo de ella, una hipodermis pluriestratificada de dos a tres estratos de células casi redondeadas.

El parénquima en empalizada tiene dos o tres estratos de células alargadas; en este tejido hay células llenas de almidón, en donde ya no se distinguen cloroplastos. Un parénquima asimilador esponjoso, con grandes meatos, con abundantes cavidades lisígenas oleíferas. (Montenegro, 1984). Epidermis inferior mono estratificada, con estomas normales y algunos pelos estrellados.

Análisis de la ultraestructura del boldo en Los Maitenes:

Los cloroplastos, adosados a la pared (parietales) se observan al microscopio electrónico, como organelos más bien cortos, aovados. Presentan la estructura normal de los cloroplastos con la envoltura bien definida. El sistema de lamelas no parece estar dañado, ya que se observan tilacoides y granas bien marcadas y bien estructuradas, estroma denso con grandes gránulos de almidón. Estos aparecen ocupando gran parte del estroma, además, se observan varias mitocondrias alrededor de los cloroplastos, lo que nos sugiere que existe una gran actividad metabólica; esto explica la presencia de muchas células con amiloplastos en el parénquima en empalizada dentro del cloroplasto hay algunos pocas gotas de lípidos. El análisis estructural de la especie Boldo puede ser observado en las siguientes Figuras.



Fig. 30.- Células con cloroplastos 22.500 x



Fig. 31.- Cloroplastos 17.500X

Muestras control:

Los individuos estudiados en el Jardín Botánico, presentan cloroplastos marginales, también bien estructurados, con granas y tilacoides sin daño aparente; sin embargo se observa la siguiente diferencia: en el sector control los cloroplastos presentan gran cantidad de gotas de lípidos y escasos gránulos de almidón.

La explicación para tales diferencias puede ser de origen histológico y no ambiental. Es decir el tipo de corte efectuado para las observaciones al microscopio. En el primer caso descrito, Maitenes, se podría tratar de cloroplastos del parénquima en empalizada, que habitualmente contienen mayor cantidad de gránulos de almidón, mientras que en el caso de las muestras control, se podría tratar de cloroplastos de las células del parénquima esponjoso, las cuales contienen mayor proporción de lípidos. Ahora bien, también podría tratarse de lo siguiente: los plastidios seniles o dañados contienen a menudo gotas de lípidos, los llamados plastiglóbulos; lo que podría ser este caso ya que el individuo colectado pudo haber sido uno de mayor edad. En cualquier caso para descartar o verificar alguna hipótesis sobre el particular se requiere efectuar un número considerablemente mayor de cortes histológicos. El análisis estructural de la muestra control, puede ser observado en las siguientes Figuras.

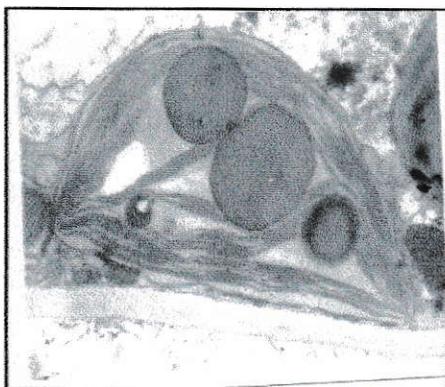


Fig.32.- Cloroplasto de Boldo
22.500 x

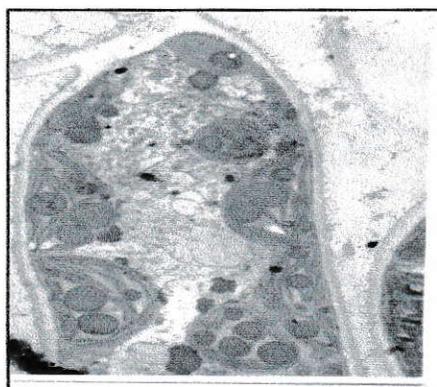


Fig.33.- Célula del clorénquima
de boldo 13.500x

4.2.2 SAUCE

Árbol de hasta 6 m de altura, ramas péndulas con hojas lanceoladas de borde aserrado, caduca. Flores unisexuales, con perianto muy reducido, dispuestas en inflorescencias amentiformes. Fruto tipo cápsula dehiscente.

Morfología foliar:

Hojas linear-lanceoladas, dentado-aserradas, glabras, de 19 cm de largo, verde amarillento, con pecíolo corto, caducas. La muestra de hoja de sauce puede ser observada en la siguiente Figura.



Fig. 34.- Hojas de Sauce

Anatomía foliar:

Epidermis superior mono estratificada, con células grandes, casi rectangulares, con cutícula gruesa. Parénquima en empalizada con células alargadas cubriendo todo el mesófilo; hacia la epidermis inferior, se abren las cámaras subestomáticas en éste. Entre el parénquima asimilador se observan cristales, las drusas, que se describen como cristales de oxalato de calcio; alrededor de ellas las células del clorénquima son más ovaladas. Epidermis inferior con estomas, cutícula muy gruesa e irregular. El detalle de cistolito de clorénquima de sauce puede ser observado en la siguiente Figura.

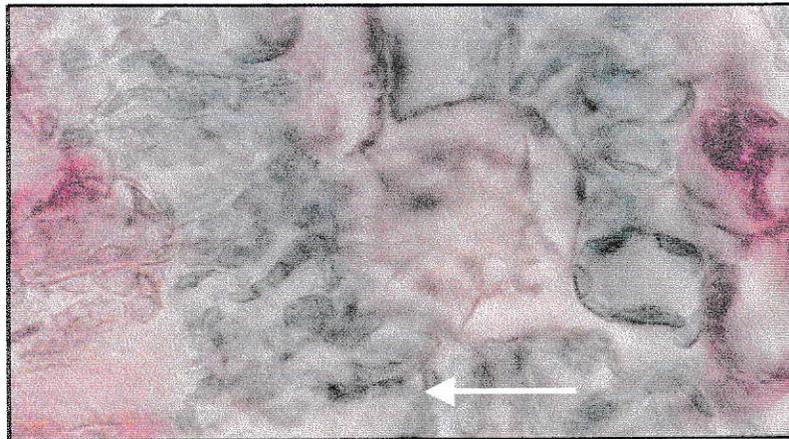


Fig. 35.- Detalle de cistolito en clorénquima de sauce

Análisis de la ultraestructura del sauce en el Humedal de Campiche:

Los Cloroplastos de Sauce, pueden ser observados en la siguiente figura.

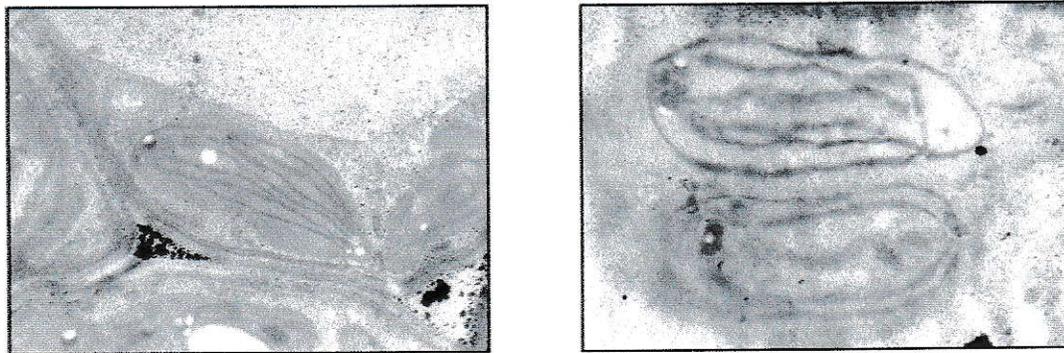


Fig. 36.- Cloroplastos de Sauce

Los cloroplastos al microscopio óptico no presentan evidencias de injurias, sin embargo al microscopio electrónico se observan muy alargados, su envoltura es poco nítida, con tilacoides difusos y sin granas o muy poco desarrolladas. Esta condición de las granas puede deberse a que se trata de cloroplastos nuevos.

Muestras control:

En cambio en las muestras del Jardín Botánico se observan cloroplastos más estructurados, con gránulos de almidón y unos pocos de lípidos, este individuo presenta características de cloroplastos maduros ya desarrollados, a pesar que también son hojas de esta temporada. Los cloroplastos de las muestra control, pueden ser observados en la siguiente Figura.

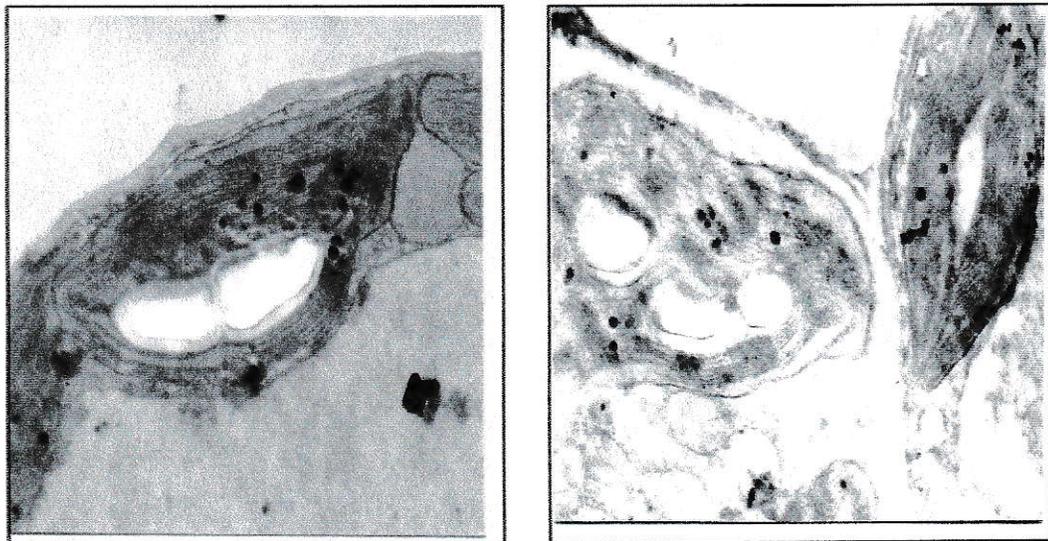


Fig. 37.- Detalle. Cloroplastos de Sauce en Jardín Botánico. 22.500 x

CAPITULO V

DISCUSIÓN GENERAL

5.1 CONSIDERACIONES CON RESPECTO A LA NORMA SECUNDARIA PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO VIGENTE EN CHILE

De acuerdo a los antecedentes recopilados en las distintas reparticiones y entidades relacionadas con la determinación de la normativa secundaria de calidad del aire en el país, no se encontraron evidencias de la existencia de estudios científicos rigurosos que respalden la implementación de esta normativa. La ausencia de respaldo técnico y científico apropiado significa la vulnerabilidad de la normativa y la posibilidad de una descalificación, al no existir argumentos para su aplicación.

La norma existente, no considera la calidad del aire que existe hoy en día en el área de influencia de la fundición Ventanas de ENAMI, donde los episodios han disminuido casi en un 100%, desde la aplicación de las políticas ambientales. Principalmente a partir de la inversión en tecnología para disminuir las emisiones al aire de SO₂.

5.2 COMPARACIÓN DE NORMA SECUNDARIA APLICADAS EN OTROS PAÍSES

Uno de los competidores más directos para el procesamiento de minerales y productos mineros asociados al cobre que se produce en Chile, es Estados Unidos, lugar donde además de procesar sus propios recursos mineros, se incorporan concentrados de cobre de distintos países, incluso Chile.

La normativa vigente en ese país con respecto a la regulación de las emisiones de SO₂, posee los respaldos técnicos y científicos adecuados, por lo tanto podría ser presentada como alternativa a la norma fijada para el territorio chileno.

También resulta interesante una comparación con otros países procesadores de cobre como son China, India y México, donde una normativa de este tipo no existe. Asimismo, en algunos países como Australia y otros que conforman la U.E., como es el caso de Suiza, Italia, Francia, etc., la normativa es altamente exigente debido a que constituyen una barrera de entrada para la instalación de este tipo de industria, principalmente por el turismo.

El factor climático es altamente importante al momento de fijar este tipo de normativas; para el caso de algunos sectores donde los climas son fríos y presentan restricciones para el crecimiento de algunas especies vegetales, es natural que los efectos sean más intensos y las normativas más estrictas, como es el caso de Canadá. Por las razones indicadas, en ambas circunstancias, ya sea por no haber control o que sea muy exigente, no son comparables con la realidad chilena.

5.3 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y AMBIENTALES DEL ENTORNO A LA FUNDICIÓN Y REFINERÍA VENTANAS Y LOS POSIBLES EFECTOS GENERADOS POR EL ANHÍDRIDO SULFUROSO EN LA FLORA Y FAUNA.

Debido a la existencia en la zona de bajas precipitaciones, ésta se caracteriza por ser una región relativamente seca. Es por esta razón que la posibilidad de formación de lluvia ácida es casi nula durante los meses de verano, produciéndose deposición seca o el transporte de SO_2 a zonas más alejadas. Durante los meses de invierno es más difícil poder evaluar la formación de lluvia ácida o conocer la calidad del aire con respecto a este contaminante, debido a que la existencia de precipitaciones limpia la atmósfera, depositando las emisiones de SO_2 al suelo, cursos de agua o vegetales antes de ser cuantificadas por las estaciones de monitoreo.

Para el episodio más alto registrado durante el 17 de Enero del 2004, no existe la posibilidad de producirse lluvia ácida, al no registrarse durante ese día precipitaciones, pero si puede existir una disminución del pH por deposición seca, al estar en contacto el SO_2 con un cuerpo de agua.

Hay que considerar de acuerdo a estudios realizados, que la actividad fotosintética en invierno disminuye, por lo tanto existe una mayor resistencia por parte de las plantas frente a la exposición de SO_2 .

El suelo que posee el área de estudio es altamente marginal para la producción de cultivos de alto rendimiento y/o pastoreo intensivo de ganado, alcanzando el 45% del total la clase de suelo VI, que se caracteriza por ser suelo erosionados o muy susceptibles a una erosión severa. La otra clase de suelo predominante es la VII correspondiente al 21%, la cual presenta limitaciones continuas y muy severas, encontrándose en zonas de altura de la comuna de Puchuncaví. Para conocer el

verdadero impacto en la flora generado por las emisiones de SO_2 , sería de gran importancia realizar estudios de pH en el suelo a diferente profundidad y en distintas épocas del año, con el fin de descartar posibles efectos generados por la lluvia ácida y por la emisiones de SO_2 . A partir del ejemplo del cálculo del pH para una concentración conocida, nos permite observar como puede afectar la emisión de SO_2 en la disminución del pH en el suelo y considerar el posible efecto histórico en la degradación del suelo, generado por las emisiones de SO_2 antes del control de éstas y después de la aplicación de los planes de descontaminación para su disminución.

La hidrografía del área de estudio se remite a la existencia de tres esteros: Canela, Puchuncaví y Pucalán. Los cuales se caracterizan por ser utilizados como fuente de agua para la agricultura del sector principalmente de subsistencia; al ser utilizados con este fin, es de gran importancia poder evaluar el pH que presentan estos en distintos puntos no tan sólo producto de los efectos de la lluvia ácida, sino que también por la deposición seca de SO_2 que al estar en contacto con el agua produce la acidificación de ésta, y poder conocer mediante estudios de laboratorio el posible efecto indirecto generado por las emisiones de SO_2 , es de gran importancia mencionar que los esteros al estar en movimiento y dependiendo de la cantidad de agua, pueden tener una capacidad buffer mayor, en comparación con lagos.

Al analizar la variación del pH con respecto al episodio generado 17 de Enero del año 2004, donde existe una disminución aproximada del pH en un cuerpo de agua hasta 3,73, es necesario tomar en consideración los posibles efectos en la fauna acuática presente en los cuerpos de agua circundante a la fundición.

Es de gran importancia mencionar que zona de ubicación de la fundición Ventanas, se caracteriza por encontrarse en un sector con alta presencia de formaciones dunarias, donde la cubierta vegetal no existe, el resto de la zona a raíz de la acción antrópica histórica, puede haber alterado o incluso eliminado su cubierta vegetal.

El estado actual de la cubierta vegetal es precario, debido a que la sumatoria de muchos factores han incidido en su degradación. El principal efecto ha sido la depresión de la agricultura, generando la búsqueda de nuevas fuentes de ingresos y alimentación. Este problema se observa con mayor intensidad en el sector oriental de la comuna, que corresponde a las tierras altas.

Por otro lado, se introdujo la cabra en la ganadería local, lo que ha llevado a un sobre-pastoreo de las praderas naturales y a la destrucción de parte del estrato arbustivo.

Es necesario mencionar que la intensa forestación realizada sobre la comuna, principalmente en el sector de Campiche y La Canela, ha incidido sobre la vegetación nativa fuertemente, pues se están utilizando las laderas para llevar a cabo esta actividad, lo que involucra el despeje de la cubierta vegetal primitiva.

De acuerdo al estudio realizado, hay que considerar que la actividad agrícola principalmente es de subsistencia, lo que indica el escaso desarrollo que presenta el suelo rural en esta área existiendo producción de repollos, acelgas, lechuga, tomate, zanahoria coliflor y maíz entre otras. En la zona circundante a la estación de monitoreo Los Maitenes, debido al grande impacto histórico, no existe actividad agrícola, y cualquier tipo de cultivo debe ser desarrollado bajo plástico. Es de gran importancia,

realizar los estudios antes mencionados principalmente en esta zona, la cual es considerada como de máximo impacto.

La zona circundante a la estación Valle Alegre es la que presenta mejores condiciones para desarrollar la actividad agrícola, debiera ser utilizada como control al momento de realizar estudios, y mediante medidas de remediación poder conseguir que las otras zonas posean similares condiciones.

La presencia del bosque Las Petras en la zona circundante a la fundición, considerada como área silvestre protegida, hace más necesario tomar todas las medidas necesarias, y realizar los estudios correspondientes a la flora, suelo y cursos de aguas con el fin de no generar los posibles impactos dados a conocer, producidos por la emisión de este contaminante.

5.4 ANÁLISIS GENERAL DE LOS EPISODIOS PRODUCIDOS Y DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA SECUNDARIA VIGENTE EN NUESTRO PAÍS

Con respecto a la ocurrencia de episodios y del cumplimiento de la norma secundaria horaria, a partir del estudio realizado el cual considera desde el año 2001 al 2004. Se tiene que los episodios y las concentraciones de SO_2 registradas por las estaciones de monitoreo, han disminuido significativamente (ver figura 18), la estación Los Maitenes registra la mayor cantidad de episodios, disminuyendo de 102 episodios registrados durante el año 2001 a sólo 4 episodios durante el año 2004. Del resto de las estaciones sólo la Sur y La Greda presentan episodios durante el 2001 de 45 y 21 respectivamente, disminuyendo a cero durante el año 2004. Es de gran importancia mencionar, que el total de horas durante el año 2004 es de 8.784 (ver figura 24), por lo tanto los 4 episodios corresponden sólo al 0,045% del total de posibles ocurrencias (mayor a $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Mientras que para la misma estación Los Maitenes, las horas registradas con un valor de concentración menor a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ son de 7.994 correspondiente al 91% del total. Para el resto de las estaciones las horas registradas con valores de concentración para SO_2 bajo los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ es mucho mayor. Por lo tanto el cumplimiento de la norma horaria vigente en nuestro país al existir episodios de contaminación, no está siendo cumplida por la fundición Ventanas.

Con respecto a los episodios horarios registrados durante el año 2004 (ver figuras 20,21,22 y 23), es muy difícil poder explicar las causas de estos, los cuales se originan entre las 11 am y 16 pm, pero al comparar con los episodios generados durante los años anteriores al 2004 no es posible encontrar una correlación entre las horas de ocurrencia de episodio, esto se puede deber a la gran variación de condiciones meteorológicas de la zona dadas a conocer en el ANEXO IV.

Con respecto al cumplimiento de la norma diaria ($365 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), ésta es superada durante el año 2001 en sólo 4 oportunidades, no registrando excedencias para dicha normativa en ninguno de los años posteriores. Para el año 2004 de los 366 días (ver Gráfico 8), la estación Los Maitenes registró 351 días bajo los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, correspondiente al 96% del total, siendo esta la estación que presentó el menor número de días bajo ese nivel, registrando un solo día entre lo 250 y $365 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. De esto se puede deducir que la Fundación Ventanas cumple con facilidad el nivel máximo permitido.

La norma anual ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) no presenta mayor problema, al no ser superada desde el año 2001, en ninguna de las estaciones de monitoreo (ver figura 26).

5.5 ANÁLISIS METEOROLÓGICO RELACIONADO CON LOS EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN

Los contaminantes emitidos en el área de la fundición Ventanas son arrastrados por el flujo local que se desarrolla en la zona y, simultáneamente, dispersados por los procesos de mezcla turbulenta de preferencia hacia la localidad de Los Maitenes. A medida que aumenta el espesor de la capa de mezcla durante la mañana, crece el volumen en el cual se dispersan los contaminantes. Simultáneamente, se desarrolla la brisa diurna, por lo que la capacidad de ventilación de la zona se incrementa por ambos factores.

Durante la tarde, el enfriamiento de la capa cercana a la superficie reduce notablemente la circulación vertical de contaminantes (ver Figura 5), dando lugar, generalmente, a concentraciones elevadas en las cercanías de la fuente emisora. El flujo se invierte con dirección Este, llevando el aire contaminado hacia el océano. Por lo tanto se produce una disminución de las concentraciones de SO₂ registradas por las estaciones de monitoreo.

La contaminación atmosférica se asocia a la Meteorología de zonas urbanas, es decir, con las condiciones meteorológicas existentes en zonas cuya área superficial oscila entre los 100 y 1000 km². Es evidente entonces, que este estudio no tiene lugar a esa escala. Las condiciones meteorológicas que provocan elevadas concentraciones de contaminantes en un lugar, es el resultado de procesos meteorológicos ocurridos a una escala mucho mayor.

Otro factor que puede influir, en la dispersión de los contaminantes de la zona, es el efecto que se produce frente a las costas sudamericanas, donde se establece en superficie un sistema de altas presiones, que recibe el nombre de Anticiclón. En su seno el aire tiene un descenso lento y es seco y cálido. Sobre el océano, en cambio, se

desarrolla una masa de aire frío y húmedo, que alcanza un espesor aproximado de 1.000 m en las costas de la zona central del país. En la zona de transición entre ambas masas de aire se forma una capa donde la temperatura aumenta con la altura, produciendo un freno a la mezcla de aire.

El relieve juega asimismo un papel significativo; primero, por contribuir como barrera natural a las influencias oceánicas; luego, por la degradación que impone a la temperatura a medida que aumenta la altitud; y finalmente, por las sombras que proyectan sobre los estrechos valles las serranías transversales (culminan por sobre los 200 m sobre el nivel del mar) y los cordones longitudinales del interior (con cimas de más de 4000 m), afectando el ritmo diario y anual de temperatura.

Las configuraciones de la circulación general de la atmósfera presentan un ciclo anual que, dependiendo de la estación, se mueve de un hemisferio a otro, lo que provoca un desplazamiento general de los sistemas meteorológicos.

Es importante destacar el gran número de calmas que presenta la zona en todas las estaciones del año. Éstas se deben principalmente a la baja velocidad que sufre el viento, cuando la diferencia de temperatura mar-tierra no es apreciable como para crear diferencias de presiones que generen tales circulaciones. Es así como en otoño e invierno (cuando la tierra está más fría) existe una mayor probabilidad de ocurrencia de episodios. Esto es importante ya que afecta directamente a la dispersión atmosférica, puesto que con este régimen de vientos y fuentes emisoras de superficie es muy probable alcanzar altos niveles de contaminación.

5.6 ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS EMISIONES DE SO₂ Y DE LA DEPOSICIÓN ÁCIDA SOBRE LA VEGETACIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE A LA FUNDICIÓN VENTANAS DE ENAMI

Ciertamente la metodología empleada es una primera aproximación a un problema complejo: el anhídrido sulfuroso y la deposición ácida y su impacto en las especies vegetales del área de influencia de las emisiones de ENAMI Ventanas. El alcance del presente estudio es a todas luces limitado, toda vez que la única certeza de una relación causa-efecto es posible lograrla diseñando experimentos en atmósfera controlada. Además, la deposición ácida es un fenómeno complejo donde confluyen un conjunto de reacciones químicas y la participación en esta compleja estequiometría de los gases sulfurosos y los óxidos de nitrógeno. Además en la literatura se encuentran numerosos estudios que documentan los mecanismos de detoxificación que poseen algunas plantas para reducir el dióxido de azufre y eliminar el exceso en forma de H₂S.

El impacto de la deposición ácida, en especies arbóreas del Hemisferio Norte (ver Figuras 38 y 39) se manifiesta particularmente en la morfología de la hoja. Los síntomas típicos de las injurias son manchas cloróticas y necrosis en la lámina de la hoja, tal como lo señalan los ejemplos. En el estudio realizado, sólo en Palqui fue posible visualizar un efecto equivalente (clorosis).

En general, con la excepción de Palqui y de Sauce, las especies estudiadas a este nivel morfológico, no presentan evidencias de problemas en las estructuras de los parénquimas asimiladores. En el estudio a los cloroplastos, tampoco fue posible encontrar evidencias de problemas.



Fig. 38.- Injuria en hojas de papa debido a exposición al SO_2



Fig. 39.- Necrosis en hojas de fresno (*Fraxinus americana*)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES GENERALES

Del estudio realizado en la Empresa Nacional de Minería, para la Fundición y Refinería Ventanas en cooperación con el estudio realizado en la UPLA, se desprende lo siguiente:

- La actual norma secundaria aplicada en nuestro país, no posee el respaldo científico ni técnico riguroso que respalden los niveles máximos permitidos con respecto a la concentración de SO₂ presente en el aire.
- Debido a que la implementación de esta norma fue realizada en el año 1991, ésta no considera la evolución de la calidad del aire, después de la aplicación de los planes de descontaminación.
- Los estudios realizados por la EPA, constituyen una plataforma sólida para proyectar alternativas de fijación de normas, ya que se centran en las respuestas de las plantas a la exposición a SO₂.

De esta forma, se puede determinar en forma comparativa, una alternativa importante a ser considerada para su aplicación en Chile, situación que ya se aplicó en Argentina.

- Con respecto a las características geográficas y ambientales del entono de la fundición se puede concluir, que el daño existente en el suelo, la disminución en la cubierta vegetal y disminución de la actividad agrícola, se puede deber a los efectos históricos producto de las emisiones no controladas de SO₂, antes de la

aplicación de las medidas existentes hoy en día para la disminución de las emisiones.

- Hoy en día la fundición Ventanas cumple con éxito, la norma secundaria diaria y anual, existiendo ocurrencia de episodio para la norma horaria, a pesar de los esfuerzos realizados para cumplir con esta disposición.
- Los principales factores que influyen en la ocurrencia de un episodio corresponden al enfriamiento cercano a la superficie durante la tarde, generando el fenómeno de inversión térmica, el cual reduce la circulación vertical del contaminante, produciendo la acumulación de éstos en el área cercana a la fundición. Otro factor a considerar es el sistema de alta presión generado en la zona denominado anticiclón, y también las características del relieve, el cual actúa como barrera natural.
- Las condiciones climáticas existentes derivan en período de calma absoluta en los lugares donde se encuentra la fundición, imposibilitando un control que garantice el cumplimiento absoluto de la normativa horaria. Por esta razón y considerando la gran cantidad de eventos posibles (8.760 horas en un año no bisiesto), es pertinente configurar una condición de cumplimiento con algún nivel de percentil, razonable y justo.
- El efecto de las emisiones de SO_2 en la fauna, no es tan significativo, debido a que solo elevadas concentraciones del contaminante pueden producir algún tipo de daño, principalmente respiratorio, y prácticamente este daño puede ser disminuido a partir de la norma primaria existente. El problema es mayor en la flora, donde se pueden producir efectos crónicos y agudos, a distintos niveles de concentración y éstos pueden ser causados en forma directa o indirecta por la emisión del contaminante.

- Con respecto al estudio realizado a especies arbóreas y/o arbustivas, ninguna de las especies estudiadas evidencia injurias que puedan asociarse a la exposición al anhídrido sulfuroso o deposición ácida. La clorosis que presenta *Cestrum palqui* es un fenómeno frecuente en la especie y al parecer no tiene relación con la contaminación atmosférica. Sin embargo, para dilucidar el tema y establecer una relación causa-efecto es necesario realizar experimentos en atmósfera controlada.
- A nivel anatómico no se evidencian injurias en los cloroplastos. Las hojas de sauce no evidencian a nivel morfológico ultraestructuras muy definidas. La poca definición podría tener múltiples explicaciones, algunas de carácter endógeno y otras ambientales, entre ellas el factor calidad del aire. En este caso también se necesitaría del diseño de experimentos en atmósfera controlada.

6.2 FORMULACIÓN DE PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA NORMA SECUNDARIA PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO

A partir de los antecedentes obtenidos en este estudio, es posible formular la siguiente propuesta para la adecuación de la norma secundaria para anhídrido sulfuroso:

- Con respecto a la norma secundaria anual, ésta debería mantenerse en $80 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ debido a que evita posibles daños crónicos, es decir, por períodos largos a la exposición, en la flora circundante a la fundición.
- La norma secundaria diaria debería igualarse a la primaria, es decir, disminuir de $365 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ con las mismas exigencias de cumplimiento, no se justifica disponer de niveles límites distintos en el mismo período de tiempo.
- Con respecto a la norma secundaria horaria se proponen dos alternativas: Mantener la norma vigente de $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ configurando una condición de cumplimiento con algún nivel de percentil, aproximadamente de 99,5%, es decir 44 horas, o fijar la Norma aplicada en USA de $1.300 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para un promedio de 3 horas con un percentil de cumplimiento de 99,75%, decir, 22 horas. Considerando un total de 8.760 horas en un año no bisiesto.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de pH en suelos y cursos de agua en el área de influencia de la fundición, principalmente en las zonas donde se pueda apreciar un daño aparente, o también en la zona donde de acuerdo a los registros de las estaciones de monitoreo es considerada como de mayor impacto, como es el caso de Los Maitenes. Esto con el fin de poder descartar posibles daños indirectos y en caso de existir tomar las medidas de remediación como por ejemplo, la aplicación de cal en las zonas afectadas.
- Realizar estudios causa – efecto en atmósfera controlada a individuos de especies arbóreas y arbustivas de zonas circundantes a la fundición, realizando la exposición al contaminante durante diferentes tiempos.
- Realizar estudios estacionales similares a los dados a conocer en este trabajo, en individuos de diferentes especies.
- Realizar capacitación en la población circundante a la fundición de hidroponía y de técnicas para mejorar el uso de del suelo (ej. compostaje).

REFERENCIAS

En Revista:

- Amdur M, Animal toxicology. In: Particles in our air: concentration and health effects. Harvard University. P. 85-112G
- Atkinson, C.J. Wookey, P.A. & Mansfield, T.A. 1991. Atmospheric pollution and the sensitivity of stomata on barley leaves to abscisic acid and carbon dioxide . *New phytol.* 117: p. 535 –541
- Balduzzi, A., I. Serey, R. Tomaselli y R. Villaseñor. 1982. Deforestation of the mediterranean type of vegetation in central Chile. *Ecologia Mediterranea*, 8 (1-2): p. 223-239
- Gorham, E. 1998. Acid deposition and its ecological effects: a brief history of research. *Environmental Science & Policy* 1: p.153-166
- J.T Walker, G.P. Alexandria: Acute effects of acidic for on photosynthetic and morphology of phaseolus lunatus. A publication of The American Society for Horticultural Science; 1991 v. 26 p. 1531-1534.
- Muthuchelian,K.; Nedunchezian, N.; Kulandaivelu, G. Acid rain: misr-induce response in growth and photosybtthetic activities on crop plant. New york, 1994 May. P. 521-526
- Neeighbour, E.A. Cottam, D.A 6 Maansfield, T.A. 1988. Efects of sulphur dioxide and nitrogen dioxide on the control of water loss by birch (betula spp.) *New Phytol.* 108: 149 –157
- P.A.; Ineson, P. Oxfor: Chemical changes in decomposing forest litter in response to atmospheric sulphur dioxide. *The Juornal of soil science.* v. 42 p 615-628

- Winner, W., Mooney, H.A. & Goldstein, R.A. 1985. Sulphur dioxide and vegetation.
Stanford University Press

En Libros y Normativa

- Agencia Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). 1998. Reseña Toxicológica del anhídrido sulfuroso. Atlanta E.E.U.U.
- Alcerreca, C y col. Fauna silvestre y áreas naturales protegidas. Universo veintiuno. México. 1988.
- Ana Luisa C. 2002. Serie informe Medio Ambiente N°9. Libertad y Desarrollo.
- Barceló J., G. Nicols, B. Sabater y R. Sánchez 2001. Fisiología vegetal. Editorial pirámide
- El Cobre en Chile y El mundo, Cochilco 2002.
- EPA (US Environmental Protection Agency). 1999. Progress Report on the EPA Aacid Rain program. EPA 430-R-02-009. Clean Air Markets Program. Office of air and Radiation. US EPA. Washington, D.C Nov 2002.
www.epa.gov/airmarkets/cmprpt/arp01/2001report.pdf
- EPA (US Environmental Protection Agency). 2002. Acid Deposition Estándar Freasibility Study. Executive Summary.
www.epa.gov/airmarkets/articles/depfeas/index.html
- EPA (US Environmental Protection Agency). 1982. Air Quality Criteria for Particula Matter and Sulfur Oxides. Volumen III
www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/SO2/data/sosp1982.pdf
- Montenegro, G. 1984 Atlas de anatomía de especies vegetales autóctonas de la zona central. Ediciones Universidad Católica de Chile
- Moore S. & Wood K. 2000. El mundo de la Química. Conceptos y aplicaciones. Addison Wesley Longman. México.

- NAPAL (National Acid Precipitation Assessment Program). 1990. Effects of Pollution on Vegetation. Report 18. Washington, D.C.: Government Printing office.
- Normas de calidad ambiental D.S. N°185, Ministerio de Minería
- Skoog and JJ Leary. Análisis Instrumental, McGraw-Hill, Madrid, 1994. p 203-204
- USEPA (United State Environmental Protection Agency). 1982. Second Addendum to criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides.
- Xavier Doménech. Química Atmosférica: Origen y efectos de la contaminación, Misaguano ediciones, Madrid, 1995.

ANEXO I

**CONSIDERACIONES Y POSTERIOR REVISIÓN DE LA
EPA DE ESTADOS UNIDOS DE SU ESTÁNDAR
SECUNDARIO PARA
ANHÍDRIDO SULFUROSO**

CONSIDERACIONES DE LA EPA PARA FIJAR SU ESTANDAR SECUNDARIO

Para fijar el estándar secundario para SO_2 , la EPA en primer lugar realiza un estudio de las distintas reacciones que pueden tener las plantas frente a la exposición de dióxido de azufre, dejando muy en claro, que corresponde a un proceso complejo que involucra no sólo la concentración y tiempo de exposición, sino que también la composición genética de la planta y de los factores ambientales presentes al momento de la exposición.

Los estudios científicos realizados, en los cuales se basa la EPA, se centran principalmente en dar a conocer las diferentes respuestas de la planta a la exposición de SO_2 y otros compuestos azufrados. Conociendo a partir de literatura y de diversos estudios, la forma del depósito del SO_2 en la superficie de la planta, su entrada, distribución y reacción dentro de ésta.

A partir de la información disponible, una vez realizados los estudios relacionados con el crecimiento y producción, se puede concluir, que éstos no están relacionados con el daño foliar. Dependiendo del tipo de planta afectada, las condiciones ambientales, y las condiciones a las cuales se expone el contaminante, se puede observar efectos en la producción sin daño, daños sin cambios en la producción o asociaciones positivas entre el daño y los efectos en la producción.

Los potenciales niveles de dióxido de azufre considerados como dañinos para las plantas localizadas en el área de Sudbury durante el día son:

0,95 ppm por 1 hrs
0,55 ppm por 2 hrs
0,35 ppm por 4 hrs
0,25 ppm por 8 hrs

Es de gran importancia considerar, que estos valores fueron obtenidos de diversos estudios, pero no es cierto que el daño ocurra cuando se alcanzan o exceden estos niveles, esto depende en gran parte por las condiciones ambientales que prevalecen.

Dentro de las consideraciones realizadas por la EPA, también se encuentra el efecto del SO_2 frente a la presencia de otros contaminante, como el SO_3 y NO_2 . De los estudios realizados, se concluye que aun es poco claro entender como la mezcla de contaminantes influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta. La información que existe no es suficiente para determinar la influencia de la secuencia de la combinación de contaminantes y muchas otras variables, en relación a los efectos en la vegetación inducidos por el SO_2 y su combinación con otros contaminantes.

Otros factores que considera, son los efectos no contaminantes, como son: temperatura, humedad relativa, luz, factores edáficos y la presencia de patógenos bióticos en las plantas. Además analiza desde el punto de vista de los ecosistemas naturales, los posibles efectos y respuestas frente a la presencia de dióxido de azufre.

REVISIÓN DE LOS ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO.

Este documento evalúa la información científica y técnica más relevante, disponible por la EPA, para la revisión del estándar nacional de calidad del aire ambiental, con el fin de asegurar que estos sean científicamente adecuados.

A continuación, se dará a conocer las conclusiones y recomendaciones realizadas a partir de este documento:

- El daño a la vegetación por el SO_2 genera pérdidas económicas en cultivos comerciales, daño estético a árboles cultivados, arbustos y otros ornamentales, y reducción en productividad riqueza y diversidad de las especies en ecosistemas naturales los cuales constituyen efectos en el bienestar público y en las áreas impactadas. Tales efectos están asociados tanto con exposiciones cortas (minutos a horas) y exposiciones largas (semanas a años) de SO_2 .

Dados los datos disponibles en los efectos del SO_2 en las plantas (en el crecimiento, producción y daño foliar), un estándar de 3 horas en o bajo los niveles actuales del estándar secundario (0,5 ppm) puede ser necesario para proteger la vegetación. En ausencia de un estándar primario que provee de protección adecuada a la vegetación, se recomienda un estándar secundario de 3 horas.

Datos disponibles para los efectos de exposiciones de SO_2 por largo tiempo en plantas vasculadas (árboles y arbustos) sugieren la posibilidad de cambio en la riqueza y diversidad de las especies, crecimiento reducido luego de largos períodos y caída prematura de hojas. Sin embargo estos datos son débiles y no se desarrollan lo suficientemente bien para entregar la base principal para seleccionar el nivel estándar de exposiciones largas de SO_2 . Debido a esto, existiendo información, no puede ser utilizada para mostrar efectos significativos a niveles anuales de SO_2 bajo los estándares primarios anuales actuales, pero si apoya la necesidad de proteger contra los efectos de la exposición prolongada de SO_2 limitando concentraciones de exposiciones de largo tiempo más arriba que este nivel.

Las concentraciones actuales de exposiciones de largo tiempo de SO_2 sobre varias áreas del noreste exceden los niveles que deben estar asociados con efectos en plantas no vasculadas (líquenes, musgos). La extensión e importancia de estos efectos potenciales en ecosistemas naturales y la característica de estas exposiciones; el equipo recomienda que los efectos del SO_2 en las plantas no vasculadas sean considerados, en el amplio contexto, de la deposición ácida regional y de la visibilidad. En este momento se recomiendan estándares secundarios de exposiciones para plantas no vasculadas.

ANEXO II

CLASES DE SUELO PRESENTE EN EL ÁREA CIRCUNDANTE A LA FUNDICIÓN VENTANAS DE ENAMI

CLASES DE SUELOS

Clase II:

Suelos con ligeras limitaciones, menos profundos. Algo inclinados. Tiene un buen rendimiento si se efectúan ciertos cuidados en su manejo. Suelos de este tipo se encuentran solamente en el sector de los Bajos y corresponde al lecho del estero Puchuncaví en sus tercios inferiores.

Clase IV:

Requiere un gran cuidado con respecto a sus prácticas de manejo, presentando severas limitaciones y soportando cultivos restringidos. Este tipo de suelos es muy susceptible a la erosión y su rendimiento es entre mediano y bajo. La mayor extensión de este tipo de suelo se encuentra en las localidades de Ventanas, Campiche y parte de Puchuncaví.

Clase VI:

Presenta limitaciones continuas, están erosionados o son muy susceptibles a una erosión severa, son pedregosos y con pendiente pronunciada. Resultan aptos para pastoreo ovino muy liviano y forestación, representan una de las mayores superficies por tipo de suelo en la comuna, distribuyéndose desde una media altura, en los sectores altos, hasta el litoral, como en el distrito Las Melosillas.

Clase VII:

Presenta limitaciones continuas y muy severas, de aptitud forestal, distribuyéndose principalmente en una franja correspondiente a las mayores alturas de la comuna de Puchuncaví.

Clase VIII:

Son suelos sin valor agrícola, quebradas o pantanos, aptos solamente para el sustento de la vida silvestre, identificándose con el sector pantanoso que existe en la desembocadura del estero Puchuncaví y un segmento de tierras altas ubicado al Sur-Este de la comuna.

ANEXO III

UBICACIÓN ESTACIONES DE MONITOREO

COMPLEJO INDUSTRIAL VENTANAS

LA DESCRIPCIÓN DE CADA UNA DE LAS ESTACIONES SE DA A CONOCER A**CONTINUACIÓN:****Estación N°1**

Nombre o código de la estación	: La Greda
Dirección	: Complejo Deportivo San Martín La Greda
Localidad y comuna	: La Greda. Comuna de Puchuncaví
Región	: V

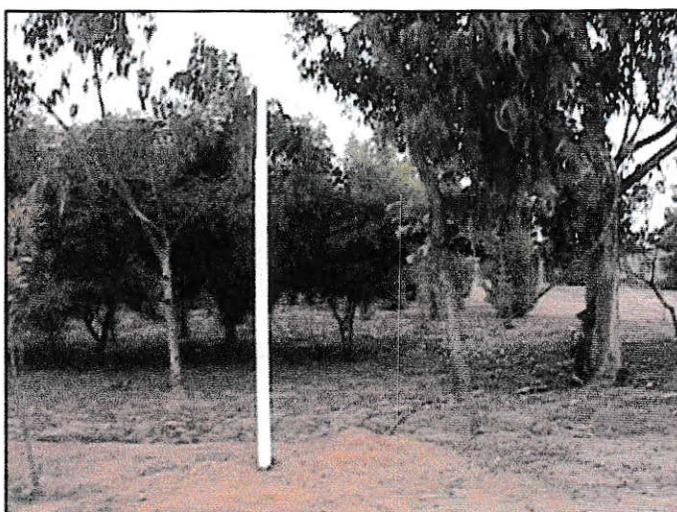


La estación está ubicada entre las direcciones NNE y NE a 1,5 Km del Complejo Industrial Ventanas, en el Interior del Estadio del Club Deportivo San Martín.

El recinto esta rodeado por un muro de panderetas y provisto de portones de acceso. Los espacios entre el muro y la cancha de fútbol, cumplen con los requisitos técnicos para la instalación de estaciones de monitoreo.

Estación N°2

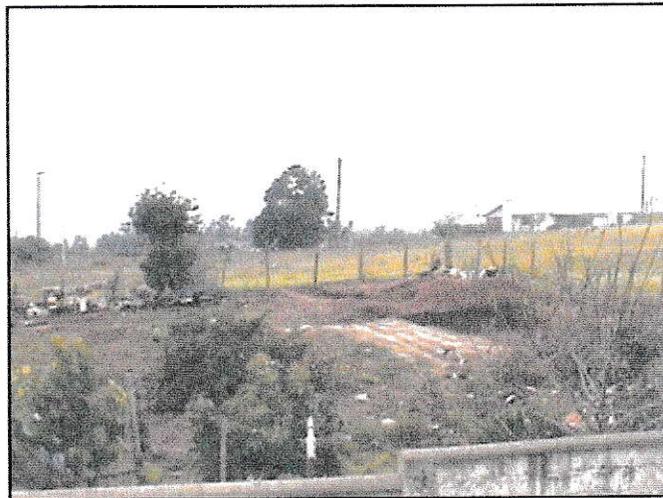
Nombre o código de la estación	: Los Maitenes
Dirección	: Colegio Los Maitenes. Localidad de Los Maitenes
Localidad y comuna	: Los Maitenes. Comuna de Puchuncaví
Región	: V



La Estación esta ubicada en la Escuela Básica de Los Maitenes, en la dirección Este a 3 km del Complejo Industrial Ventanas, siendo el sector de mayor impacto.

Estación N°3

Nombre o código de la estación	: Puchuncaví
Dirección	: Tenencia de Carabineros de Puchuncaví
Localidad y comuna	: Puchuncaví
Región	: V



Estación ubicada entre las direcciones NE y NNE a 9,5 Km del Complejo Industrial Ventanas. En el Interior de Tenencia de Carabineros de Puchuncaví.

Estación N°4

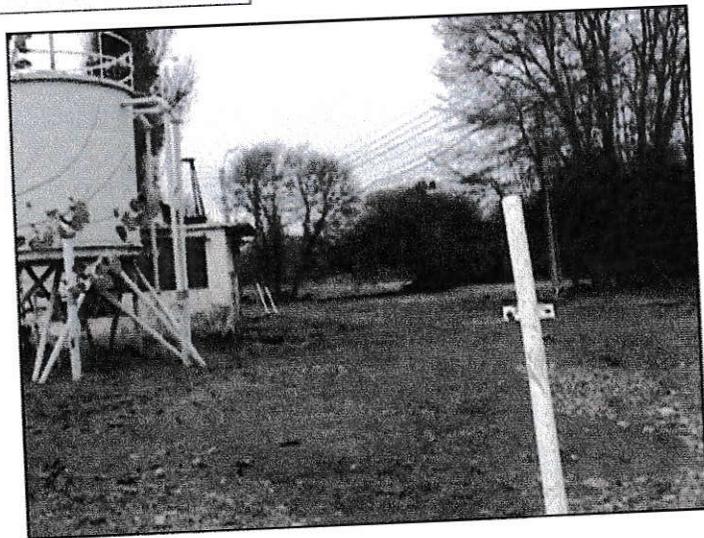
Nombre o código de la estación	: Sur
Dirección	: Antenas de Armada.
Localidad y comuna	: Loncura. Comuna de Quintero
Región	: V



La Estación de Monitoreo se encuentra ubicada en el sector denominado antenas, perteneciente al Comando de Telecomunicaciones de la Armada de Chile. En el sector Sur del complejo Industrial Ventanas a 3 km de éste.

Estación N°5

Nombre o código de la estación	: Valle Alegre
Dirección	: Club Deportivo AESGENER S.A.
Localidad y comuna	: Valle Alegre. Comuna de Quintero
Región	: V

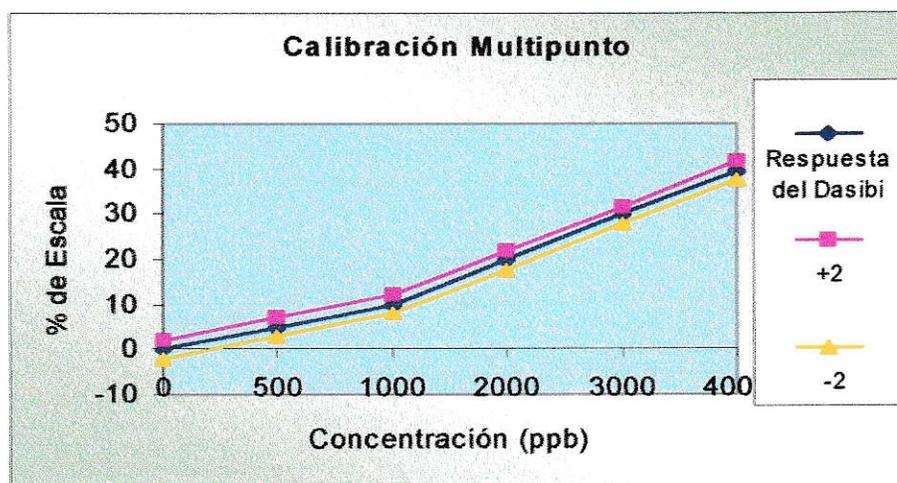
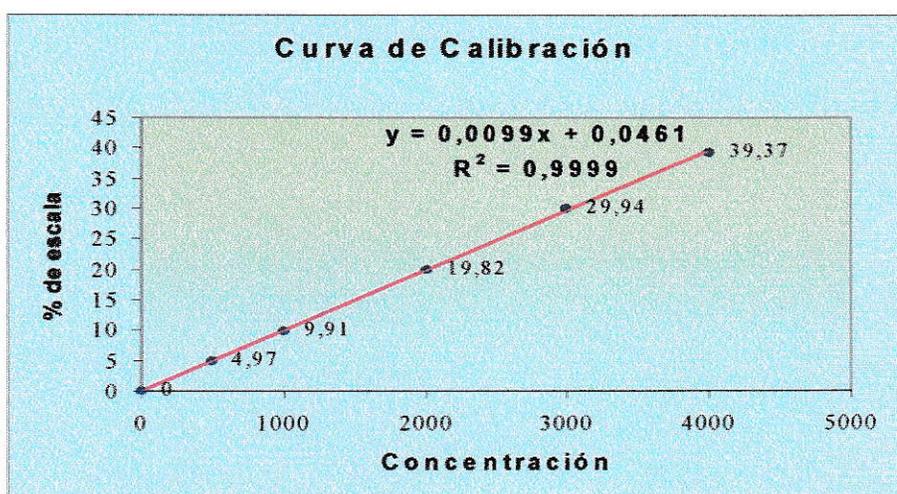


Estación de Monitoreo ubicada en el Club de Campo de AESGENER, ubicada a 7,5 km del Complejo Industrial Ventanas, en la dirección SE.

ANEXO IV
CURVA DE CALIBRACIÓN
DASIBI 4081

ESTACIÓN LOS MAITENES

Valor de Calibración (ppb)	Respuesta del Dasibi	% de Escala	Regresión	+2	-2
0	0	0	0,04	2,04	-1,96
500	497	4,97	4,99	6,99	2,99
1000	991	9,91	9,94	11,94	7,94
2000	1992	19,82	19,84	21,84	17,84
3000	2994	29,94	29,74	31,74	27,74
4000	3937	39,37	39,64	41,64	37,64



ANEXO V

**EPIODIOS Y NIVELES DE CONCENTRACIÓN PARA
SO₂ REGISTRADO EN LAS ESTACIONES DE
MONITOREO**

Cumplimiento Norma Horaria:**Episodios ocurridos por estación y mes, durante el año 2001.**

Número de Episodios					
Estaciones de Monitoreo					
Mes	La Greda	Los Maitenes	Puchuncaví	Sur	Valle Alegre
Enero	2	27	0	11	0
Febrero	4	10	0	3	0
Marzo	2	33	0	14	0
Abril	3	8	0	5	0
Mayo	0	2	0	3	0
Junio	5	3	0	1	0
Julio	2	2	0	0	0
Agosto	1	2	0	6	0
Septiembre	0	2	0	0	0
Octubre	1	2	0	2	0
Noviembre	0	5	0	0	0
Diciembre	1	6	0	0	0
Total	21	102	0	45	0

Episodios ocurridos por estación y mes, durante el año 2002.

Número de Episodios					
Estaciones de Monitoreo					
Mes	La Greda	Los Maitenes	Puchuncavi	Sur	Valle Alegre
Enero	0	6	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0
Marzo	0	7	0	1	0
Abril	0	1	0	1	0
Mayo	0	1	0	0	0
Junio	2	0	0	0	0
Julio	0	1	0	5	0
Agosto	1	1	0	0	0
Septiembre	1	2	0	0	0
Octubre	0	1	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0
Diciembre	0	1	0	0	0
Total	4	21	0	7	0

Episodios ocurridos por estación y mes, durante el año 2003.

Número de Episodios					
Estaciones de Monitoreo					
Mes	La Greda	Los Maitenes	Puchuncavi	Sur	Valle Alegre
Enero	0	3	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0
Marzo	0	1	0	0	0
Abril	0	2	0	1	0
Mayo	0	2	0	1	0
Junio	0	0	0	0	0
Julio	1	1	0	0	0
Agosto	1	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	1	0
Total	2	9	0	3	0

Episodios ocurridos por estación y mes, durante el año 2004.

Número de Episodios					
Estaciones de Monitoreo					
Mes	La Greda	Los Maitenes	Puchuncavi	Sur	Valle Alegre
Enero	0	1	0	0	0
Febrero	0	1	0	0	0
Marzo	0	1	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
Noviembre	0	1	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0
Total	0	4	0	0	0

**CUMPLIMIENTO NORMATIVA SECUNDARIA HORARIA AÑO 2004
POR ESTACIÓN Y MES.**

Enero

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	741	657	639	728	744
Entre 100 - 400	1	80	101	16	0
Entre 400 - 700	0	5	0	0	0
Entre 700 - 1000	2	1	4	0	0
Sobre 1000	0	1	0	0	0

Febrero

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	687	634	663	687	696
Entre 100 - 400	8	52	33	9	0
Entre 400 - 700	1	9	0	0	0
Entre 700 - 1000	0	0	0	0	0
Sobre 1000	0	1	0	0	0

Marzo

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	730	666	712	696	744
Entre 100 - 400	12	70	32	43	0
Entre 400 - 700	0	6	0	5	0
Entre 700 - 1000	2	1	0	0	0
Sobre 1000	0	1	0	0	0

Abril

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	689	642	647	680	719
Entre 100 - 400	30	63	72	40	1
Entre 400 - 700	1	14	1	0	0
Entre 700 - 1000	0	1	0	0	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Mayo

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	709	664	708	646	744
Entre 100 - 400	33	75	35	92	0
Entre 400 - 700	2	3	1	5	0
Entre 700 - 1000	0	2	0	1	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Junio

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	662	615	667	559	720
Entre 100 - 400	54	90	48	154	0
Entre 400 - 700	3	13	4	6	0
Entre 700 - 1000	1	2	1	1	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Julio

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	717	689	708	635	744
Entre 100 - 400	21	52	32	103	0
Entre 400 - 700	5	3	0	6	0
Entre 700 - 1000	1	0	4	0	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Agosto

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	734	710	727	722	744
Entre 100 - 400	7	33	16	22	0
Entre 400 - 700	3	1	1	0	0
Entre 700 - 1000	0	0	0	0	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Septiembre

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	702	686	719	692	720
Entre 100 - 400	16	31	1	27	0
Entre 400 - 700	2	2	0	0	0
Entre 700 - 1000	0	1	0	1	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Octubre

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	730	711	733	723	743
Entre 100 - 400	14	30	11	21	1
Entre 400 - 700	0	3	0	0	0
Entre 700 - 1000	0	0	0	0	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Noviembre

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	713	674	718	705	713
Entre 100 - 400	6	42	2	12	7
Entre 400 - 700	1	3	0	2	0
Entre 700 - 1000	0	0	0	1	0
Sobre 1000	0	1	0	0	0

Diciembre

NIVEL ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	N° de veces				
	La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V. Alegre
Bajo 100	737	646	737	725	742
Entre 100 - 400	7	87	7	19	2
Entre 400 - 700	0	11	0	0	0
Entre 700 - 1000	0	0	0	0	0
Sobre 1000	0	0	0	0	0

Número de horas año 2004 correspondiente a cada nivel, para cada una de las estaciones de monitoreo.

Nivel ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	La Greda	Maitenes	Puchuncavi	Sur	V. Alegre
Bajo 100	8.551	7.994	8.378	8.198	8.773
Entre 100 - 400	209	705	390	558	11
Entre 400 - 700	18	73	7	24	0
Entre 700 - 1000	6	8	9	4	0
Sobre 1000	0	4	0	0	0

Cumplimiento Norma Diaria:

Episodios ocurridos por estación y mes, durante el año 2001.

Número de Episodios					
Estaciones de Monitoreo					
Mes	La Greda	Los Maitenes	Puchuncavi	Sur	Valle Alegre
Febrero	0	1	0	0	0
Marzo	0	1	0	0	0
Abril	0	0	0	1	0
Agosto	0	0	0	1	0
Total	0	2	0	2	0

Cumplimiento normativa secundaria diaria año 2004 por estación.

Nivel ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	La Greda	Maitenes	Puchuncavi	Sur	V. Alegre
Bajo 100	362	351	359	353	366
Entre 100 - 250	4	14	7	13	0
Entre 250 - 365	0	1	0	0	0
Sobre 365	0	0	0	0	0

Cumplimiento Norma Anual:**Promedio Anual por estación**

		ESTACION DE MONITOREO				
		La Greda	Maitenes	Puchuncaví	Sur	V.Alegre
Norma Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	80	80	80	80	80
Prom. 2001	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	25	74	24	58	14
Prom. 2002	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	16	48	22	38	9
Prom. 2003	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	16	31	16	33	7
Prom. 2004	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	15	34	22	26	7

ANEXO VI

**CONDICIONES METEOROLOGICAS PRESENTE
DURANTE LOS EPISODIOS REGISTRADOS ENTRE LOS
AÑOS 2002-2004**

**CONDICIONES METEOROLÓGICAS PREDOMINANTES DURANTE LOS
EPISODIOS (Norma Horaria) AÑO 2002 A 2004.**

Condiciones meteorológicas durante los episodios ocurridos durante el año 2002.

Año	Fecha - Hr	Episodio ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Vel (m/s)	X (m/s)	T(°C)	X (°C)	H(%)	X (%)	R (LNY)	X (LNY)	Lluvia mm	Acum mm	Estación
2002	02/01-15:00	1.933	4,9	2,5	21	19	75	89	82	21	0	0	LM
2002	05/01-10:00	1.167	1,9	2,7	18	18	89	92	33	28	0	0	LM
2002	05/01-14:00	1.343	4,2	2,7	21	18	78	92	82	28	0	0	LM
2002	08/01-11:00	1.145	3,3	3	19	18	79	86	55	28	0	0	LM
2002	13/01-12:00	1.319	3,4	2,7	20	18	79	78	67	27	0	0,1	LM
2002	21/01-18:00	1.292	3,8	2,4	18	17	88	92	25	10	0	0	LM
2002	02/03-14:00	1.301	4,1	2,5	20	16	70	87	68	18	0	0	LM
2002	04/03-11:00	1.056	2,4	2,5	17	17	85	83	25	20	0	0	LM
2002	04/03-13:00	1.068	3,7	2,5	18	17	87	83	46	20	0	0	LM
2002	10/03-11:00	1.530	3,5	2,6	16	17	98	86	48	20	0	0	LM
2002	11/03-13:00	1.092	3,3	2,4	19	16	77	85	67	20	0	0	LM
2002	12/03-13:00	1.361	3,9	2,2	19	16	83	91	67	21	0	0	LM
2002	17/03-11:00	1.373	3,1	2,3	20	18	84	86	47	19	0	0	LM
2002	27/03-09:00	1.509	1,2	2,3	14	16	84	80	18	16	0	0	SUR
2002	26/04-10:00	1.904	1,1	2	13	13	81	80	32	16	0	0	SUR
2002	26/04-12:00	1.137	2,5	2	17	13	69	80	54	16	0	0	LM
2002	05/05-13:00	1.302	3,3	1,9	14	12	90	94	50	13	0	0	LM
2002	28/06-22:00	1.134	1,8	2,5	10	11	73	72	0	9	0	0	LG
2002	29/06-19:00	1.618	2,9	2,8	10	9	67	65	0	10	0	0	LG
2002	09/07-04:00	1.402	2	2,7	6	9	98	88	0	8	0	0,1	SUR
2002	12/07-08:00	1.015	1,4	1,6	6	10	100	85	0	11	0	0	SUR
2002	12/07-14:00	1.312	2,8	1,6	13	10	67	85	43	11	0	0	LM
2002	13/07-01:00	1.496	1,8	1,8	8	10	97	88	0	11	0	0,1	SUR
2002	13/07-08:00	1.091	1,7	1,8	6	10	97	88	0	11	0	0,1	SUR
2002	13/07-12:00	1.017	2,2	1,8	13	10	73	88	40	11	0	0,1	SUR
2002	08/08-19:00	1.111	2,4	2,3	14	13	76	56	1	14	0	0,2	LG
2002	21/08-14:01	1.020	3,4	2,1	14	11	70	86	53	15	0	0	LM
2002	05/09-20:00	1.227	2,7	3,4	12	13	68	75	0	18	0	1,8	LG
2002	28/09-13:00	1.582	3,9	2,2	17	12	61	82	69	22	0	0	LM
2002	30/09-14:00	1.247	4	2,3	1,7	12	52	77	70	22	0	0,1	LM
2002	01/10-15:00	1.372	4,8	2,8	15	12	70	87	63	12	0	0	LM
2002	22/12-10:00	1.200	2,6	3,1	15	15	82	80	22	18	0	0	LM

Condiciones meteorológicas durante los episodios ocurridos durante el año 2003.

Año	Fecha - Hr	Valor Episodio	Vel (m/s)	X (m/s)	T(°C)	X (°C)	H(%)	Prom (%)	R (w/m ²)	X (w/m ²)	Lluvia mm	Acum mm	Estación
2003	09/01-12:00	1.386	4,1	3	18	17	75	85	61	25	0	0	LM
2003	29/01-11:00	1.299	3,6	2,8	19	17	66	74	60	24	0	0	LM
2003	29/01-12:00	1.053	4,3	2,8	20	17	56	74	71	24	0	0	LM
2003	15/03-14:00	1.154	4,1	2,7	18	15	70	86	71	22	0	0	LM
2003	05/04-10:00	1.178	2,8	2,4	14	13	76	80	535	209	0	0	LM
2003	09/04-06:00	1.250	1	2,2	9	12	99	94	0	121	0	0	SUR
2003	09/04-11:00	1.674	4,2	2,2	13	12	90	94	465	121	0	0	LM
2003	09/05-14:00	1.377	2,6	1,6	13	11	84	90	167	50	0	0	LM
2003	09/05-15:00	1.193	2,1	1,6	14	11	81	90	125	50	0	0	LM
2003	16/05-08:00	1.176	2,1	2,4	6	9	100	82	8	142	0,1	0,1	SUR
2003	19/07-17:00	1.077	2,7	2,6	13	12	80	93	254	136	0	0,1	LM
2003	20/07-19:00	1.023	2,7	2	12	14	73	75	3	105	0	0,2	LG
2003	20/08-19:00	1.016	2,8	2,3	13	13	62	80	5	85	0	0,1	LG
2003	09/12-09:00	1.186	1,4	3	13	15	75	72	272	317	0	0	SUR

Condiciones meteorológicas durante los episodios ocurridos durante el año 2004.

Año	Fecha - Hr	Valor Episodio	Vel (m/s)	X (m/s)	T(°C)	X (°C)	H(%)	X (%)	R (w/m ²)	X (w/m ²)	Lluvia mm	Acum mm	Estación
2004	17/01-14:00	4.968	4	2,8	19	17	82	79	792	271	0	0	LM
2004	28/02-12:00	1.054	3,6	2,8	18	17	82	81	533	240	0	0	LM
2004	23/03-16:00	1.121	3,4	2,2	17	16	84	85	513	141	0	0	LM
2004	30/11-13:00	4.096	4,3	2,7	16	15	89	90	671	184	0	0	LM

Hr = Hora

Vel = Velocidad del viento

X = Promedio

T = Temperatura

H = Humedad relativa del aire

Acum. = Lluvia acumulada

ANEXO VII

**ANALISIS ANATOMICO FOLIAR Y DE
ULTRAESTRUCTURA**

C.- CESTRUM PALQUI (Palqui)-

Arbusto de 1 a 3 m de alto, ramoso, con ramas frágiles. Hojas aovado lanceoladas, glabras de 4 a 14 cm, de mal olor. Flores tubuladas amarillo-violáceas en racimos axilares o terminales. Fruto una baya negra.

C.1. Morfología foliar.-

Hojas lanceoladas, glabras, enteras, agudas, atenuadas en la base, limbo de 4 a 14 cm de longitud. Arbusto de olor muy fuerte. En algunos individuos se ha observado clorosis, tal como los ejemplares de las fotos. En esta especie es frecuente la pérdida de hojas hacia los meses de octubre a enero, lo que podría deberse a un fenómeno de estrés hídrico frecuente en otras especies del matorral costero de la zona central. Las fotos de página anterior corresponden a un detalle de hoja de palqui con evidente clorosis y la del extremo derecho a una planta de palqui con numerosas hojas cloróticas.

La clorosis, al parecer, es un fenómeno frecuente en la especie, toda vez que se ha observado el fenómeno en individuos de diversas localidades, con o sin actividad industrial próxima (e.g. Jardín Botánico, Rodelillo, Parque Nacional La Campana). En consecuencia, la hipótesis de la contaminación, para este caso en particular, requiere del diseño de experimentos bajo condiciones controladas de laboratorio.



Hoja de Plaqui - Maitenes

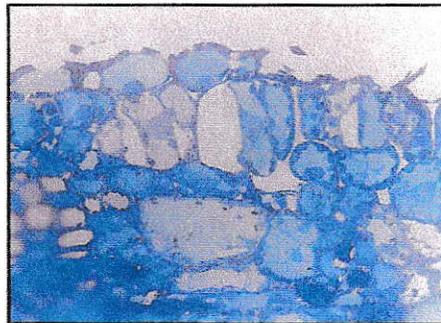


Palqui Maitenes

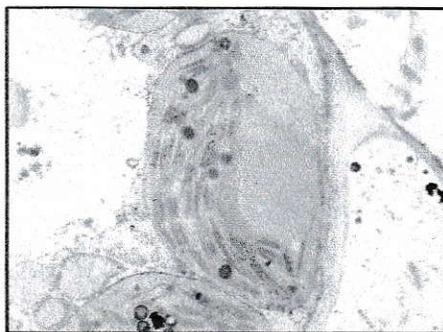
C.2. Anatomía foliar:

Epidermis superior mono estratificada con una cutícula gruesa, con ceras epicuticulares desarrolladas, dándole un aspecto irregular. En ejemplares observados en el Jardín Botánico, la cutícula aparece más delgada y sin ceras desarrolladas.

El mesófilo con parénquima en empalizada y parénquima esponjoso, con cloroplastos marginales; en los ejemplares estudiados en Maitenes el parénquima en empalizada aparece con espacios entre sus células alargadas.



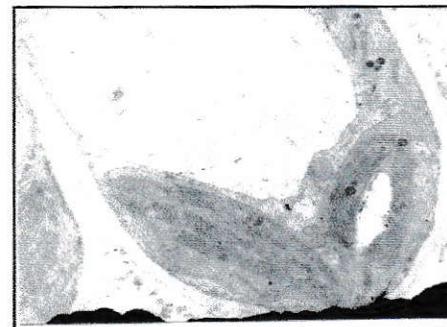
Anatomía foliar de Palqui. 450 x



Cloroplasto de Palqui 13.000x

C.3. Análisis de la ultraestructura del palqui en Los Maitenes.

Los cloroplastos en estas células son alargados, con estroma nítido, tilacoides bien formados y granas muy notables. Su envoltura, a pesar que limita bien al cloroplasto, en algunos de ellos se observa un poco difusa. Es curioso que, en algunos casos, estos cloroplastos presentan gran parte del estroma vacío, quedando las estructuras laminares retraídas. Entre ellas se presentan grandes gránulos de almidón y varios glóbulos que se han descrito como de lípidos; ahora bien, los plastidios seniles o dañados contienen a menudo gotas de lípidos, los llamados plastiglóbulos (Strasburger, 1990).



Micrografías Aumento 13.000 x

C.4. Muestras control.

Las mismas características se observan en los individuos del Jardín Botánico, sector control donde tanto los cloroplastos como sus inclusiones presentan características similares.

D.- TYPHA ANGUSTIFOLIA (Totora)

Planta palustre herbácea, perenne y rizomatosa con tallos cilíndricos que llegan a alcanzar hasta 3 m de altura.

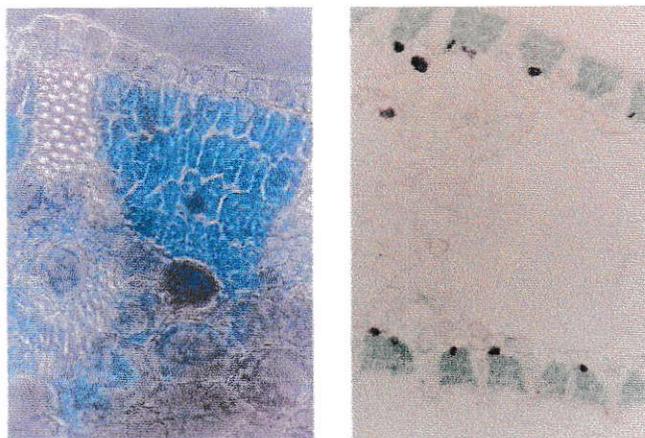
D.1. Morfología foliar

Hojas envainadoras concentradas en la base de la planta, lanceoladas muy largas, fibrosas, que quedan parcialmente sumergidas. Flores unisexuales en un espádice cilíndrico que aparece interrumpido en dos porciones, la inferior con flores femeninas y la superior con masculinas. Frutos aquenios diseminados por el viento.

D.2. Anatomía foliar

Hoja unifacial, en que no se distingue cara superior e inferior. Epidermis monoestratificada de células cuadrangulares con cutículas de delgada. El mesófilo está constituido por fascículos de parénquima asimilador en empalizada hacia la epidermis con cuatro estratos celulares, y parénquima aerífero hacia el interior.

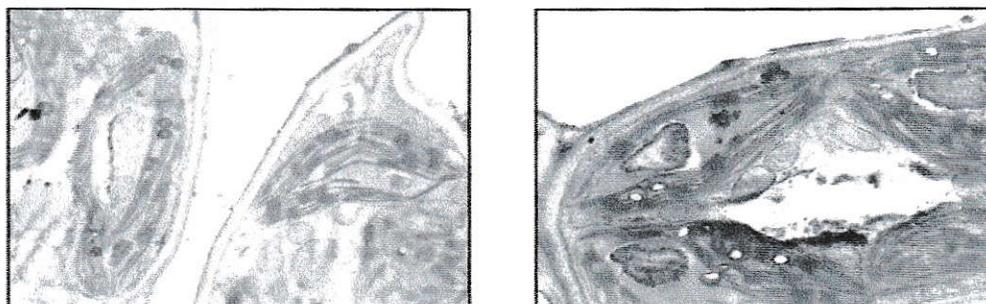
Entre cada fascículo de clorénquima aparece una vaina esclerenquimática, lo que le da el aspecto fibroso a las hojas. Sobre ésta aparecen células en forma de tonel en la epidermis. Entre las dos caras, se distribuye un aerénquima, parénquima con grandes meatos por los que circula aire, esto favorece la sobrevivencia de la planta a su ambiente palustre.



Parénquima y vaina en hoja de Totora

D.3. Análisis de la ultraestructura de la totora en el Humedal de Campiche.

En las células del clorénquima aparecen gran cantidad de cloroplastos en forma marginal, alargados, su envoltura los define claramente, con un estroma poco teñido con tilacoides y granas normales; aparecen algunos gránulos de almidón y pocas gotas de lípido.

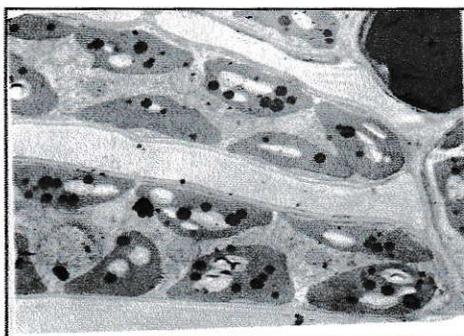


Cloroplastos alargados de totora

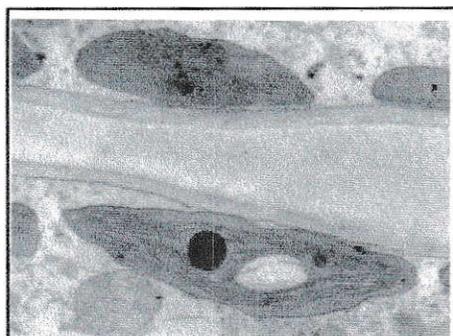
D.4. Muestras control.

En las micrografías tomadas en el sector control, Jardín Botánico, se aprecian cloroplastos del clorénquima de forma alargada, de disposición parietal y con gran cantidad de gránulos de almidón y una cantidad también considerable de plastiglóbulos diferenciándose claramente de las muestras del sector experimental en cuanto a la forma de cloroplastos y número de inclusiones.

Esta planta por ser una planta palustre, que vive semisumergida en agua, la absorción del N y S es diferente al de las plantas terrestres, en consecuencia podría haber alguna relación entre la deposición de azufre atmosférico y el impacto en la estructura de la planta, pero se requiere de un estudio bajo condiciones controladas de laboratorio, con el objeto de poder profundizar en el tema.



Células alargadas de totora
6.500x



Detalle de Cloroplasto 22.500x

E.- GALEGA OFFICINALIS (Galega)-

Hierba perenne, rastrera que vive en suelos pantanosos, con hojas compuestas de hasta 15 cm, con folíolos elípticos. Flores papilionadas de color azul-celeste, en espigas que se disponen por encima de las hojas. Fruto una legumbre.

E.1. Morfología foliar

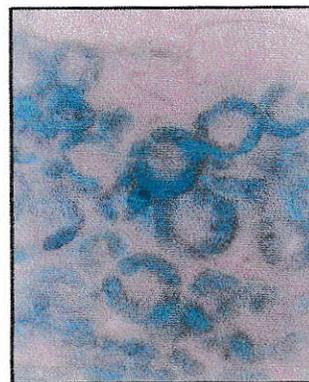
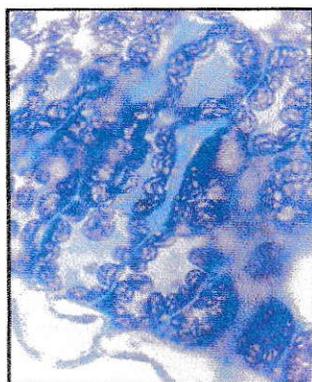
Hojas compuestas imparipinnadas, de 5 a 18 cm de longitud, folíolos 13-25 elípticos, enteros, mucronados de hasta 3 cm. Estípulas largamente triangulares.



Planta de Galega

E.2. Anatomía foliar

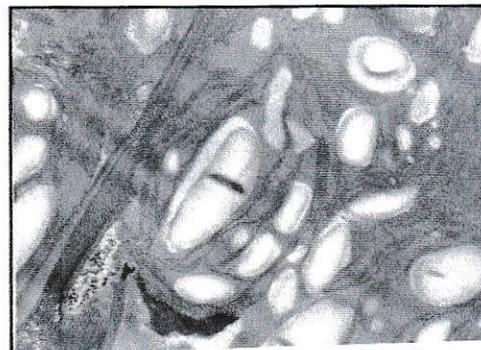
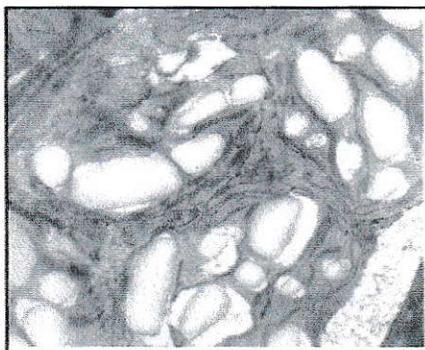
Epidermis con células ovaladas grandes, con cutícula delgada. Parénquima en empalizada de 3 estratos, con células no tan rectangulares, más bien ovaladas, con grandes cloroplastos marginales. Parénquima clorofiliano inferior, esponjoso de células casi redondeadas con pocos meatos; cámara subestomática grande. Epidermis inferior con células grandes y con estomas.



Clorénquima en Galega

E.3. Análisis de la ultraestructura de la galega en el Humedal de Campiche.

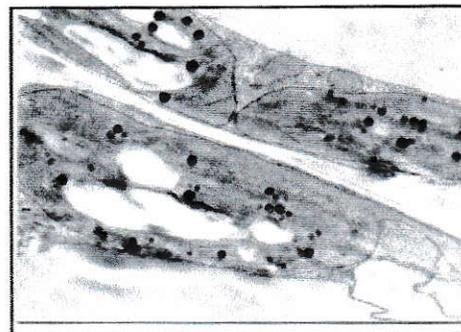
Los cloroplastos son muy grandes ocupando casi toda la célula, pero siempre en posición marginal, su envoltura no es clara, y no se aprecia la discontinuidad entre un cloroplasto y otro. En la foto de la derecha (Fig. 32), se observa una ruptura en la envoltura y el comienzo de una desorganización de los tilacoides y granas, en el resto del cloroplasto se ven granas y tilacoides muy bien formadas y con grandes gránulos de almidón. Esto puede deberse a que se está produciendo el paso de cloroplasto a leucoplasto, esto es un plastidio con sólo reserva de almidón y que no cumple función asimiladora del carbono.



Cloroplastos con grandes gránulos de almidón

E.4. Muestras control.

En estas fotografías se pueden observar a los cloroplastos con paredes bien limitadas, en posición marginal con gránulos de almidón y estructuración de tilacoides y granas.



Micrografías de Galega, colectadas en el Jardín Botánico. 18500X

F.- MYRCEUGENIA EXSUCCA (Petra)

Árbol de hasta 10 m de alto, frondoso y a veces tortuoso que habita en lugares pantanosos. Flores blancas, masculinas y femeninas solitarias o en cimas axilares. Fruto una baya negra.

F.1. Morfología foliar.-

Hojas oblongas, grande de 3 a 5 cm, duras, con la cara superior oscura y la inferior mas clara. Nervio medio prominente en la cara inferior. Las hojas de sol son más pequeñas y amarillentas que las de sombra. Además sus márgenes están doblados. Las hojas en el bosque "Las Petras de Quintero", tienen estas características y no aparecen dañadas.



Hoja de petra en el bosque de Quintero. Sin evidenciar injurias

F.2. Anatomía foliar

Epidermis superior mono estratificada con células cuadrangulares con cutícula gruesa. Parénquima en empalizada denso de tres a cuatro estratos de células rectangulares alargadas. En el parénquima en empalizada se observan cistolitos con cristales grandes.

Bajo este parénquima hay un parénquima clorofiliano intermedio con varios estratos de células más cortas, con cloroplastos parietales, con pocos espacios intercelulares. Mas abajo hay un parénquima esponjoso desarrollado, con meatos grandes, terminado en uno o dos estratos de células más pequeñas, paralelas a la epidermis inferior, en la que se encuentran las cámaras estomáticas. Epidermis inferior con células pequeñas y redondeadas.



Parénquima con cloroplastos muy alargados.
1000 x

F.3. Análisis de la ultraestructura de la petra en el Bosque Las Petras.

Las células del clorénquima tienen cloroplastos marginales grandes.

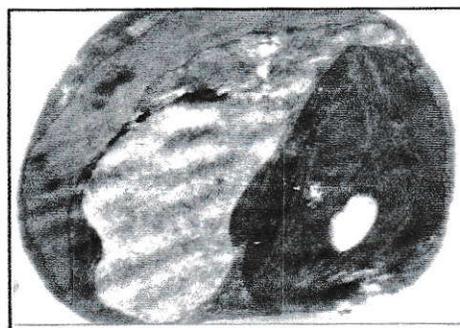
Los cloroplastos son muy alargados, ubicados en los márgenes de la célula, por el tamaño de éstos hay pocos en cada célula. Su estructura es normal, en que se observan algunos gránulos de almidón en uno de ellos.



Micrografía de cloroplastos de petra del bosque Las Petras. 15.000X

F.4. Muestras control.

En los ejemplares colectados en el Jardín Botánico, se observan cloroplastos con las mismas características que los cloroplastos de los individuos de Quintero, muy alargados, ocupando gran parte de la célula, con pocos gránulos de almidón y estructura normal. No se aprecian daños en ellos.



Micrografía de cloroplastos de Petra del Jardín Botánico. 22.500X

G.- DRIMYS WINTERI (Canelo)

Árbol de hasta 15 m de altura, que vive en lugares anegados o de alta humedad. Flores blancas dispuestas en umbelas de pocas flores. Fruto una baya negra.

G.1. Morfología foliar

Hojas simples, enteras, punteado-glandulosas, oblongo-lanceoladas, bicolor, la cara superior de color verde claro y la inferior blanco azulado. Las hojas en el bosque "Las Petras de Quintero", no aparecen dañadas.



Hoja de canelo en el Bosque
Las Petras de
Quintero

G.2. Anatomía foliar

Epidermis superior mono estratificada de células ovaladas con cutícula delgada. Parénquima en empalizada con tres o más estratos, con algunas cavidades lisígenas oleíferas. Parénquima esponjoso con meatos pequeños. Células del clorénquima con cloroplastos marginales. Epidermis inferior con células grandes, ovaladas.



Epidermis y parénquima
en hoja de
canelo

