

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS
INSTITUTO DE MEDICINA PREVENTIVA

**GRADO DE EXPOSICIÓN A LOS GASES TRS, SO₂, NO_x Y MP10 EN LOS
SECTORES CIRCUNDANTES A LAS TRES ESTACIONES DE MONITOREO DE LA
PLANTA CELULOSA ARAUCO, 2005 – 2006.**

Memoria de Título presentada como parte
de los requisitos para optar al TÍTULO
DE MÉDICO VETERINARIO.

EDUARDO ALBERTO DONOSO SALINAS
VALDIVIA – CHILE

2008

PROFESOR PATROCINANTE

Dr. Rafael Tamayo C.

PROFESOR COLABORADOR

Dr. Guillermo Ramírez

PROFESORES CALIFICADORES

Dr. Fernando Wittwer M

Dra. María Angélica Hidalgo G.

FECHA DE APROBACIÓN

24/10/2008

*A mis padres y
hermanos, ejemplo constante de
superación y esfuerzo, y la mujer
que logró sacar lo mejor de mí y
me enseñó a ver las cosas con
esperanza.*

INDICE

Capítulo	Página
1. RESUMEN	1
2. SUMMARY	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. MATERIAL Y MÉTODOS	14
5. RESULTADOS	18
6. DISCUSIÓN	32
7. BIBLIOGRAFÍA	35
8. ANEXOS	40
9. AGRADECIMIENTOS	62

1. RESUMEN

Con el objetivo de determinar el grado de exposición a los gases TRS, SO₂, NO_x y MP10 producidos por la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia en los sectores aledaños a las tres estaciones de monitoreo, se recolectó y analizó la información de mediciones atmosféricas, entregadas en el informe de monitoreo ambiental de la misma empresa, realizadas en el período comprendido entre el 7 de mayo del 2005 al 30 de septiembre del 2006. De esta manera, determinar la existencia de una diferencia significativa entre las tres estaciones de monitoreo, en relación a lo emitido por la empresa, en base al prueba estadística ANOVA, siendo los resultados graficados y relacionados con los datos meteorológicos del mismo período.

Los principales resultados indican que las concentraciones de los gases fueron muy variables en las estaciones de monitoreo durante el periodo en estudio, encontrando en el caso de los gases TRS una mediana de 0,17 g/m³N la mas baja (en Julio 2005) y 4,71 g/m³N la mas alta (en Mayo 2006). En el caso de los gases SO₂ 0,02 g/m³N la mas baja (en Mayo 2005) y 9,4 g/m³N la mas alta (en Enero 2006). Para los gases NO_x 4,3 g/m³N la más baja (en Julio 2005) y 50,8 g/m³N la más alta (en Mayo 2006). Y para el MP 6,0 g/m³N la más baja (en Julio 2005) y 25,3 g/m³N la más baja (en Febrero 2006).

Al analizar los datos existentes en los informes, se determinó que el grado de contaminación atmosférica en cada sector dependió de la dirección del viento (principalmente), ya que se comprobó estadísticamente que las concentraciones aumentaron en el sector hacia donde se dirigió éste.

De este estudio se puede concluir que los sectores aledaños a la estación de monitoreo que presenta las concentraciones más altas de TRS, SO₂, NO_x y MP10 y, a su vez, cuando los vientos se desplacen en dirección al sector donde se encuentre aquella estación, presentará la mayor exposición a los cuatro gases en estudio. Además el grado de exposición a los agentes contaminantes varía según el periodo del año, aumentando en los períodos de mayor calor (trimestre octubre-noviembre-diciembre 2005 y trimestre enero-febrero-marzo 2006). Por otro lado se puede sugerir que las zonas agrícolas ubicadas en dirección suroeste, independiente del periodo del año, presentarán el menor grado de exposición.

Palabras claves: contaminación atmosférica, industria maderera, celulosa, gases, PM, NO_x, TRS, SO₂

2. SUMMARY

DEGREE OF EXPOSURE TO THE BASIS TRS, SO₂, NO_x AND MP10 IN THE SECTORS AROUND TO THREE STATIONS OF MONITORING OF THE CELLULOSE ARAUCO PLANT, 2005 – 2006.

In order to determine the degree of exposure to the basis TRS, SO₂, NO_x and MP10 produced by the company Cellulose Arauco S.A. and Constitution Valdivia plant in the bordering sectors to three stations of monitoring, was collected and analyzed the information of atmospheric measurements from atmospheric measurements, delivered the report on environmental monitoring of the same company, realized in the period included between May 7 of 2005 to September 30 of 2006. This way, to determine the existence of a significant difference between three stations of monitoring, in relation to the expressed emitted for the company, on the basis of the statistical test ANOVA, being the results were taken to a graph and related to the meteorological information of the same period.

The main findings indicate that the concentrations of basis were highly variable in the monitoring stations during the study period, finding in the case of basis TRS a median 0.17 g/m³N the lowest (in July 2005) and 4.71 g/m³N the highest (in May 2006). In the case of basis SO₂ 0.02 g/m³N the lowest (in May 2005) and 9.4 g/m³N the highest (in January 2006). For basis NO_x 4.3 g/m³N the lowest (in July 2005) and 50.8 g/m³N the highest (in May 2006). And for the MP 6.0 g/m³N the lowest (in July 2005), 25.3 g/m³N the lowest (in February 2006).

On having analyzed the existing information in the reports, it was determinate that the degree of atmospheric pollution in every sector it will depend of the wind direction (principally) because I check statistically that the concentrations go up in the sector where this to go the wind.

Of this study it is possible to conclude that areas near the monitoring station that presents the highest concentrations of TRS, SO₂, NO_x y MP10, and at the same time, the winds are going to move sector that holds that station would have the greatest exposure to the four gases in the study. In addition the degree of exhibition to the pollutants agents different according to the period of the year, increasing in the periods of major heat (quarter october-november-december of 2005 and quarter January-febrrery-march of 2006). On the other hand it is possible to say that the agricultural zones located in directions southwest would present the minor degree of exhibition.

Key words: atmospheric pollution, timber industry, cellulose, basis, PM, NO_x, TRS, SO₂.

3. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye un problema en el ambiente, por cuanto la acción antrópica genera un efecto sobre un componente ambiental; el aire, y el deterioro de éste afecta la supervivencia y calidad de vida del hombre y de la vegetación en general (Peña y Henríquez, 2002).

La contaminación atmosférica constituye uno de los principales problemas ambientales de Chile, en especial en la zona centro sur y sus efectos en la salud se reconocen parcialmente ya que aun no existen suficientes estudios en nuestro país (Barrios y col, 2004).

En lo que se refiere a lugares de origen de la contaminación las fuentes de emisión más importantes son: los transportes, la producción de energía eléctrica, la incineración de residuos, el consumo de combustibles industriales y domésticos y los procesos industriales (Seinfeld, 1988).

Las emisiones en la atmósfera pueden fomentar los efectos que la contaminación del aire tiene en la población, no sólo indirectamente debido al impacto en el fenómeno climático sino que directamente en la salud de la población (Ballester, 2005). Es por esto que la vigilancia y el control de la contaminación son factores imprescindibles para que la acción medio ambiental de cualquier actividad industrial o empresarial sea correcta en cualquiera de sus etapas (Seoanez, 1998).

En el ámbito industrial la contaminación que este sector presenta es muy diferente a la que otras fuentes generan e incluso, los distintos sectores industriales presentan una contribución desigual y de distintas características, en función de los procesos, tipo de combustible y materias primas, que se utilizan en cada uno de ellos (Kiely, 1999).

Las actividades industriales que de un modo u otro contaminan la atmósfera son muchas, y el análisis de los contaminantes emitidos por cada uno de los procesos industriales es extraordinariamente complejo (Seoanez, 1998), esto sumado a posturas irreconciliables hasta finales de los años 80 sobre el trabajo medio ambiental ha hecho que en los últimos años se haya estimulado la creación de empresas y actividades directamente relacionadas con la protección del medio ambiente y la generación de informes anuales de impacto ambiental (Peña y Henríquez, 2002).

En el momento actual, las empresas no solo se enfrentan a problemas económicos de todo tipo y a todos los niveles, con una lucha intensa de competencias y de captación de mercados, sino que además la industria se enfrenta al hecho de tener que hacer realidad los buenos deseos medio ambientales producto de las presiones de la administración gubernamental y de la opinión pública (Seoanez, 1998).

La industria maderera no está ajena a toda esta realidad, siendo en su caso la contaminación atmosférica la que afecta principalmente a la población de las zonas que rodean las plantas productivas (López y Sánchez, 1995).

3.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la tierra y constituye el principal modo de defensa de las diferentes formas de vida contra las radiaciones que provienen del espacio exterior, principalmente del sol. El espesor de la atmósfera alcanza aproximadamente unos 200 kilómetros, y se puede dividir, en función de sus propiedades térmicas (Kiely, 1999). Está compuesta de gases y de partículas sólidas y líquidas en suspensión, atraídas por la gravedad terrestre. En ella se producen todos los fenómenos climáticos y meteorológicos que afectan al planeta. Regula la entrada y salida de energía de la tierra y es el principal medio de transferencia del calor (Cuadrat, 1997).

La contaminación de la capa gaseosa de la tierra, más conocida como contaminación atmosférica, se puede definir como: “la impurificación del aire por la inyección y permanencia temporal en él, de materias gaseosas, líquidas o sólidas, ajenas a la composición normal o en proporción superior a la habitual” (Patier, 1997). Por otra parte, también se conoce como: “la presencia en la atmósfera de sustancias introducidas por las actividades humanas en concentraciones suficientes para interferir directa o indirectamente en el confort, seguridad, salud, y en el pleno uso y disfrute de la propiedad de las personas” (Smook, 1990).

Los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en: naturales (procedentes de erupciones volcánicas, tormentas, procesos biológicos) y artificiales (derivados de actividades antropogénicas, estos últimos, son actualmente las más importantes, debido a su elevada emisión en zonas urbanas e industriales). También es posible clasificarlos según su naturaleza en: bióticos (constituidos por materia viva) y abióticos (formados por materia inanimada). En el caso de la contaminación abiótica esta se puede subdividir en física o química (CONAMA, 1997).

Cuando los gases o partículas son emitidos a la atmósfera, resulta casi imposible predecir su evolución dentro de la misma. Esto es debido a los complejos factores que gobiernan su ruta subsiguiente (Clement y Kagel, 1990). La capacidad del aire para dispersar una emisión dependerá de muchos factores, incluyendo la calidad del aire ambiental y la densidad de la emisión (Kiely, 1999).

En general, la contaminación ambiental se tolera con facilidad y se vuelve intolerable sólo en las raras ocasiones en que el viento se calma por completo y no actúan los procesos de dispersión vertical al producirse una inversión de la temperatura (Strauss, 1990). En cualquier zona, el grado de contaminación que están expuestos los habitantes responde a la relación entre el índice de emisión de contaminantes y el ritmo al cual esos contaminantes son arrastrados por el viento o dispersados en las capas superiores de la atmósfera (Spelter, 1992).

La medición de los agentes contaminantes es sin lugar a duda un trabajo importantísimo en lo que se refiere a la protección ambiental. Para esto el poder realizar mediciones efectivas es de vital importancia. Para facilitar que las mediciones de emisiones de contaminantes y/o de la velocidad de flujo volumétrico total de una fuente estacionaria sean representativas, se debe seleccionar un punto de muestreo donde la corriente del efluente fluya hacia una dirección conocida, y el área transversal de la chimenea se divida en un número de áreas iguales. Y se localiza un punto transversal dentro de cada una de estas áreas iguales (Ministerio de Salud, 1997).

Existe una tendencia a establecer normas nacionales sobre las emisiones al medio ambiente e incluso, normas regionales basadas en las normas de calidad del aire y en el estudio de los procesos y equipos de producción en cada zona geográfica (OMS, 2005). Por lo general se recomienda el elaborar dos clases de normas de calidad del aire; unas referentes a las concentraciones de contaminantes a que se quiere llegar en un futuro próximo, y las otras que abarquen las metas que se desean alcanzar en lo que concierne en la calidad del aire (OMS, 2005).

La regulación respecto de emisiones a la atmósfera en nuestro país están especificadas en la resolución N° 1.215 del Ministerio de Salud (1978) y al Decreto Supremo N° 185 del Ministerio de Minería (1992).

Hoy en día el problema de la contaminación atmosférica no solo es un aspecto de interés en el plano ecológico, sino que también se trata de un elemento cada vez más importante en la planeación económica. A través de un modelo económico que incorpora factores ambientales es posible considerar la contaminación de una manera explícita y racional en los procesos de planeación económica y en el diseño de políticas y programas que permitan regularla. La introducción de enlaces de los contaminantes y aspectos económicos de la producción permite la consideración de implicaciones de la demanda por protección ambiental (Guajardo y Arrambiede, 2002).

3.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA

En una industria de la celulosa las principales fuentes de emisión son el horno de cal, caldera recuperadora y en menor medida el estanque disolvedor de la caldera de poder. Específicamente, la contaminación atmosférica se origina, entre otros, por los procesos de combustión de óxidos de nitrógeno, la emisión de gases de azufre reducidos, principalmente a partir del proceso kraft y por la recuperación de licores, lo que se traduce en malos olores, emisión de componentes orgánicos volátiles, partículas sólidas en suspensión y otros contaminantes (Knigh, 1994).

El principal compuesto gaseoso que se produce en la caldera recuperadora es el dióxido de azufre (SO₂). Para reducir su emisión se opera con licor negro a elevada concentración, lo cual aumenta la temperatura de combustión en la caldera. En estas condiciones, el sodio en fase gas reacciona con el dióxido de azufre en presencia de oxígeno,

produciendo sulfato de sodio (Na_2SO_4) y por lo tanto, disminuyendo la generación de SO_2 (Schlegel, 1996).

La caldera recuperadora emite además, material particulado (principalmente Na_2SO_4), óxidos de nitrógeno (NO_x) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). En la actualidad se han incorporado una serie de mejoras y equipos auxiliares en las calderas recuperadoras con el objeto de reducir sustancialmente estas emisiones. Se han adicionado lavadores (depuradores) de gases, que retiran el remanente de SO_2 y parte del material particulado. El SO_2 reacciona con el licor de lavado formando Na_2SO_3 y algo de Na_2SO_4 en solución, la cual es reciclada en el proceso para la preparación del licor blanco (Schlegel, 1996).

Las principales emisiones aéreas de un horno de cal son el dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y gases de azufre totales reducidos (TRS), además de material particulado (MP) (Young, 1991).

En las industrias de la celulosa, la contaminación por malos olores es generalmente más importante que la debida a las emisiones gaseosas. En algunas de las fases del procesado de la madera aparecen contaminantes como en el cocido y lavado donde se emiten cenizas y SO_2 en las pastas al bisulfito y SH_2 , mercaptanos y SO_2 en la producción de papel Kraft. También en los digestores se producen metil – mercaptanos, sulfuro de metilo, etc., y en los evaporadores ácido sulfhídrico y diversos compuestos orgánicos. (Caponetto, 2006).

Para reducir la contaminación atmosférica, se puede instalar en la fuente de contaminación un equipo para absorber los componentes nocivos o desagradables de los gases de chimenea. También se puede emplear chimeneas altas para disminuir la contaminación local. Lo mejor es modificar en la misma fuente el proceso de fabricación de tal modo que no se produzcan emisiones desagradables o nocivas (OMS, 2005).

3.3. LAS EMISIONES DE TRS

Los Gases TRS cuyo nombre proviene del término en inglés “Total Reduced Sulfur”, agrupa un conjunto de compuestos que se generan en el proceso de producción de celulosa, los más importantes son el sulfuro de hidrógeno (H_2S), los mercaptanos (CH_3SH), el dimetil-sulfito (CH_3SCH_3) y el dimetil disulfuro (CH_3SSCH_3). También se les conoce como gases malolientes, ya que el olfato humano es capaz de detectarlos aún en concentraciones tan bajas como $1\mu\text{g/l}$. (esto es, 10^{-6} g/l). En particular, el umbral de percepción del H_2S es de 0,0047 partes por millón (ppm), esto es 0,0047 miligramos por kilo de solución (Marrero, 1981).

Los gases TRS son los responsables del olor característico en las inmediaciones de una fábrica de celulosa. Químicamente contienen azufre. Se generan en el proceso de cocción de la madera y la norma persigue controlar su emisión desde el proceso (Baos y Vergara, 1991).

Se trata de compuestos altamente tóxicos para el ser humano y las industrias que los generan, como la industria refinadora de petróleo, los hornos de coke y la industria de la

celulosa han incorporado sistemas que depuran sus emisiones gaseosas, recuperando el azufre elemental de estos compuestos. Es interesante señalar que en particular, dado que el H_2S se produce en forma natural en el ambiente y en los intestinos del ser humano, nuestro cuerpo dispone de enzimas que oxidan este compuesto, neutralizando su toxicidad y transformándolo en sulfatos. En consecuencia, la exposición a bajos niveles de este compuesto no tiene efectos en la salud humana (Doménech, 1997).

La emisión de gases sulfurados (TRS), principalmente sulfuro de hidrógeno (H_2S), desde el horno de cal es relativamente baja. El principal responsable de su generación es la presencia de sulfuro de sodio (Na_2S) en los lodos de alimentación, el cual reacciona con el SO_2 y el vapor de agua (Cabrera y Parra, 1999).

Estos compuestos se generan en varios equipos de la planta, por lo tanto ellos deben ser recolectados, lavados para retirar las sustancias sulfuradas y otras que tienen valor para su uso en la misma planta, y finalmente incinerados, ya sea en la caldera recuperadora, el horno de cal u otra unidad de quemado especializada (Campos, 1998).

Existe una regulación la cual establece norma de emisión para olores molestos (compuestos sulfuro de hidrógeno y mercaptanos: gases TRS) asociados a la fabricación de pulpa sulfatada, ésta corresponde al Decreto Supremo N° 167 de 1999, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. D.O. 01.04.2000.

3.4. LAS EMISIONES DE NO_x

El NO_x es un término genérico (óxidos de nitrógenos) que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos (tales como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2)) que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones (Bridgman, 1990).

Los NO_x se producen durante el quemado de combustibles fósiles: gasolina, carbón, madera y gas natural. Ocasionalmente ocasionan importantes efectos sobre la salud y el medio ambiente. El NO y NO_2 pueden producir niebla, que provoca enfermedades en pulmones y bronquios (Martín y col, 1979). Estos gases conforman una de las especies más contaminantes de la atmósfera. En la presencia de la luz del sol, los óxidos de nitrógeno pueden reaccionar con los hidrocarburos para formar ozono a nivel del suelo. Además, los NO_x junto con el dióxido de azufre reaccionan con otras especies en el aire tal como el agua para formar la lluvia ácida (Estrada y col, 2005).

Estos gases reaccionan con el ozono (O_3) de la atmósfera y por lo tanto están relacionados con la destrucción de la capa de ozono. Tanto el NO como el NO_2 reaccionan con el vapor de agua de la atmósfera formando ácido nítrico (HNO_3), contribuyendo al fenómeno de la lluvia ácida, que daña los árboles, acidifica los lagos y el suelo, además de su efecto corrosivo. El NO_2 por su parte, ha sido identificado como uno de los principales gases que contribuyen al efecto invernadero (Doménech, 1997).

En la industria maderera, la formación de NO_x es en la caldera recuperadora y está principalmente influenciada por el contenido de nitrógeno en el licor negro y por un exceso de oxígeno en la combustión. Para lograr una eficiente recuperación de los productos químicos, esta caldera opera con bajas concentraciones de oxígeno y en consecuencia, las emisiones de NO_x son muy bajas. Ellas son reducidas aún más en las calderas modernas, que disponen de sistemas de alimentación de aire modificados y que optimizan las condiciones de combustión con la ayuda de sistemas de control computarizado (CORMA, 1991). La emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) se evita con la instalación de quemadores especiales en el horno de cal (Sapaj, 1998)

El principal proceso responsable de la eliminación de NO_x de la atmósfera conlleva la conversión de los óxidos en ácido nítrico (HNO_3). El HNO_3 es después eliminado de la atmósfera en forma de nitratos con la lluvia o el polvo (Patrick, 1994).

Existe una regulación en nuestro país la cual establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO_2), ésta corresponde al Decreto Supremo N° 114 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República D.O. 6.03.2003.

3.5. LAS EMISIONES DE SO_x

El óxido de Azufre (SO_x) es un gas incoloro procedente en gran proporción de los procesos de combustión (CORFO, 1988). Los principales focos emisores de SO_x son los quemadores industriales, las industrias petroquímicas, las industrias derivadas del petróleo y las industrias productoras de ácido sulfúrico (López y Sánchez, 1995).

Se produce en forma natural en las erupciones volcánicas. Los procesos industriales que queman carbón o petróleo son grandes generadores de este gas y al igual que las plantas de celulosa han debido realizar importantes transformaciones para cumplir con estrictas normas de emisiones. Estos gases reaccionan con el vapor de agua y el oxígeno de la atmósfera, formando ácido sulfúrico (H_2SO_4), contribuyendo en consecuencia al fenómeno de la lluvia ácida (Doménech, 1997).

Los óxidos de azufre son gases incoloros que se forman al quemar azufre. El dióxido de azufre (SO_2) es el contaminante criterio que indica la concentración de óxidos de azufre en el aire. Se ha denominado al dióxido de azufre como un contaminante que “pasa a través de” porque la cantidad de dióxido de azufre emitido al aire es casi la misma cantidad presente en el combustible en donde se encuentra (Huggett, 1997).

La emisión gaseosa predominante de azufre se encuentra en la forma de dióxido de azufre con pequeñas cantidades de trióxido de azufre. El impacto negativo se produce sobre todo en personas y plantas. En ambientes con unos niveles de aproximadamente 25 mg/m^3 durante exposiciones de 10 min. se perjudica el funcionamiento de los bronquios. El crecimiento de la masa forestal se inhibe a niveles tan bajos como 50 g/m^3 (Kiely, 1999).

En la industria maderera, el dióxido de azufre se genera en el horno de cal principalmente por el azufre contenido en el combustible empleado para calentar el horno. Los lodos que alimentan el horno hacen un aporte marginal en contenido de azufre, ya que ellos son previamente lavados con sistemas de clarificadores o filtros de prensas para recuperar la mayor parte de los compuestos que contienen azufre, los cuales son reutilizados en el proceso (Sanhueza, 1996).

Por esta razón, los lodos son lavados y filtrados previo a su ingreso al horno de cal con el propósito de extraerles el sulfuro de sodio, un insumo valioso del proceso de cocción de la pulpa. Esta depuración básicamente busca oxidar el Na_2S , transformándolo en tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), una sustancia no tóxica (Sanhueza, 1996).

Las concentraciones excesivas de SO_2 , se asocian a aumentos en la mortalidad, enfermedades y dificultades respiratorias (Kiely, 1999).

Se ha encontrado que los óxidos de azufre perjudican el sistema respiratorio, especialmente de las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Los efectos de los óxidos de azufre empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o la humedad del aire (Strahler, 1994).

El efecto que causa mayor preocupación es la contribución de óxidos de azufre en la formación de lluvia ácida (Strahler, 1994). La lluvia ácida es un fenómeno ligado con la alta producción dependiente, principalmente, del consumo de combustibles fósiles y de ciertas prácticas agrícolas como las quemas, que al liberar indiscriminadamente sustancias como los óxidos de azufre y de nitrógeno a la atmósfera, aportan la materia prima para la formación de los ácidos sulfúrico y nítrico, que posteriormente retornan a la superficie terrestre, bien sea como líquidos o como aerosoles y afectan a los ecosistemas naturales (Garcés y Hernández, 2004).

Cuando ciertas sustancias como los óxidos de azufre y de nitrógeno entran en la atmósfera, pueden ser desplazados por el viento miles de kilómetros antes de retomar a la superficie terrestre. Su tiempo de permanencia en la atmósfera depende de los procesos físicos de dispersión, transporte y depositación. Cuanto más tiempo permanezcan estos óxidos en la atmósfera, es más probable que se transformen en sustancias de carácter ácido. La lluvia ácida tiene un pH inferior a 5,6 y puede ir hasta 2,5 y excepcionalmente a 1,0 (Herrera, 1999).

El punto de mayor impacto (lugar donde se deposita la mayor concentración de un gas) para el SO_2 , en el caso de la planta Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia, se encuentra aproximadamente a 500 metros al sur de la planta, en los puntos N: 5.617.833 y E: 680.564 (Servicio de Salud, 2005).

Existe una regulación la cual establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO_2), ésta corresponde al Decreto Supremo N° 113 de 6 de agosto de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República D.O 6.03.2003.

3.6. LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO (MP).

El MP, como su nombre lo indica, se trata de partículas suspendidas en el aire, en estado sólido (humo), en estado líquido (aerosoles) o una combinación de ambos. Estas partículas se clasifican por tamaño (diámetro aerodinámico), el cual oscila entre los 10×10^{-9} m (nm) hasta los 100×10^{-6} m (μ m). Su tamaño depende de la cantidad de moléculas unidas, hasta llegar a un tamaño que ya no les permite permanecer suspendidas. El material particulado está compuesto por una amplia variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas (Valenzuela, 1967). Principalmente tiene su origen en los procesos de combustión, en particular de combustibles diesel y también en el polvo en suspensión (Valenzuela, 1967).

Dentro del material particulado, las PM10 son las más importantes y corresponden al de tamaño inferior a 10μ m. El material de tamaño mayor es filtrado en la nariz y la garganta y no representa riesgos para el ser humano. Las PM10 se conocen como partículas inhalables porque entran al sistema respiratorio hasta depositarse en los bronquios y pulmones, produciendo irritaciones e incidiendo en diversas enfermedades. Desde hace aproximadamente 15 años se ha acumulado un número creciente de evidencias epidemiológicas, experimentales y clínicas respecto a la relación entre la concentración de material particulado atmosférico y diversos daños en los sistemas respiratorio y cardiovascular (Román y col, 2004).

La materia particulada del aire representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas típicamente divididas en dos grupos (gruesa y fina). Entre los términos usados para describir la naturaleza de estas partículas se encuentran: materia particulada en suspensión, partículas en suspensión total, humo negro, partículas inhalables por el tórax y los MP10 (Harrison, 1990).

En la industria maderera, la emisión de material particulado se minimiza en virtud de los sistemas de control que poseen los modernos hornos de cal, además de equipos adicionales, como lavadores de gases (scrubbers) y precipitadores electrostáticos (Ferrari y Ramírez, 1998).

En el caso de la planta Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia, el punto de mayor impacto para el material particulado se encuentra aproximadamente a 1 km al sur de la planta. Este punto fue desplazado por quedar fuera de los límites de la planta, en los puntos N: 5.617.333 y E: 680.564 (Servicio de Salud, 2005).

Existe una regulación la cual establece norma de calidad primaria para material particulado respirable (MP10), en especial de los valores que definen situaciones de emergencia, ésta corresponde al Decreto Supremo N° D.S. 45 de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República D.O. 11.09.2001.

Finalmente se sabe que las partículas en suspensión y los óxidos de azufre, tienen con frecuencia un origen común, pues ambos pueden ser el producto de la quema de combustibles fósiles (OMS, 2005).

3.7. EL DESARROLLO DEL NEGOCIO FORESTAL EN CHILE

El sector forestal chileno a partir de la segunda mitad de la década de los setenta (cuando se impone el modelo económico neoliberal) tiene un sostenido crecimiento. La industria forestal se ha transformado en la segunda fuente de divisas del país, pasando de una exportación de US\$ 254.000 en 1980 a cerca de US\$ 3.300 millones en el año 2004. Constituye el 3,5 del PIB y el 13% de las exportaciones de Chile (Soto, 2005).

En el caso de la Celulosa las exportaciones crecieron de US\$ 320 millones en 1990 a alrededor de US\$ 1.200 millones en el año 2004 representando un 36% del total de las exportaciones forestales. Este explosivo crecimiento se explica principalmente por la privatización a bajo costo del patrimonio forestal e industrial público en tiempos de dictadura y por los numerosos subsidios directos e indirectos otorgados por el Estado, lo que permitió aumentar las plantaciones de 200 mil has. existentes a fines de los años 70, a las 2,3 millones de has de Pino radiata y Eucaliptos en el 2004. Se calcula que al menos un millón de esas hectáreas de plantaciones fueron subsidiadas por el Estado con un aporte directo de US\$ 250 millones hasta hoy (Soto, 2005).

La industria forestal en Chile ha experimentado un crecimiento vertiginoso en la última década, el cual no siempre ha ido de la mano con la protección ambiental. En este sentido, se hace necesario estimar la contaminación producida por la industria forestal. Las principales exportaciones están o estarán sujetas a certificación ambiental como es el caso de aquellas que van a la Unión Europea, por lo cual los procesos industriales deben generar una contaminación mínima para evitar daños al medio ambiente y garantizar la conservación sustentable de los recursos naturales renovables (De la Maza y col, 2001).

La celulosa constituye el principal producto chileno de exportación forestal. En el 2000 las exportaciones de celulosa crecieron en 50% respecto del año anterior, acumulando USD 1.111 millones. Este monto representó el 58% de lo exportado por el sector forestal durante ese año, registrando un aumento de 8 puntos respecto de la participación promedio de las exportaciones de esta materia durante la década de los 90 (Caponetto y col, 2006).

La industria de la celulosa produce anualmente 1.923.000 t (INFOR, 1997), utilizando como materia prima principalmente *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*.

La industria del aserrío chilena cuenta con 1.425 centros de transformación que producen Anualmente 3.744.000 m³ de madera aserrada (INFOR, 1997). Los aserraderos producen contaminación a partir de los desechos no utilizados, tales como corteza, aserrín y despuntes, los que también pueden producir contaminación de cursos de agua y/o del aire (Alexandroff, 1995).

En 1976, las empresas forestales exportaban 61 productos a 40 mercados, con un valor total de US\$MM 166. En el año 2004, el sector forestal envió 421 productos a 105 mercados, con un valor que alcanza a US\$ MM 3.400, representando el 11% de las exportaciones país.

En Valdivia, Arauco ha invertido más de US\$MM 300 en patrimonio forestal y US\$MM 700 en los activos industriales de la Planta Valdivia (Celco, 2006).

Celulosa Arauco y Constitución (Celco o Celulosa Arauco ó simplemente Arauco), es una empresa chilena dedicada a la fabricación de pulpa de celulosa y derivados como madera aserrada y paneles. Está controlado por el grupo económico de Angelini .Esta empresa inició la construcción del proyecto en septiembre del 2001, llegando a emplear 7 mil 200 personas en el peak de las obras, pero en la actualidad (2008) son sólo 140 personas que trabajan permanentemente. Las operaciones productivas de Planta Valdivia se iniciaron en febrero de 2004. El 31 de marzo de 2004, la planta fue cerrada por la Municipalidad de San José de la Mariquina, debido a la falta de antecedentes para otorgar la patente de funcionamiento. La suspensión duró una semana, hasta el 8 de abril de 2004. Actualmente la Planta cuenta con todas las patentes y permisos que corresponde (Celco, 2006).

Durante el período de puesta en marcha, ocurrieron episodios de malos olores, los que afectaron a las comunidades vecinas a la Planta, e incluso llegaron a la ciudad de Valdivia, causando preocupación y molestias entre sus habitantes. Celulosa Arauco y Constitución reaccionó rápidamente, invirtiendo US\$ MM 6,5 en tecnología de punta para la captación e incineración completa de gases, lo que permitió eliminar los olores a partir de noviembre de 2004 (Celco, 2006).

Es importante destacar que los sectores aledaños a las estaciones de monitoreo son principalmente de explotación forestal, aunque existen en forma menor pequeños agricultores que viven de la tierra y sus animales (explotaciones lecheras de subsistencia).

La contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales relacionados con la producción de celulosa en nuestro país. En la actualidad la empresa Celulosa Arauco emite un informe ambiental que permite conocer los niveles de contaminación que produce la planta. En las áreas circundantes a la planta se encuentran tierras, las cuales se ven afectadas por las emisiones atmosféricas provenientes de las chimeneas de la planta.

El problema es que se desconoce los niveles de contaminación de las zonas aledañas, cuales son las más afectadas por estas emisiones, y si existe o no una relación entre la dirección del viento y la estación del año con los niveles de contaminación.

Esta investigación se puede definir como una investigación exploratoria. El carácter exploratorio se debe a que no existen investigaciones similares sobre el problema de investigación, siendo este trabajo el primero en donde se analizan este tipo de informes en el contexto del nivel de exposición de los sectores circundantes, en base a la emisión de gases a la atmósfera por parte de la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. Por otro lado, el determinar si existe o no una relación entre la época del año, la dirección de los vientos y los niveles de los gases TRS, SO₂, NO_x y MP10 en la atmósfera en esta zona, es un antecedente nuevo del cual no existen tampoco estudios previos.

Para este trabajo se presenta como hipótesis que estarán más expuestos aquellos sectores aledaños a la estación de monitoreo que presente las concentraciones más altas de TRS, SO₂, NO_x y MP10 y, a su vez, cuando los vientos se dirijan en dirección hacia el sector donde se encuentre aquella estación.

El objetivo principal de este trabajo fue determinar el grado de exposición a los gases TRS, SO₂, NO_x y MP10 producidos por la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia en los sectores aledaños a las tres estaciones de monitoreo durante el periodo de mayo 2005 a septiembre 2006. Los objetivos específicos fueron:

- 1.- Determinar las zonas geográficas de mayor exposición a los gases TRS, SO₂, NO_x y MP10 que rodean a la planta.
- 2.- Determinar estadísticamente si existe diferencia significativa entre las tres estaciones de monitoreo (concentración captada), en relación a la emisión producida por la empresa y cuál estación de monitoreo presenta la más alta concentración para los gases TRS, SO₂, NO_x y MP10 dentro del periodo en estudio.
- 3.- Determinar si existe una relación entre la dirección del viento y las concentraciones atmosféricas de los gases TRS, SO₂, NO_x y MP10.

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. MATERIALES

En esta investigación los materiales utilizados fueron:

- Informe “Programa de monitoreo y calidad ambiental” de la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia (entregado al Servicio de Salud, Depto. Acción Sanitaria, Seremi de Salud Región de los Lagos, Valdivia, X Región).
- Datos sobre calidad del aire, entregados directamente por la empresa de Celulosa.
- El programa de análisis estadístico y gráficas EXCEL 2007.

4.1.1. Unidad de estudio.

El presente trabajo se realizó con información de emisiones ambientales entre el 7 de Mayo del 2005 y el 30 de Septiembre del 2006 existente en el informe de monitoreo ambiental realizado por la empresa Celulosa Arauco y Constitución S. A. ubicada en los predios Las Rosas y Traiguén, ambos ubicados en la Comuna de San José de la Mariquina, Provincia de Valdivia, X Región. A unos 6 km al sureste de San José de la Mariquina y a unos 500 m de la ribera sur del río Cruces (próximo al puente Rucaco) y a unos 32 km aguas arriba del "Santuario de la Naturaleza del río Cruces". Lat: 39.5443000793 long: 72.9259033203 (figura 1).



Figura 1. Ubicación de la empresa Celulosa Arauco y Constitución planta Valdivia (). Fuente: página web de la empresa.

Las emisiones producidas por la planta de celulosa Valdivia fueron medidas en los siguientes puntos: estanque disolvedor de la caldera de poder, en la chimenea común de la caldera de poder, en la caldera recuperadora (estos tres puntos ubicados en el mismo sector físico) y en el horno de cal (figura 2).

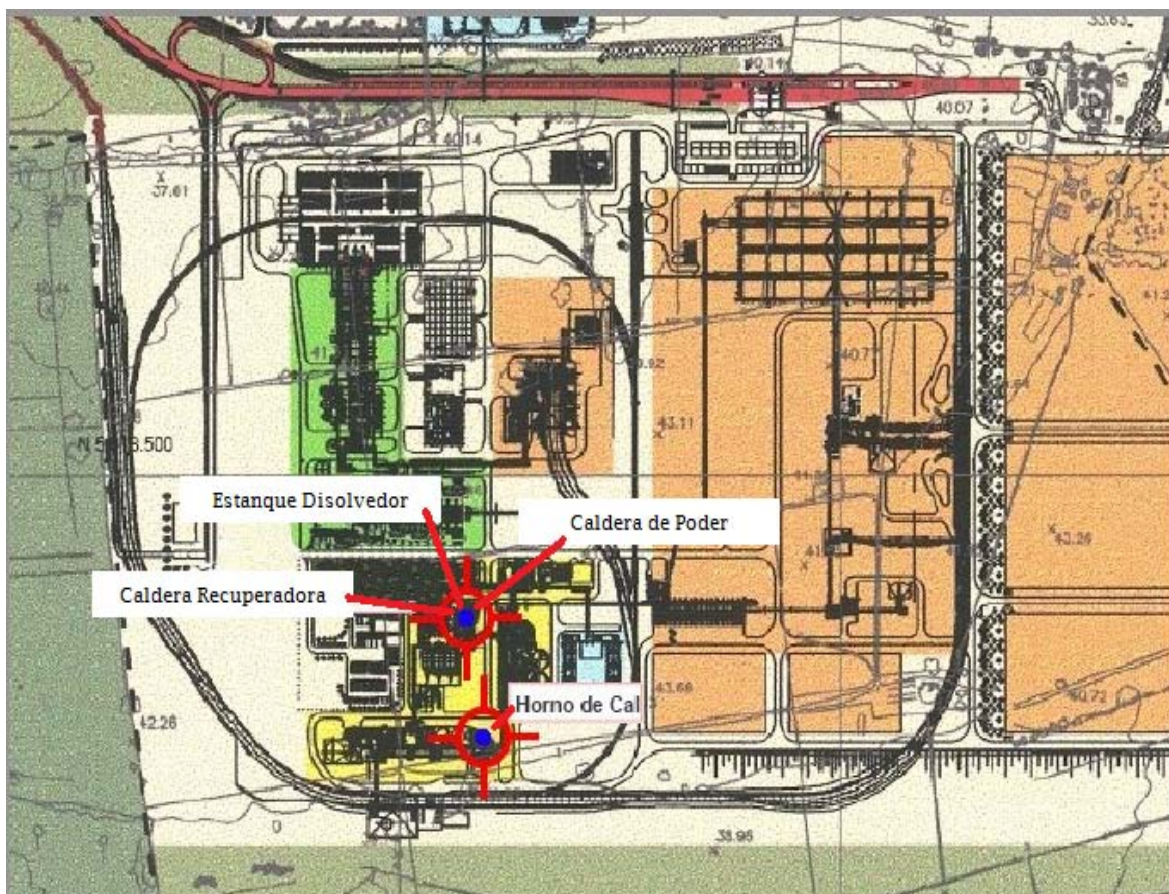


Figura 2. “Plano esquemático planta Celulosa Arauco y Constitución planta Valdivia”, cuatro puntos de monitoreo de las emisiones emitidas por la planta (👁️). Fuente: informe “Programa de Monitoreo Ambiental” empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. 2005-2006.

Por otra parte las mediciones atmosféricas presentes en el informe perteneciente a la empresa de celulosa fueron realizadas por la empresa PROTEM S.A., la cual, para la medición de los gases TRS, SO₂, NO_x y MP utilizó tres torres de monitoreo ubicadas en los siguientes puntos geográficos: “Romana FFCC” (1) N: 5.618.857 E: 680.971, “Romana camiones” (2) N: 5.618.583 E: 680.163 y “500 metros al Sur” (3) N: 5.617.833 E: 680.564. Estas coordenadas se realizaron en base al punto de referencia localizado en N: 5.618.333 E: 680.564 (figura 3).

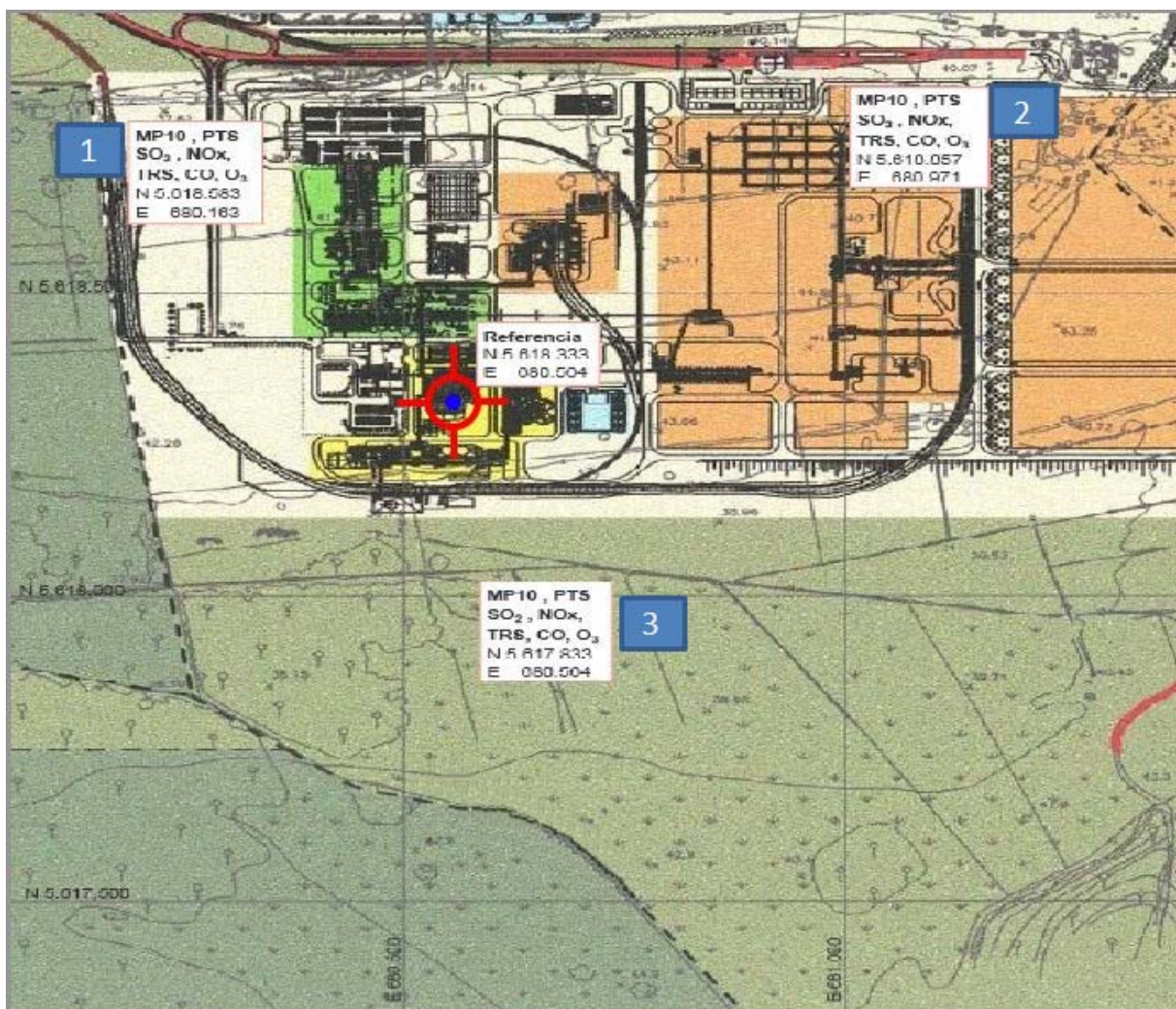


Figura 3. Estaciones de monitoreo de calidad de aire (1, 2 y 3) y punto de referencia de la toma de gases (⊙). Fuente: informe “Programa de Monitoreo Ambiental” empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. 2005-2006.

La información sobre la meteorología se obtuvo de la estación meteorológica de Planta Valdivia. Esta estación se encuentra ubicada en el sector norte de la planta de Celulosa Valdivia. Sus coordenadas aproximadas son: N: 5. 618.807.70 y E: 680.651.90

4.2. MÉTODO

Para esta investigación se tomaron los datos de emisiones atmosféricas (se midieron dos días al azar y estas dos mediciones se sumaron y representan lo emitido diariamente en el trimestre) contenidos en el informe ambiental de la empresa Celulosa Arauco y Constitución

S.A. y fueron tabulados estadísticamente y graficados en base a cada uno de los agentes de contaminación atmosférica incluidos en el informe.

Se tomaron los datos de la dirección de los vientos, se tabularon y graficaron para determinar la evolución de ellos durante el período en estudio (mayo 2005-septiembre 2006) y se estableció la mas predominante en cada trimestre.

Los datos de cada uno de los agentes emitidos a la atmósfera fueron agrupados en base a dos conglomerados estacionarios otoño-invierno, primavera-verano y se utilizó la mediana como indicador de tendencia central para el análisis de los datos. Además se graficó y analizó cada uno de los agentes contaminantes en base a su emisión mensual utilizando el prueba estadístico ANOVA.

En el análisis final se relacionaron los resultados obtenidos del estudio estadístico (ANOVA), donde se determinó la estación de monitoreo que presentaba mayor concentración de gases y en base a su ubicación se comparó con la dirección de los vientos. Esto se realizó por trimestre, donde se estableció si existe o no diferencia significativa entre los valores de emisiones y los valores recepcionados en las estaciones de monitoreo.

5. RESULTADOS

En esta sección se presentan los datos obtenidos del informe de la planta Celulosa Arauco y Constitución S.A. en base a las emisiones emitidas, calidad del aire y a informes meteorológicos (vientos) relacionados.

5.1. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

En el primer trimestre (abril-mayo-junio), correspondiente a otoño 2005, sólo se consideró mayo y junio, debido a que el análisis se realizó a partir de mayo del 2005.

La evolución de los gases emitidos por la empresa Celulosa Arauco y Constitución planta Valdivia, se esquematizan en la siguiente gráfica (1):

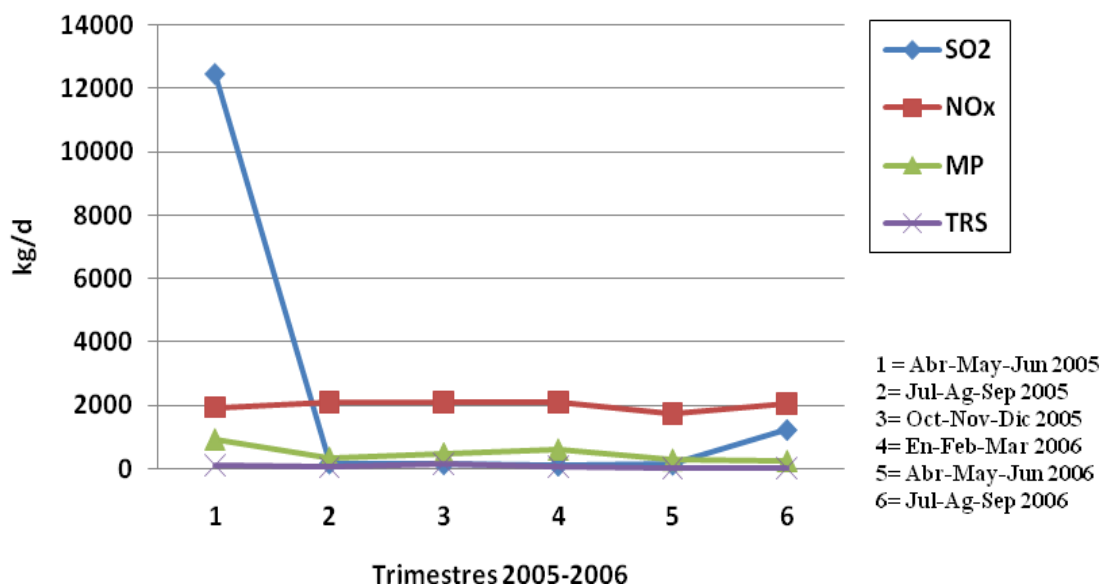


Grafico 1. Evolución de los gases dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), gases de azufre totales reducidos (TRS) y material particulado (MP), emitidos por la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia, periodo mayo 2005-septiembre 2006.

Tabla 1. Emisiones trimestrales de SO₂, NO_x, MP y TRS producidas por la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia en el periodo 2005-2006.

Trimestre	SO ₂	NO _x	MP	TRS
A-M-J 2005	12455	1943	916	101
J-A-S 2005	153,4	2099	345	37,7
O-N-D 2005	127,7	2086	486,3	162,3
E-F-M 2006	87	2089	605,4	57,7
A-M-J 2006	117,8	1744	290,8	8,2
J-A-S 2006	1209,4	2057	250	11,2

En la tabla 1 es posible observar las concentraciones de los gases SO₂, NO_x, MP y TRS emitidos a la atmósfera en forma diaria por la planta de celulosa en cada trimestre dentro del periodo 2005-2006. Estos valores son la sumatoria de las mediciones diarias dentro de cada trimestre; sin embargo, hay que señalar que el número de mediciones realizadas por trimestres fue entre dos y tres de éstas (se sumaron y el resultado se interpretó como la concentración diaria emitida por la empresa).

5.2. DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS

La dirección de los vientos es muy variada durante el período en estudio. En el primer trimestre (abril-mayo-junio del 2005) la dirección predominante fue hacia sureste, posteriormente en los próximos dos trimestres (comprendidos entre julio y diciembre del 2005) la dirección predominante cambió hacia noroeste, con un leve desplazamiento en el trimestre de octubre-noviembre-diciembre del 2005 hacia noreste. Luego, en el trimestre enero-febrero-marzo del 2006, la dirección de los vientos volvió hacia sureste; sin embargo los vientos se movilizaron, en forma menor, hacia noreste y noroeste. Por otra parte, en los dos últimos trimestres del período en estudio (abril-mayo-junio del 2006 y julio-agosto-septiembre del 2006), la dirección cambió predominantemente hacia noreste con leve desplazamiento hacia noroeste y sureste (ver tabla 2).

Tabla 2. Dirección de los vientos durante los trimestres del periodo 2005-2006.

TRIMESTRE	DIRECCIÓN PREDOMINANTE	OBSERVACIÓN
abril-mayo-junio 2005 (otoño-invierno)	sureste	Sin observación
julio-agosto-septiembre 2005 (otoño-invierno)	noroeste	Sin observación
octubre-noviembre-diciembre 2005 (primavera-verano)	noroeste	En este mes además de la dirección noroeste los vientos se movilizaron en dirección noreste
enero-febrero-marzo 2006 (primavera-verano)	sureste	En este mes los vientos cambiaron en dirección noroeste y noreste
abril –mayo-junio 2006 (otoño-invierno)	noreste	En los meses de abril y mayo los vientos también se movilizaron en dirección noroeste y sureste
julio- agosto septiembre 2006 (otoño-invierno)	noreste	En forma menor en dirección noroeste y sureste

5.3. CALIDAD DEL AIRE

En base a los datos presenten en el informe “Programa de Monitoreo Ambiental” (ver anexo 1), es posible establecer una diferencia entre las tres estaciones de monitoreo en cada mes y durante el periodo en estudio. Esto por medio del análisis estadístico ANOVA (ver anexo 2). Destacando que este análisis se realizó con la ausencia de varios meses dentro de las mediciones hechas por el monitoreo ambiental, estos meses se observan en blanco dentro de cada gráfico.

5.3.1. TRS.

En el gráfico 2 se aprecia la diferencia entre las tres estaciones de monitoreo en la medición de gases TRS en cada mes y durante el periodo en estudio. Se observa que en los meses de mayor calor (noviembre del 2005 y enero del 2006) las medianas en general son más altas y en los meses más fríos (mayo del 2005 y julio del 2005) son más bajas con la excepción del mes de mayo del 2006 donde las concentraciones se elevaron en forma marcada. Además se puede apreciar que en general la estación “Romana FFCC” presenta concentraciones más bajas que las otras dos estaciones durante el periodo en estudio con excepción del mes de mayo del 2006 donde fue la más alta.

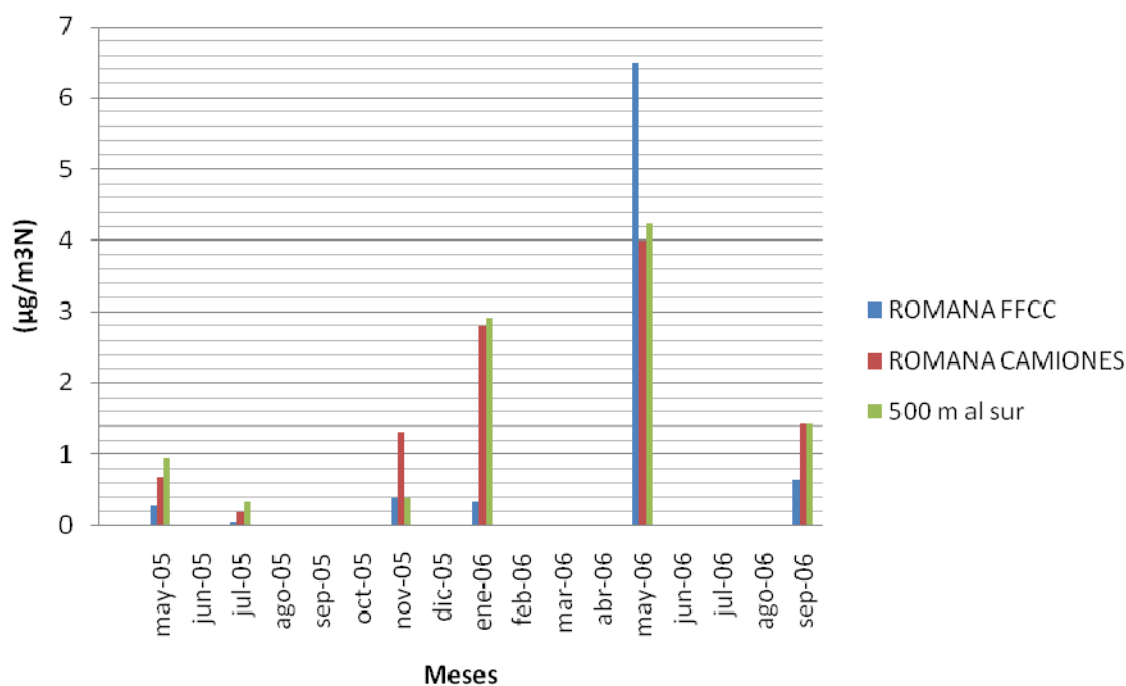


Gráfico 2. Concentración (mediana) de gases TRS en el periodo mayo 2005-septiembre 2006.

En el gráfico 3 se distingue la variación (con una alta concentración entre final de enero del 2006 y final de mayo del 2006) de las concentraciones de TRS durante el periodo en estudio, las cuales se describen a continuación:

En el mes de mayo del 2005 observamos un rango de 0,2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 1,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) lo que nos indica una concentración baja de TRS, el que a su vez, es muy variable entre las tres estaciones de monitoreo. Siguiendo en el periodo, los rangos de concentración de TRS en el mes de Julio del 2005 fluctúan entre 0,05 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 0,7 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), manteniendo los niveles bajos y variables encontrados en el mes anterior. Podemos apreciar que en el mes de noviembre del 2005 se mantienen las concentraciones entre 0,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 1,4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Es importante señalar que sólo se obtuvieron tres mediciones en el mes. En el mes de enero del 2006 las concentraciones de TRS subieron considerablemente en las estaciones “Romana camiones y 500 metros al sur”, las cuales presentan rangos entre 2,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 3,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), a excepción de la estación de monitoreo “Romana FFCC”, la cual mantiene concentraciones bajas, presentando rangos entre 0,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 0,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). A diferencia de meses anteriores, en el mes de mayo del 2006 se observa una variación en las concentraciones de TRS llegando a rangos entre 2,4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 8,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Acentuando que en este mes las emisiones de TRS en la planta fueron muy bajas (en relación a lo producido durante todos los trimestres). En el mes de septiembre del 2006 se aprecia una baja en las concentraciones de TRS en relación a los meses anteriores, fluctuando entre 0,27 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 3,57 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). La concentración más alta se encuentra en el comienzo de las mediciones en la estación “Romana camiones”.

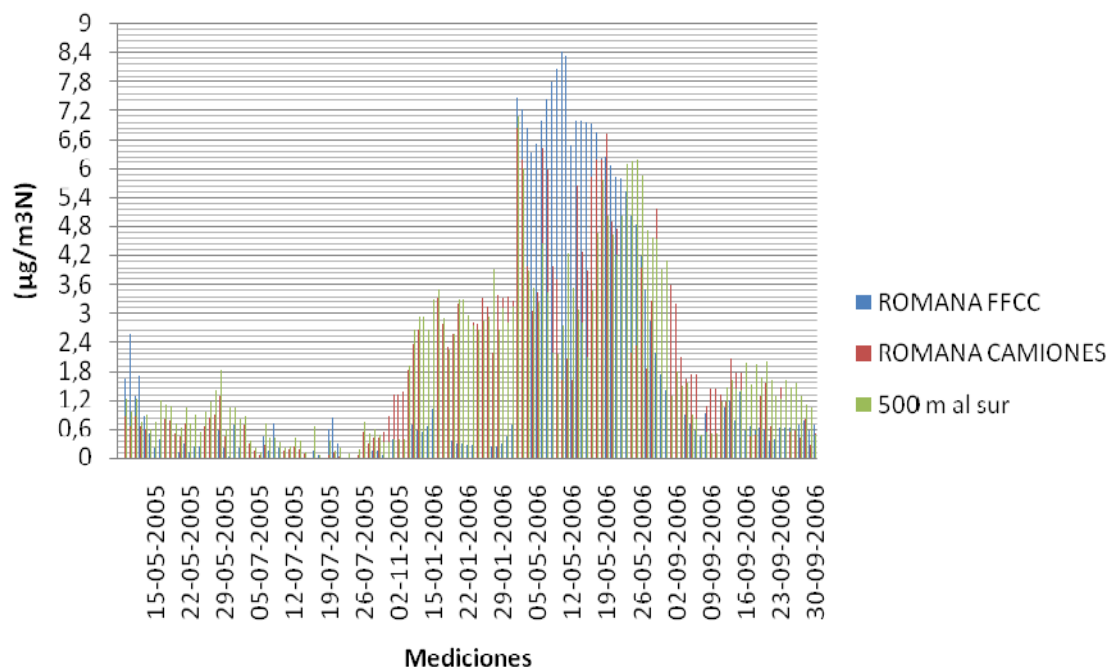


Gráfico 3. Concentración diaria de gases TRS en el periodo Mayo 2005 y Septiembre 2006.

De acuerdo al análisis estadístico, prueba ANOVA, se logró determinar que en los dos primeros trimestres del periodo en estudio (abril-mayo-junio del 2005 y julio-agosto-septiembre del 2005) la estación de monitoreo que presenta la mayor concentración de TRS fue la “500 metros al sur”, ubicada al sur del punto de referencia. En el tercer trimestre (octubre-noviembre-diciembre del 2005) la concentración más alta de TRS la obtuvo la estación de monitoreo “Romana camiones”, ubicada en dirección noroeste del punto de referencia. El cuarto y sexto trimestre (enero-febrero-marzo del 2006 y julio-agosto-septiembre del 2006), mantuvieron la tendencia de los dos primeros trimestres donde la estación de monitoreo con mayores concentraciones es “500 metros al sur” y en el caso del quinto trimestre (abril-mayo-junio del 2006) la estación con mas alta concentración es la “Romana FFCC” (ubicada al noreste del punto de referencia).

5.3.2. SO₂.

En el gráfico 4 se aprecia una marcada diferencia entre las tres estaciones de monitoreo en cada mes y durante todo el período en estudio, donde se observa que la estación “Romana FFCC” mantiene una concentración de SO₂ mayor, en relación a las otras dos estaciones (“Romana camiones y 500 metros al sur”); sin embargo en el mes de noviembre del 2005 las concentraciones en la estación “Romana camiones” sobrepasaron notoriamente a las concentraciones de las estaciones “Romana FFCC” y “500 metros al sur”. Además se debe observa que en los meses de mayor calor (noviembre 2005 y enero 2006) las medianas en general son más altas que en los meses de mayor frio (julio del 2005, julio del 2006 y agosto del 2006) con excepción del mes de mayo del 2005 donde las concentraciones de SO₂ son altas, sobre todo en la estación “Romana FFCC”.

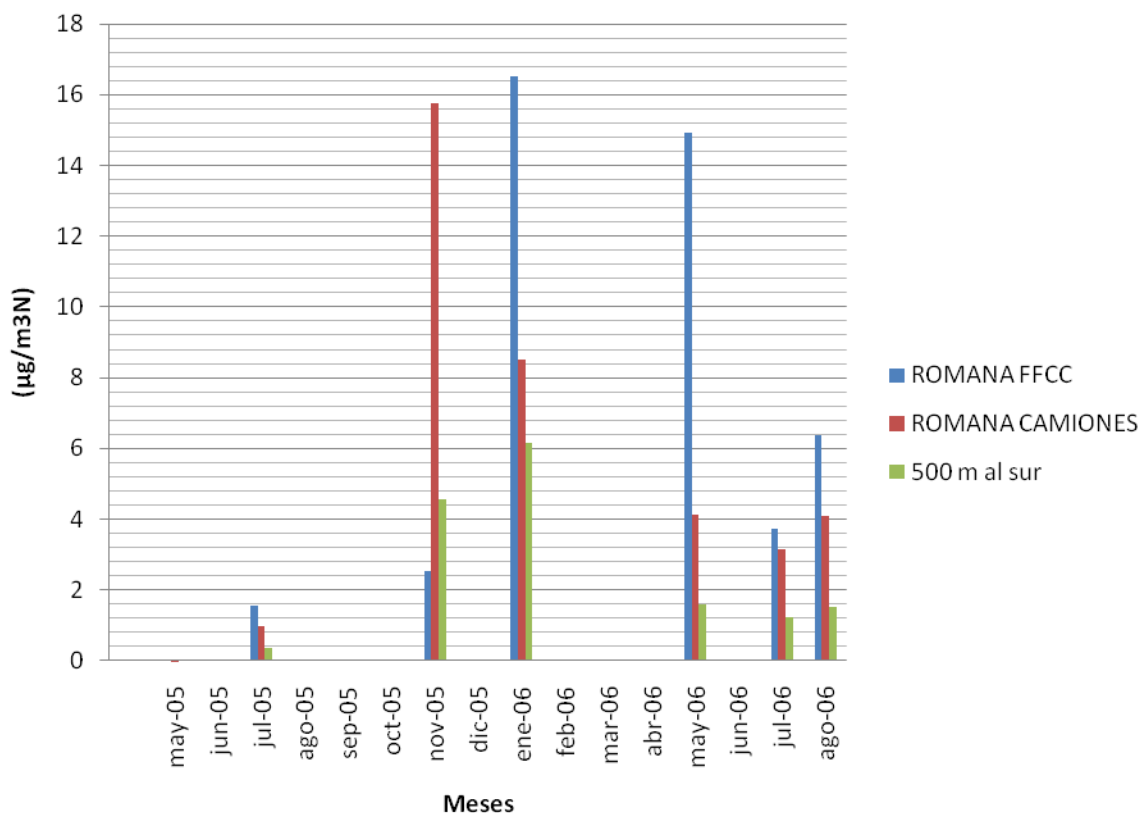


Gráfico 4. Concentración (mediana) de SO₂ en el periodo mayo 2005-agosto 2006.

En el gráfico 5 se observa la variación que existe entre las tres estaciones de monitoreo dentro del periodo mayo 2005-agosto 2006, lo cual se describe más claramente a continuación:

En el mes de mayo del 2005 se observan concentraciones muy bajas alcanzando rangos entre 0,01 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 0,02 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Para el mes de julio del 2005 se puede observar un aumento en las concentraciones de SO₂, aunque siguen siendo bajas alcanzando rangos entre 0,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). A su vez, se puede apreciar que en un comienzo la estación “Romana FFCC” presentó un aumento alcanzando niveles de 3,2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) bajando con el transcurso del mes hasta alcanzar los rangos de las otras dos estaciones de monitoreo. Siguiendo en el período, al observar las estaciones de monitoreo “500 metros al sur” y “Romana FFCC” en noviembre del 2005 no se presenta mayor variación en las concentraciones de SO₂ en comparación con el mes anterior. Sus rangos se encuentran entre 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 5,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$); sin embargo la estación de monitoreo “Romana camiones”, presenta al comienzo un aumento muy considerable con respecto a las otras dos estaciones alcanzando rangos entre 16 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 16,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) mostrando un descenso muy marcado al transcurrir las mediciones, llegando a un rango entre 7,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 8,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). En este mes sólo fue posible obtener tres mediciones. En el mes de enero del 2006, se puede estimar una diferencia en las concentraciones entre las estaciones de monitoreo, especialmente entre la

estación “Romana FFCC” y las otras dos estaciones. Estas dos estaciones poseen concentraciones entre 3,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 12,1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

En el caso de la estación “Romana FFCC” posee concentraciones entre 13,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 37,6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Se debe enfatizar que en las tres estaciones de monitoreo se observa un abrupto aumento entre los días 22 y 30. Siguiendo con las características del mes anterior, en el mes de mayo del 2006, se observa una variación principalmente en la estación de monitoreo “Romana FFCC” con respecto a las otras dos estaciones, presentando rangos entre 12,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 18,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). En el caso de las estaciones “500 metros al sur” y “Romana camiones” presentan rangos entre 1,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 6,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) encontrando un aumento explosivo en las concentraciones en la estación “500 m al sur” al final de las mediciones alcanzando los 14,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). En el mes de julio del 2006 se aprecia que las concentraciones en las tres estaciones es pareja en la mayoría de las mediciones obteniendo un rango entre 0,4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 4,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Destacando al final del mes que se observa un aumento marcado alcanzando una concentración de 13,6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). A su vez, en el mes de agosto del 2006 se observa que las estaciones “Romana camiones” y “500 metros al sur” se mantienen sin mayores variaciones a diferencia de la estación “Romana FFCC” que presenta mucha diferenciación. Destacando que los rangos de las estaciones “Romana camiones” y “500 metros al sur” se encuentran entre 0,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). A diferencia de la estación “Romana FFCC” que su rango va entre 0,9 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 12,6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

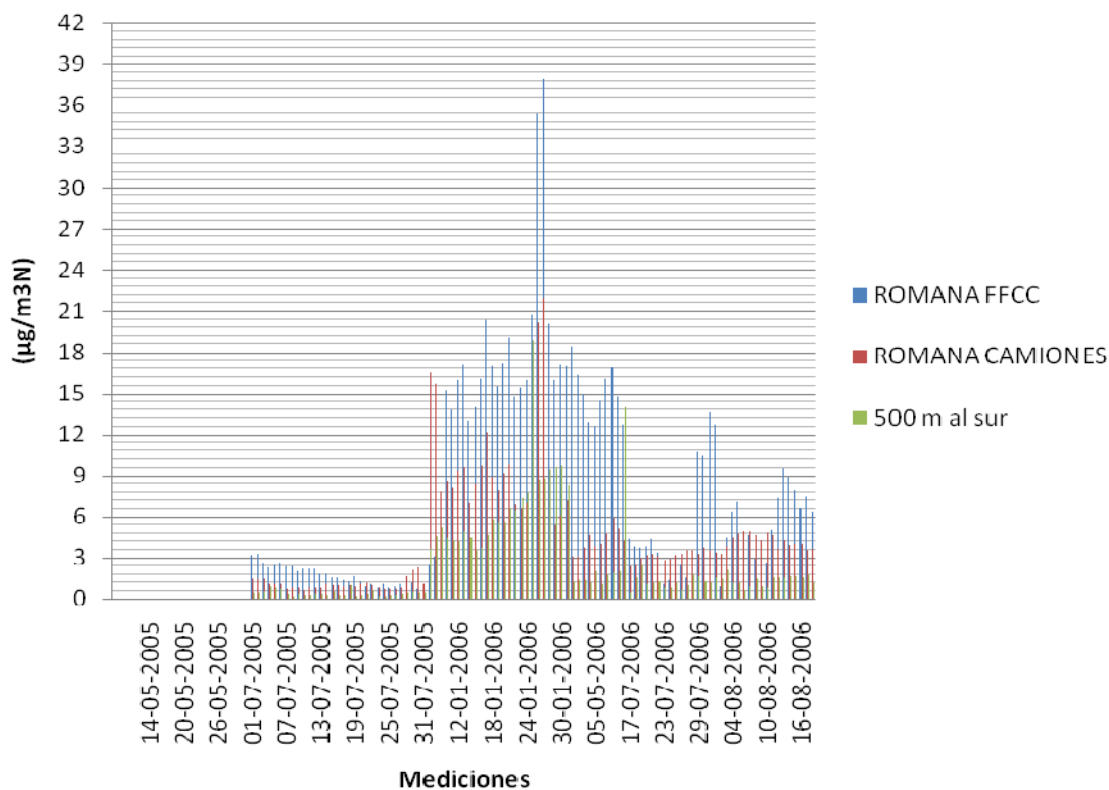


Gráfico 5. Concentración diaria de SO_2 en el período mayo 2005-agosto 2006.

En base al análisis estadístico, prueba ANOVA, se logró determinar que la estación que presenta mayor concentración para SO_2 en el período mayo 2005-septiembre 2006 es la “Romana FFCC”, con excepción del tercer trimestre (octubre-noviembre-diciembre del 2005) en el cual la estación que presenta la mayor concentración es la “Romana camiones”, aunque en este último caso no se puede confirmar producto del bajo número de mediciones dentro el trimestre.

5.3.3. NO_x

En el gráfico 6 se observa una marcada diferencia entre las tres estaciones de monitoreo en los meses en los que se realizaron las mediciones (con excepción del mes de noviembre del 2005), recalcando la gran diferencia producida en el mes de enero del 2006 donde la estación “500 metros al sur” presenta una concentración muy alta en comparación a las otras dos estaciones de monitoreo. Para este gas se mantiene la tendencia de la mayor concentración en meses más cálidos (como enero del 2006, con la excepción de noviembre del 2005) y en los meses más fríos (mayo 2005, julio 2005, julio 2006 y agosto 2006) una concentración menor con excepción, al igual que los gases anteriores, mayo del 2006 presenta una concentración más alta en comparación con el resto de los meses más fríos.

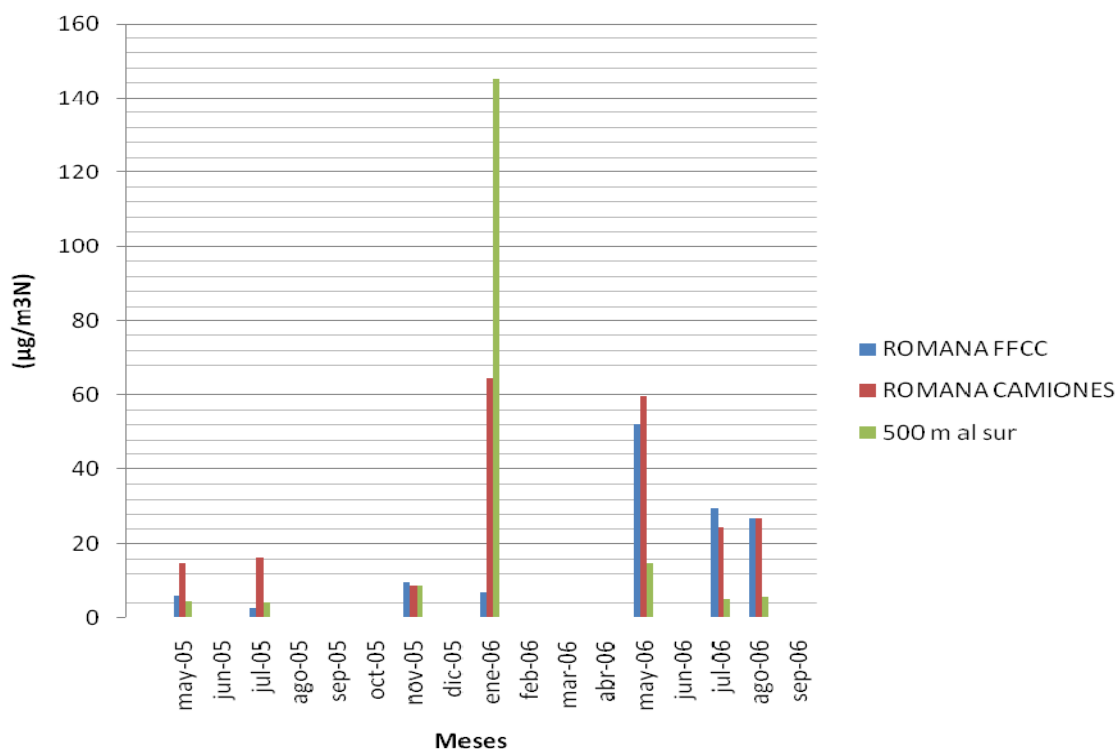


Gráfico 6. Concentración (mediana) de NO_x en el período mayo 2005-septiembre 2006.

En el gráfico 7 se observa la marcada variación entre las tres estaciones de monitoreo especialmente a mediados del período (mayo 2005-agosto 2006), lo que se describe a continuación:

En el mes de mayo del 2005 se aprecia que las concentraciones de NO_x en las tres estaciones de monitoreo se mantienen constantes durante las mediciones alcanzando rangos entre $4,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $15 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. Enfatizando que la estación “Romana camiones” presenta las más altas concentraciones. En el mes de Julio del 2005 se observa una leve variación dentro de las estaciones de monitoreo, encontrando un aumento en el rango de concentraciones de NO_x . El rango fluctúa entre $2,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $36,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y la estación que más aumentó sus concentraciones fue “Romana Camiones”, alcanzando los $36,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. Para el mes de noviembre del 2005, aunque sólo fueron tres mediciones, se observa una constante en las concentraciones de NO_x , alcanzando rangos entre $3,3 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $11 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$.

Siguiendo en el período, enero del 2006 presenta una marcada variación entre las tres estaciones y dentro de las estaciones, especialmente en la estación “Romana FFCC”. Se observa que en esta estación se mantiene la constante de los otros meses anteriores manteniendo concentraciones entre un rango de $3,8 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $11,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. En el caso de la estación “Romana camiones”, se observa que a diferencia de meses anteriores, las concentraciones aumentaron sus rangos llegando entre $47,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $85,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. Además se observa que la estación “500 metros al sur” es la que más aumentó sus rangos y también es la que presenta mayor variación dentro de ella misma, alcanzando rangos entre $95,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $198,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. En el mes de mayo del 2006 se aprecia que la estación “500 metros al sur” se mantiene baja llegando a concentraciones entre $5,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $20,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. En el caso de las estaciones “Romana camiones y Romana FFCC” sus concentraciones tienen rangos entre $39,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $98,0 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. Al final del período, se aprecia que en el mes de Julio del 2006 las concentraciones entre las tres estaciones se mantienen sin grandes variaciones durante el mes y el rango de éstas es entre $2,28 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $46,59 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$. Es importante señalar que las concentraciones en este mes son relativamente bajas en comparación con meses anteriores. En el caso del mes de Agosto del 2006 se mantienen las concentraciones sin mayores variaciones. Los rangos de las concentraciones de NO_x se encuentran entre $2,35 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$ y $43 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N})$.

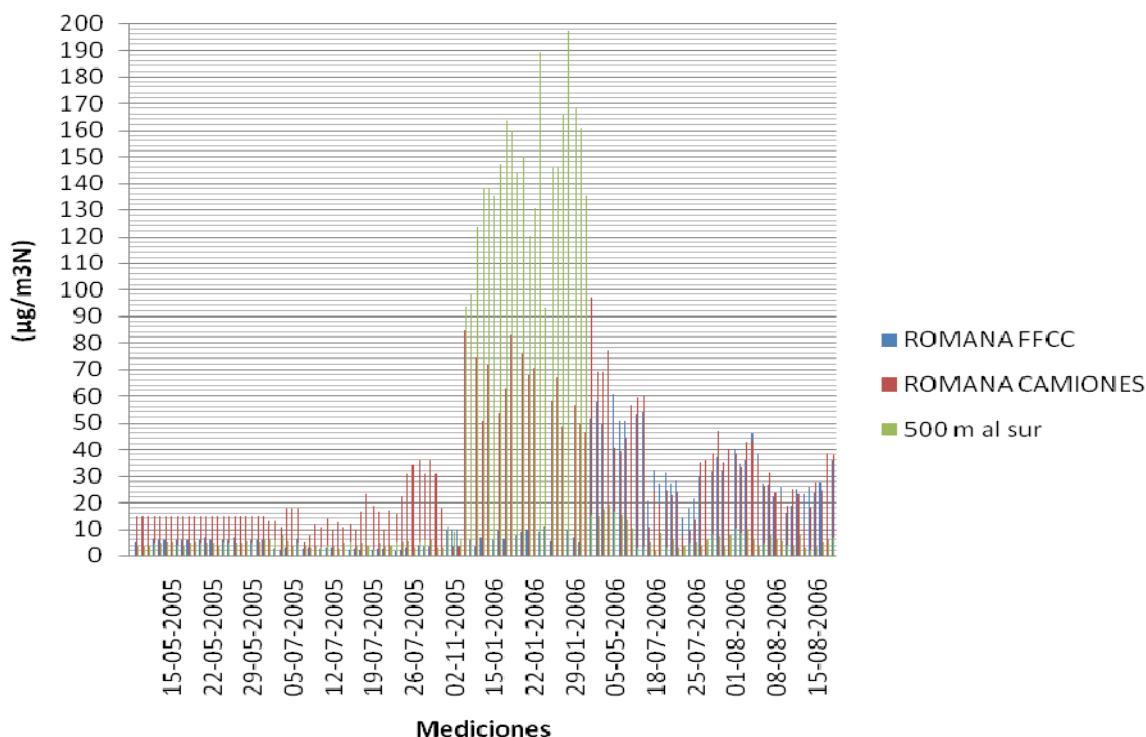


Gráfico 7. Concentración diaria de gases NO_x en el período mayo 2005 a agosto 2006.

Según el análisis estadístico, prueba ANOVA, los gases NO_x presentan su mayor concentración en la estación de monitoreo “Romana camiones” en los dos primeros trimestres (abril-mayo-junio del 2005 y julio-agosto-septiembre del 2005); sin embargo en el tercer trimestre del período en estudio (octubre-noviembre-diciembre del 2005), la estación “Romana FFCC” captó las mayores concentraciones de NO_x. En el cuarto trimestre (enero-febrero-marzo del 2006), los gases NO_x se concentraron mayoritariamente en la estación “500 metros al sur”. El quinto trimestre (abril-mayo-junio del 2006), la estación “Romana camiones” presenta la más alta concentración de NO_x y en el sexto trimestre (julio-agosto-septiembre) es la estación “Romana FFCC”.

5.3.4. MP

En el gráfico 8 se aprecia la diferencia que se encuentra entre las tres estaciones de monitoreo para el MP en el periodo mayo del 2005 a septiembre del 2006. Del mismo modo que en los gases TRS y SO₂, en los meses más cálidos (en este caso octubre del 2005 y febrero del 2006) las concentraciones son más altas que en los meses más fríos (en este caso mayo 2005, julio 2005, julio 2006 y agosto 2006) con la excepción del mes de mayo 2006, en el cual las concentraciones de MP están sobre los niveles observados en los meses más fríos.

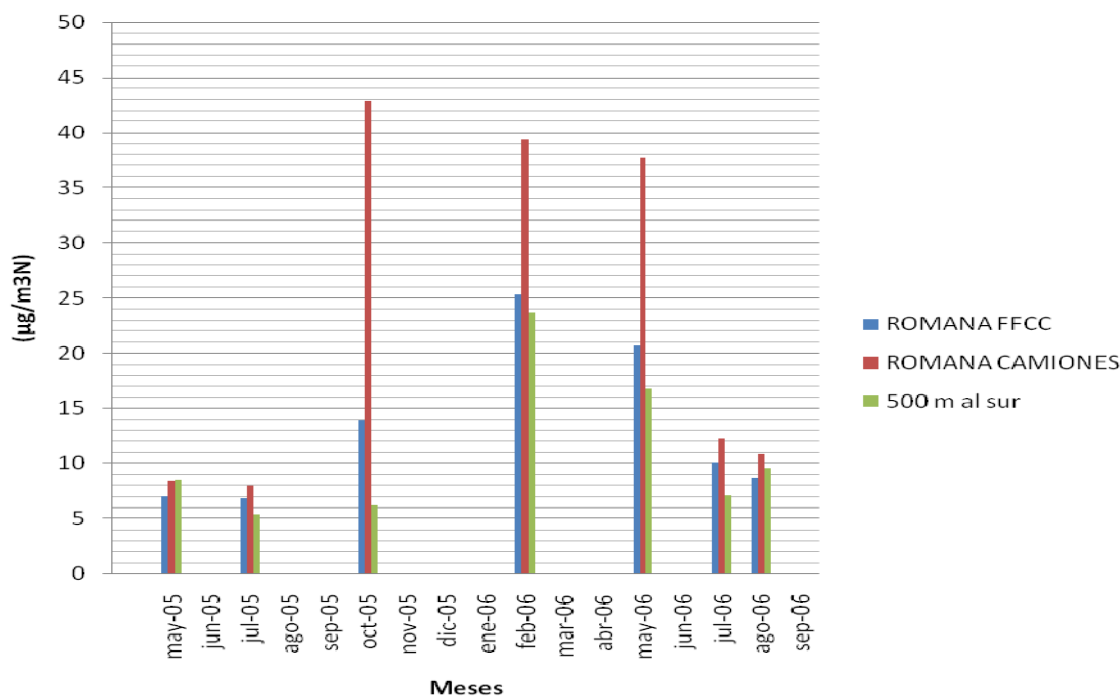


Gráfico 8. Concentración (mediana) de MP en el período mayo 2005-septiembre 2006.

La diferencia que existe entre las tres estaciones de monitoreo se observa en el gráfico 9 y se describe a continuación:

En mayo del 2005 se aprecia una concentración de MP relativamente más baja, alcanzando concentraciones entre los rangos 5,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 13,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Comenzando en un inicio, la estación “500 metros al sur”, con concentraciones cercanas a los 20,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). En julio del 2005 se presentan concentraciones bajas, alcanzando rangos entre 3,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 9,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Destacando que entre los días 17 y 27 hubo un aumento en las concentraciones de la estación “Romana camiones”, alcanzando concentraciones de 23,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Para el mes de octubre del 2005 las concentraciones de MP aumentaron con respecto a los meses anteriores, especialmente la estación “Romana camiones” que tiene un inicio más elevado que las otras dos estaciones, con un rango en el comienzo entre 45,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 84,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$); sin embargo luego de transcurrir los días y las mediciones, bajó el rango de las concentraciones de MP en esta estación. A parte de de esta diferencia se puede decir que las concentraciones a lo largo del mes se encuentran en un rango entre 5,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 45,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Febrero del 2006 presenta concentraciones entre 10,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 56,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Encontrando una constancia dentro de las estaciones de monitoreo, recalando el descenso en las concentraciones de MP en las estaciones “Romana camiones y 500 metros al sur”. A finales del período, se observa que el mes de mayo del 2006 (donde sólo se realizaron dos mediciones) las concentraciones de MP se encuentran en un rango entre 16,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 45,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Es importante destacar que las concentraciones bajaron en relación al mes anterior, principalmente en las estaciones “Romana FFCC y Romana camiones”, como también en su

inicio. Por último, en el mes de Julio-Agosto del 2006 las concentraciones son más bajas que en los meses anteriores y también se aprecia que no existe una variación a lo largo de las mediciones, alcanzando rangos entre 6,1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 27,7 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

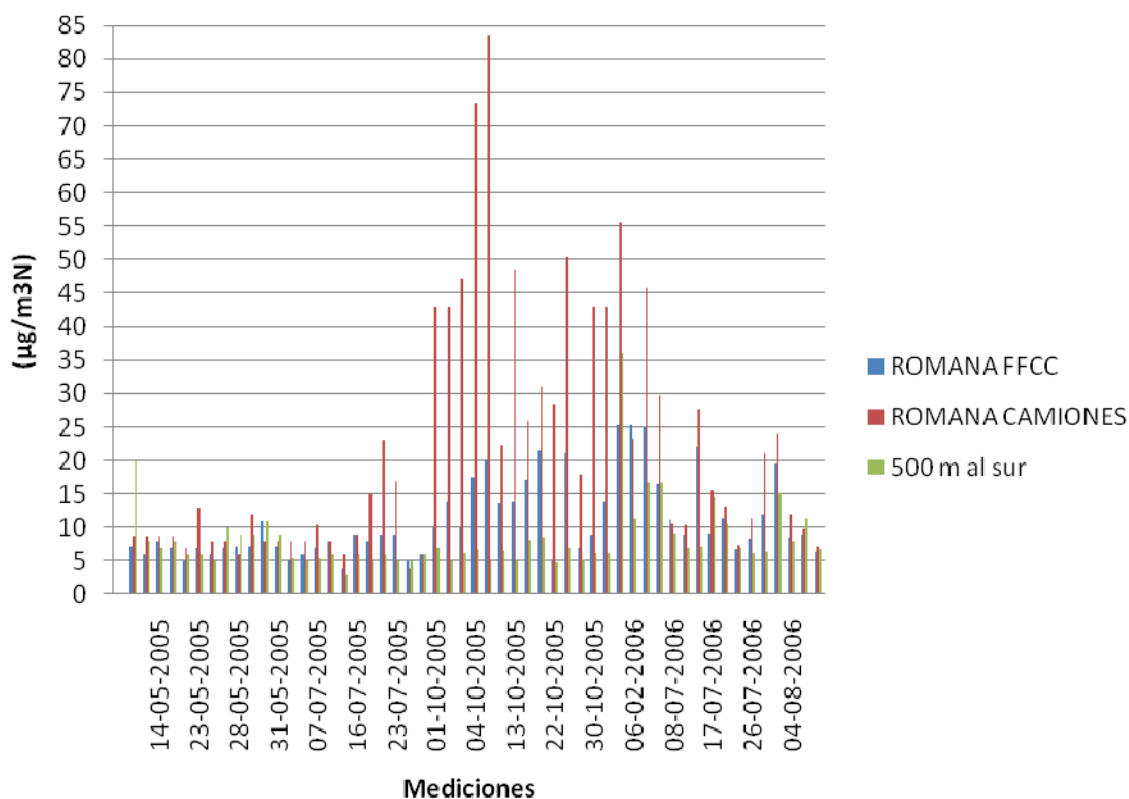


Gráfico 9. Concentración diaria de MP en el período mayo 2005-agosto 2006.

En el caso del MP, el análisis estadístico (prueba ANOVA), determinó que durante el período en estudio (mayo 2005-septiembre 2006) la tendencia es a que la estación “Romana camiones” presente las concentraciones más altas, con excepción del primer trimestre (abril-mayo-junio del 2005) donde la estación “500 metros al sur” presenta las mayores concentraciones para este gas.

5.4. CALIDAD DEL AIRE V/S DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS

En base a los resultados obtenidos con la prueba ANOVA, se realizó una relación entre la dirección de los vientos en cada trimestre del periodo mayo 2005-septiembre 2006 y la ubicación geográfica de la estación de monitoreo con mayor concentración de cada gas en estudio dentro de los mismos trimestres (tabla 3).

Tabla 3. Relación entre la dirección del viento y la ubicación geográfica de la estación de monitoreo (con respecto al punto de referencia de calidad de aire) con mayor concentración de en cada trimestre.

Trimestre	Estación de monitoreo	Ubicación geográfica de la estación de monitoreo	Dirección del viento
A-M-J 2005	500 m al sur	S	SE
J-A-S 2005	Romana Camiones	NO	NO
O-N-D 2005	Romana camiones	NO	NO
E-F-M 2006	500 m al sur	S	SE
A-M-J 2006	Romana FFCC	NE	NE
J-A-S 2006	Romana FFCC	NE	NE

En la tabla 3 se muestra que la ubicación de la estación de monitoreo que presenta mayor concentración dentro de cada trimestre (en promedio para los cuatro gases en estudio), coincide con la dirección hacia donde se dirige el viento. En el caso del primer trimestre (abril-mayo-junio del 2005), la estación que presentó mayor concentración es “500 metros al sur”, la cual se ubica al sur del punto de referencia y éste se encuentra en dirección donde se desplaza el viento. Para los dos trimestres siguientes (julio-agosto-septiembre del 2005 y octubre-noviembre-diciembre del 2005), la estación de monitoreo con mayor concentración es “Romana camiones”, ubicada al noroeste del punto de referencia, lo que coincide con la dirección en la cual va el viento. En el caso del cuarto trimestre (enero-febrero-marzo del 2006), la estación con mas alta concentración (al igual que en el primer trimestre) es “500 metros al sur” y la ubicación de esta estación es la misma que la dirección del viento en este trimestre. Para los dos últimos trimestres (abril-mayo-junio del 2006 y julio-agosto-septiembre del 2006), la estación con más altas concentraciones de gases es “Romana FFCC”, ubicada al noreste del punto de referencia que coincide con la dirección de los vientos en estos dos trimestres.

6. DISCUSIÓN

6.1. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

En este trabajo se estableció que según el informe de monitoreo ambiental de la Planta Celulosa Arauco y Constitución SA. (2005-2006) las concentraciones de los gases SO₂, NO_x, MP y TRS no exceden las permitidas por el punto 4.5.9 de la Resolución de Calificación Ambiental (CONAMA, 1999). En el caso puntual del trimestre abril-mayo-junio 2005, las concentraciones de SO₂ sobrepasan los niveles permitidos según la Resolución de Calificación Ambiental (la cual permite un máximo de 3040 Kg/d). Esto se debería, según el informe de monitoreo (2005), a la caldera, la cual por problemas de temperatura (falla interna) produjo una mayor cantidad de SO₂.

6.2. VIENTOS, CALIDAD DE AIRE, EFECTOS SOBRE LA SALUD Y MEDIDAS GUBERNAMENTALES

Según Caldwell (1993) la concentración de los contaminantes depende de factores climatológicos como la temperatura, dirección y velocidad del viento. Esto concuerda con los resultados de este trabajo donde se determinó que factores climatológicos (como dirección del viento) son de gran importancia en la determinación de las zonas más expuestas por las emisiones a la atmósfera de la planta de celulosa.

También se observó que en todas las emisiones medidas (en el informe “Programa de Monitoreo Ambiental” empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. (2005-2006), sus concentraciones fueron mayor en los meses más cálidos en comparación a los meses más fríos, con excepción de algunos meses. Esto concuerda con lo citado por Caldwell (1993), el cual señala que en presencia de una capa de aire caliente la mezcla atmosférica se retarda y los contaminantes se acumulan cerca del suelo.

Por otro lado en este trabajo se observó que las concentraciones de los gases contaminantes son bajas durante el período en estudio, lo que llevaría a concluir que se produce una exposición baja de éstos por un tiempo prolongado. Esto llevaría a pensar que el riesgo (efecto negativo de los gases) a largo plazo es mayor sobre todo en aquellos más expuestos. Como lo indica Doménech (1997), donde señala que los efectos de la exposición en un largo plazo a bajas concentraciones de contaminantes no están definidos; sin embargo, los grupos de riesgo son los niños, los ancianos, los fumadores, los trabajadores expuestos al contacto con materiales tóxicos y quienes padecen enfermedades pulmonares o cardíacas. Otros efectos adversos de la contaminación atmosférica son los daños que pueden sufrir el ganado y las cosechas.

Según Myers (1992) a menudo los primeros efectos perceptibles de la contaminación a bajas concentraciones son de naturaleza estética y no son necesariamente peligrosos. Sin embargo, a largo plazo puede incluir la disminución de la visibilidad debido a la presencia de diminutas partículas suspendidas en el aire y los malos olores.

En este trabajo se observó que las concentraciones de los diferentes compuestos contaminantes (TRS, SO₂, NO_x y MP) no superan los niveles establecidos en la norma chilena para SO₂ (DS n° 113/03), que establece como máxima concentración 250 µg/m³N diario. Para NO_x (DS N° 114/03), que establece como máxima concentración 100 µg/m³N anual). Para MP10 (DS n° 59/98), que establece como máxima concentración 150 µg/m³N diario y en el caso de TRS, basado en la norma canadiense-Alberta que establece como máxima concentración 4 µg/m³N diario. En los casos puntuales de el mes de Mayo del 2006 (para TRS) y en el caso del mes de Febrero del 2006 (para NO_x) las concentraciones superan la norma y esto se debe a variación en el equipo de monitoreo, esto según el informe de monitoreo ambiental de la planta Celulosa Arauco y Constitución SA. (I y II trimestre 2006).

Por otra parte, en el transcurso de este trabajo, se estableció (principalmente en el marco teórico) que existen normas que limitan las emisiones de contaminantes del aire (Chile se basa en las normas de la Confederación Suiza), según Arteaga y Durán (2002) en Chile es necesario la implementación de técnicas más adecuadas de control para la contaminación ambiental, lo que concuerda con las observaciones realizadas en este trabajo donde se recalca que las normas no son las adecuadas para un buen control de las emisiones atmosféricas generadas por la planta Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia, debido a que al ser creadas (los niveles permitidos) no se contaban con experiencias anteriores (de este tipo en el país), por lo que este caso fue la primera experiencia, según explica el Servicio de salud (2005).

A medida que fue avanzando el trabajo, se observó que en Chile se busca disminuir las emisiones al punto menos contaminantes para el medio ambiente por medio de reglamentación, esto basado en los ejemplos impuestos por países más desarrollados, como es el caso de USA, en donde según la EPA (1993) con la integración de los reglamentos ambientales se espera una disminución de las emisiones de las sustancias tóxicas del aire en aproximadamente 121200 mg cada año. Además, con la reglamentación se espera una disminución de las emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles por aproximadamente 716000 mg cada año y las emisiones de compuestos de azufre reducido total de aproximadamente 295000 mg cada año.

Cada país cuenta con sus propias normas, las cuales no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico para ser aplicadas en otros países según Caldwell (1993), esto concuerda con el trabajo realizado donde queda claro que las normas utilizadas en Chile no se pueden aplicar en otros países puesto que las condiciones geográficas son diferentes.

Es de relevancia el destacar que sobre la base de los datos entregados en el informe proporcionado por la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. no es posible el realizar un estudio estadístico adecuado que permita cumplir de una manera completa el objetivo

principal de este estudio, ya que al no existir datos sobre las emisiones en algunos meses y en otros, al ser las mediciones insuficientes, los datos no pueden ser tratados estadísticamente de manera de obtener resultados significativos. Por esto sólo es posible en base a estimaciones, el determinar las zonas más afectadas por las emisiones atmosféricas emitidas por la planta Celulosa Arauco y no en base a valores estadísticos. Esto debido a que según CONAMA (1999) en el caso de Chile existe una norma, la cual exige a la planta de Celulosa Arauco y Constitución S.A. presentar informes trimestrales, dentro de los cuales sólo se exige un mes de éste.

A partir de los datos obtenidos en este trabajo y de su comparación con la poca literatura existente, se puede concluir que:

Las zonas de mayor exposición a los gases TRS, SO₂, NO_x y MP son las que se localicen en las zonas NE, NO y SE principalmente; esto con respecto a la localización de la planta; sin embargo durante los períodos otoño-invierno las emisiones bajan en comparación con los meses de mayor calor como primavera-verano.

Por otro lado aquellos sectores aledaños a la estación de monitoreo que presenta las concentraciones más altas de TRS, SO₂, NO_x y MP10 y, a su vez, cuando los vientos se dirijan en dirección al sector donde se encuentre aquella estación, son los que presentan la mayor exposición a la contaminación por los gases emitidos por la empresa.

Producto de la baja cantidad y desigualdad de mediciones, no es posible establecer si existe o no diferencia significativa entre las tres estaciones de monitoreo.

Es importante destacar que las zonas que fueron encontradas más expuestas (Puile y Ciruelos), son principalmente de explotación forestal y no ganadera. Por esta razón la contaminación no es de importancia significativa para la salud pública, ya que no afecta directamente a la cadena trófica.

Queda en evidencia que la estación del año es un factor determinante en los niveles de contaminación, siendo el viento el principal agente de dispersión de estos, por lo que existiría una relación directa entre temperatura, dirección de los vientos y niveles detectado en las torres de monitoreo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alexandroff M. 1995. Estimación de los coeficientes técnicos de contaminación generados por la industria forestal en Chile. *Memoria de título*, Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Chile.
- Arteaga C, H Durán. 2002. *Informe de la Segunda Reunión de la Conferencia Estadística de las Américas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe*, Santiago, Chile. Pp 35-39.
- Ballester F. 2005. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Rev Esp Salud Pública* 79, 75-159.
- Baos R, V Vergara. 1991. Manual de educación ambiental forestal. CONAF, V Región, Valparaíso, Chile, Pp 153-161.
- Barrios S, F Peña, S Oses. 2004. Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años. *Rev Cienc y enferm* 2, 21-29.
- Bridgman H. 1990. Global Air Pollution: Problems for the 1990. Behaven Press (ed). London, England, Pp 112-149.
- Caldwell L. 1993. Ecología, ciencia y política medioambiental. McGraw-Hill (ed). España, Pp 113-124.
- Caponetto M, M Cuervo, M Manzanares, J Mosquera. 2006. Industria de la celulosa. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Mendoza, Argentina.
- Clement R, R Kagel. 1990. Emissions from combustion processes: origin, measurements control. CRC (ed).USA, Pp 25-39.
- Cabrera B, S Parra. 1999. Defendamos nuestra madera. INFOR, *Documento de difusión N°11*. Santiago, Chile, Pp 15-18.
- Campos J. 1998. Productos forestales no madereros en Chile. FAO, *Serie Forestal N°10*. Santiago, Chile, Pp 65-83.
- CELCO, Celulosa Arauco y Constitución, Chile. 2006. Informe interno. Trimestres 2005-2006.

- CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Chile. 1997. *Seminario taller de entrenamiento para manejo de contaminación ambiental: Plomo y otros metales pesados en el aire*. Santiago, Chile, Pp 35-68.
- CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Chile. 1999. Sistema de evaluación de impacto ambiental. "Seguimiento y fiscalización de proyectos".
- CORMA, Corporación Chilena de la Madera, Chile. 1991. Chile, País Forestal. Depto. del Bosque Nativo. Pp 51-55.
- Cuadrat J. 1997. Climatología. Cátedra (ed). España, Pp 31-59.
- De la Maza C, J Gonzalez, M Alexandroff. 1997. Indicadores de contaminación generados por la industria forestal en Chile. *Rev Cs forest* 12, 65-76.
- Doménech X. 1997. Química Ambiental. El impacto ambiental de los residuos. Miraguano (ed). Madrid, España, Pp 153-181.
- EPA, Environmental Protection Agency, U.S. 1993. Economic Impact and Regulatory Flexibility Analysis of the Proponed Effluent Guidelines and Neshap for the Pulp, Paper and Paperboard Industry.
- Estrada M, C Mendoza, C Romero. 2005. Simulación numérica del proceso de quemado de gases para la reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x). *Rev Inf tecnol* 17, 45-52.
- Ferrari F, G Ramirez. 1998. Chile: País Forestal. Manual de detección y control de plagas y enfermedades presentes y potenciales en plantaciones de pino y eucalipto. Aníbal Pinto (ed). Chile, Pp 114-115.
- Garcés L, M Hernández. 2004. La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Rev Lasall de Invest* 1, 67-72.
- Guajardo R, J Arrambiede. 2002. Índices de intensidad de contaminación atmosférica: Una aplicación para el área metropolitana de Monterrey, Nuevo México. *Rev Int Contam Ambient* 18, 179 – 189.
- Harrison R. 1990. Pollution causes, effects and control. Royal society of chemistry (ed). London, England, Pp 86-93.
- Herrera M. 1999. Lluvia ácida, aspectos fisicoquímicos y ambientales. Instituto de Estudios Ambientales. Palmira, Colombia, Pp 129-131.
- Huggett R. 1997. Environmental Change: The Evolving Ecosphere. Routledge (ed). London, England, Pp 115-132.

- INFOR, Instituto Forestal, Chile. 1997. Estadísticas Forestales. Santiago, Chile, Pp 98-100.
- Kiely G. 1999. Ingeniería ambiental. 1° Edición. Contaminación atmosférica. McGraw-Hill (ed). España, Pp 453-521.
- Knigh P. 1994. Problemas y procesos en la Industria Mundial del Papel. Cipma (ed). Chile, Pp 10, 58-63.
- López M, L. Sánchez. 1995. Problemas causados por la contaminación de las industrias elaboradoras de celulosa. Chile Forestal, *Documento Técnico N°94*, Santiago, Chile, Pp 1-7.
- Marrero L. 1981. La tierra y sus recursos. Caracas, Venezuela. Cultural Venezolana S.A. (ed). Caracas, Venezuela, Pp 395-399.
- Martin G., R. Hall , J. Biomin. 1979. “Nitrogen oxides control technology for stationary area and point sources and related implementationposts”, technical symposium on implications of a low NO_x. Blackwell (ed). USA, Pp 75-83.
- Ministerio de Minería. 1992. Decreto Supremo N° 185. Santiago, Chile, Pp 1-3.
- Ministerio de Salud. 1978. Decreto Supremo N° 1215. Santiago, Chile, Pp 2-5.
- Ministerio de Salud. 1997. División de Salud Ambiental. Metodologías apropiadas: “Metodologías de medición y análisis de emisiones de fuentes fijas”. Santiago, Chile, Pp 1-16.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 1999. Decreto Supremo No. 167.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2002. Decreto Supremo No. 114
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2002. Decreto Supremo No. 113.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2001. Decreto Supremo No. 45.
- Myers N. 1992. El futuro de la Tierra. En: Celeste (ed). España, Pp 86-93.
- OMS, Organización Mundial de la Salud, Suiza. 2005. Manual on urbane air quality management. Pp 36-56.

- Patier F. 1997. La atmósfera: Contaminación atmosférica, compuestos gaseosos: Propiedades, fuentes, distribución y destino. *Rev Esp salud Pública* 73, 123-132.
- Patrick D. 1994. Toxic air pollution handbook. McGraw-Hill (ed). USA, Pp 27-59.
- Peña F, L Henríquez. 2002. Evaluación de la aplicabilidad de la Norma ISO 14001 en empresas de la Región de La Araucanía. *Rev Info Tecno* 13, 35-40.
- Román O, M Prieto, P Mancilla. 2004. Contaminación atmosférica y daño cardiovascular. *Rev méd Chile* 132, 761-767.
- Sanhueza A. 1996. Las funciones del bosque. Chile Forestal, *Documento Técnico N° 95*. Santiago, Chile.
- Sapaj A. 1998. Potencialidad del bosque esclerófilo del valle de Colliguay (V Región) para la obtención de productos secundarios. *Memoria de título*, Escuela de Ciencias Forestales, Depto. de Silvicultura, Universidad de Chile, Chile.
- Schlegel F. 1996. Ecología y enseñanza rural: nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. *Estudio FAO Montes N° 131*. Roma, Italia, Pp 187-190.
- Seoanez M. 1998. Ecología industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa. Manual para responsables medioambientales. Pp 69-92.
- Seinfeld j. 1988. "Ozone Air Quality Models: A Critical Eview", *Journal of the Air pollution Control Association* 8, 616-645.
- Servicio de Salud. 2005. Programa de monitoreo ambiental. Calidad del aire y meteorología. Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia. Valdivia, Chile.
- Smook G. 1990. Handbook for Pulp and Paper Terminology. Angus Wilde (ed). Canada, Pp 419-420.
- Soto D. 2005. Estadísticas forestales Región de los Lagos. *Boletín Estadístico n° 113*. Valdivia, Chile.
- Spelter H. 1992. HCHO Emissions debate invites scrutiny of lab tests, economics. *Journal Panel World* 33, 22-24.
- Strahler A. 1994. Geografía física. Omega (ed). España, Pp 36-42.
- Strauss W. 1990. Contaminación del aire. Causas, efectos y soluciones. Trillas S.A. (ed). Mexico, Pp 18-63.

Valenzuela H. 1967. Nociones de silvicultura. INFOR, *Manual N° 3*. Santiago, Chile, Pp 283-289.

Young R. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Noriega (ed). México, Pp 632-653.

8. ANEXOS

Anexo 1. Emisiones atmosféricas de los gases TRS (sulfuros totalmente reducidos), SO₂ (dióxido de azufre), NO_x (óxidos de nitrógeno) y MP (Material particulado). Representado en tablas de datos, realizado por la Empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. planta Valdivia. Los datos en color rojo representan el promedio de la estación en el mes debido a que en esos días no existieron mediciones por problemas en las estaciones de monitoreo.

Concentración media diaria de TRS.			
FECHA	ROMANA FFCC (µg/m3N)	ROMANA CAMIONES (µg/m3N)	500 m al sur
9-5-05	1,65	0,87	1,24
10-5-05	2,56	0,66	0,94
11-5-05	1,30	0,86	1,22
12-5-05	1,71	0,67	0,74
13-5-05	0,85	0,61	0,89
14-5-05	0,53	0,42	0,60
15-5-05	0,20	0,53	0,74
16-5-05	0,38	0,84	1,19
17-5-05	0,34	0,79	1,12
18-5-05	0,19	0,78	1,10
19-5-05	0,14	0,51	0,72
20-5-05	0,13	0,44	0,62
21-5-05	0,28	0,73	1,04
22-5-05	0,12	0,51	0,71
23-5-05	0,24	0,62	0,89
24-5-05	0,23	0,40	0,56
25-5-05	0,26	0,67	0,95
26-5-05	0,23	0,83	1,18
27-5-05	0,69	0,90	1,41
28-5-05	0,59	1,29	1,83
29-5-05	0,20	0,43	0,61
30-5-05	0,05	0,73	1,04
31-5-05	0,68	0,56	1,02
1-7-05	0,21	0,64	0,80
2-7-05	0,17	0,68	0,85
3-7-05	0,04	0,28	0,35
4-7-05	0,01	0,16	0,22
5-7-05	0,01	0,08	0,12
6-7-05	0,47	0,27	0,72
7-7-05	0,16	0,27	0,41
8-7-05	0,73	0,33	0,41
9-7-05	0,22	0,26	0,31
10-7-05	0,02	0,14	0,21
11-7-05	0,01	0,18	0,25

12-7-05	0,01	0,25	0,41
13-7-05	0,02	0,18	0,35
14-7-05	0,01	0,09	0,12
15-7-05	0,01	0,00	0,00
16-7-05	0,15	0,29	0,67
17-7-05	0,06	0,05	0,06
18-7-05	0,01	0,01	0,01
19-7-05	0,61	0,08	0,35
20-7-05	0,84	0,12	0,16
21-7-05	0,29	0,05	0,21
22-7-05	0,01	0,00	0,00
23-7-05	0,01	0,07	0,09
24-7-05	0,01	0,00	0,00
25-7-05	0,04	0,06	0,17
26-7-05	0,24	0,56	0,74
27-7-05	0,16	0,30	0,52
28-7-05	0,16	0,41	0,61
29-7-05	0,16	0,40	0,50
30-7-05	0,07	0,56	0,33
31-7-05	0,01	0,85	0,33
1-11-05	0,39	1,32	0,39
2-11-05	0,39	1,32	0,39
3-11-05	0,39	1,38	0,39
10-1-06	0,58	1,82	1,90
11-1-06	0,68	2,36	2,65
12-1-06	0,59	2,66	2,92
13-1-06	0,56	2,68	2,93
14-1-06	0,65	2,39	2,66
15-1-06	1,01	2,70	3,26
16-1-06	0,35	3,33	3,51
17-1-06	0,39	2,80	2,91
18-1-06	0,33	2,32	2,25
19-1-06	0,34	2,56	2,56
20-1-06	0,28	3,18	3,26
21-1-06	0,28	3,19	3,27
22-1-06	0,27	2,94	2,95
23-1-06	0,26	2,81	2,77
24-1-06	0,25	2,79	2,64
25-1-06	0,23	3,34	2,84
26-1-06	0,24	3,13	2,92
27-1-06	0,25	2,17	3,93
28-1-06	0,25	3,38	2,64
29-1-06	0,29	3,33	3,09
30-1-06	0,44	3,35	2,82
31-1-06	0,69	3,24	3,13
1-5-06	7,48	6,85	7,06
2-5-06	7,20	6,15	6,00
3-5-06	6,84	3,99	3,90
4-5-06	6,34	3,05	3,53
5-5-06	6,50	3,43	3,22
6-5-06	6,99	6,41	4,44
7-5-06	7,44	5,96	3,45

8-5-06	7,79	3,99	2,20
9-5-06	8,05	3,70	2,13
10-5-06	8,41	1,60	2,76
11-5-06	8,33	2,06	4,24
12-5-06	6,49	1,60	3,54
13-5-06	6,98	5,66	3,06
14-5-06	6,99	4,26	2,81
15-5-06	6,97	3,88	2,08
16-5-06	6,94	5,81	3,46
17-5-06	6,77	6,18	4,65
18-5-06	6,22	6,20	5,77
19-5-06	6,24	6,69	5,02
20-5-06	6,06	4,88	4,62
21-5-06	5,83	4,76	4,21
22-5-06	5,79	4,53	5,01
23-5-06	5,51	2,90	6,09
24-5-06	5,02	2,18	6,13
25-5-06	4,83	2,34	6,19
26-5-06	4,18	3,94	5,85
27-5-06	3,49	1,86	4,71
28-5-06	2,84	3,23	4,58
29-5-06	2,16	5,16	4,55
30-5-06	1,73	2,68	3,92
31-5-06	1,4	2,92	4,1
01-09-2006	0,67	3,57	1,29
02-09-2006	1,04	3,19	1,79
03-09-2006	0,56	2,08	1,48
04-09-2006	0,89	1,66	1,54
05-09-2006	0,72	1,73	0,89
06-09-2006	0,59	1,73	0,79
07-09-2006	0,47	0,47	0,49
08-09-2006	0,93	1,08	0,56
09-09-2006	0,46	1,44	0,52
10-09-2006	0,51	1,44	0,51
11-09-2006	0,49	1,32	1,18
12-09-2006	1,02	1,18	1,46
13-09-2006	1,21	2,04	1,60
14-09-2006	0,77	1,76	1,44
15-09-2006	1,36	1,78	1,40
16-09-2006	0,57	0,84	1,96
17-09-2006	0,65	0,46	1,51
18-09-2006	0,58	0,50	1,94
19-09-2006	0,64	1,29	1,68
20-09-2006	0,60	1,54	1,99
21-09-2006	0,35	0,66	1,60
22-09-2006	0,37	0,63	1,29
23-09-2006	0,63	1,46	1,22
24-09-2006	0,63	1,13	1,63
25-09-2006	0,63	0,55	1,47
26-09-2006	0,59	0,58	1,54
27-09-2006	0,69	0,40	1,29
28-09-2006	0,78	0,79	1,11

29-09-2006	0,57	0,27	1,06
30-09-2006	0,69	0,51	0,50

Concentración media diaria de SO₂			
FECHA	ROMANA FFCC (µg/m³N)	ROMANA CAMIONES (µg/m³N)	500 m al sur
9-5-05	0,03	0,01	0,03
10-5-05	0,03	0,01	0,02
11-5-05	0,03	0,01	0,02
12-5-05	0,03	0,01	0,02
13-5-05	0,03	0,01	0,01
14-5-05	0,03	0,01	0,01
15-5-05	0,03	0,01	0,02
16-5-05	0,03	0,01	0,02
17-5-05	0,03	0,01	0,02
18-5-05	0,03	0,01	0,02
19-5-05	0,03	0,01	0,02
20-5-05	0,03	0,01	0,01
21-5-05	0,02	0,01	0,01
22-5-05	0,02	0,01	0,01
23-5-05	0,02	0,01	0,01
24-5-05	0,02	0,01	0,01
25-5-05	0,02	0,01	0,02
26-5-05	0,01	0,01	0,02
27-5-05	0,02	0,01	0,01
28-5-05	0,03	0,01	0,02
29-5-05	0,03	0,01	0,02
30-5-05	0,03	0,01	0,02
31-5-05	0,03	0,01	0,02
1-7-05	3,19	1,42	0,44
2-7-05	3,26	1,42	0,42
3-7-05	2,60	1,50	0,52
4-7-05	2,25	1,07	0,95
5-7-05	2,58	1,07	0,87
6-7-05	2,67	1,07	0,76
7-7-05	2,41	0,73	0,36
8-7-05	2,37	0,83	0,23
9-7-05	2,05	0,83	0,37
10-7-05	2,16	0,67	0,29
11-7-05	2,17	0,83	0,28
12-7-05	2,15	0,81	0,36
13-7-05	1,82	0,87	0,36
14-7-05	1,84	1,11	0,31
15-7-05	1,55	0,97	0,51
16-7-05	1,54	1,03	0,25
17-7-05	1,38	0,92	0,27
18-7-05	1,27	0,98	1,04
19-7-05	1,61	0,92	0,23
20-7-05	1,27	1,09	0,25

21-7-05	0,88	1,16	0,33
22-7-05	1,06	1,00	0,61
23-7-05	0,81	0,85	0,15
24-7-05	1,08	0,74	0,19
25-7-05	0,86	0,77	0,27
26-7-05	0,95	0,70	0,28
27-7-05	1,08	0,80	0,36
28-7-05	0,92	1,61	0,45
29-7-05	1,15	2,06	0,51
30-7-05	0,73	2,28	0,47
31-7-05	0,62	1,07	0,45
1-11-05	2,53	16,48	3,62
2-11-05	3,05	15,74	4,56
3-11-05	2,33	7,83	5,17
10-1-06	15,21	8,59	4,42
11-1-06	13,82	8,10	4,25
12-1-06	15,96	9,32	4,17
13-1-06	17,08	9,63	4,87
14-1-06	12,98	6,96	4,42
15-1-06	13,95	8,31	3,54
16-1-06	16,06	9,75	3,69
17-1-06	20,29	12,12	4,64
18-1-06	16,99	8,88	5,81
19-1-06	15,54	7,92	5,67
20-1-06	17,11	9,18	5,50
21-1-06	19,04	9,78	6,62
22-1-06	14,78	6,92	6,48
23-1-06	15,46	6,61	7,40
24-1-06	16,01	7,01	7,74
25-1-06	20,68	9,69	18,87
26-1-06	35,35	20,11	8,72
27-1-06	37,94	21,96	8,77
28-1-06	20,05	8,43	9,48
29-1-06	15,93	5,37	9,58
30-1-06	17,04	6,10	9,67
31-1-06	16,99	7,20	8,25
1-5-06	18,40	3,10	1,32
2-5-06	16,33	3,10	1,40
3-5-06	15,00	3,69	1,33
4-5-06	12,90	4,61	1,21
5-5-06	12,60	3,85	1,99
6-5-06	14,44	4,04	1,06
7-5-06	16,05	4,70	1,74
8-5-06	16,90	5,86	1,93
9-5-06	14,83	5,11	1,99
10-5-06	12,71	4,23	14,02
17-07-2006	4,4	2,39	0,48
18-07-2006	3,83	2,58	1,57
19-07-2006	3,74	2,98	2,46
20-07-2006	3,84	3,16	1,13
21-07-2006	4,4	3,24	1,2
22-07-2006	3,35	3,1	1,24

23-07-2006	1,07	2,85	0,83
24-07-2006	1,4	2,87	0,87
25-07-2006	2,16	3,17	1,18
26-07-2006	2,52	3,31	0,69
27-07-2006	1,58	3,54	1,01
28-07-2006	2,51	3,51	1,74
29-07-2006	10,72	3,31	1,62
30-07-2006	10,44	3,7	1,32
31-07-2006	13,63	3,53	1,21
01-08-2006	12,69	3,35	1,57
02-08-2006	0,9	3,26	1,42
03-08-2006	4,44	3,86	2,1
04-08-2006	6,4	4,46	1,18
05-08-2006	7,04	4,7	1,16
06-08-2006	4,51	4,93	0,62
07-08-2006	4,65	4,93	0,88
08-08-2006	2,89	4,67	1,49
09-08-2006	1,89	4,23	0,95
10-08-2006	2,63	4,8	0,81
11-08-2006	5,02	4,66	1,59
12-08-2006	7,38	3,64	1,59
13-08-2006	9,51	4,23	1,58
14-08-2006	8,89	3,91	1,65
15-08-2006	7,9	4	1,62
16-08-2006	6,59	3,97	1,52
17-08-2006	7,42	3,51	1,74
18-08-2006	6,37	3,64	1,19

Concentración media diaria de NO_x			
FECHA	ROMANA FFCC (µg/m³N)	ROMANA CAMIONES (µg/m³N)	500 m al sur
9-5-05	4,7	14,9	4,2
10-5-05	5,9	14,9	3,6
11-5-05	6,0	14,8	4,1
12-5-05	6,1	14,8	4,5
13-5-05	6,0	14,8	4,4
14-5-05	6,0	14,8	4,7
15-5-05	5,9	14,8	5,0
16-5-05	5,9	14,8	4,2
17-5-05	5,9	14,9	3,4
18-5-05	5,8	14,8	4,6
19-5-05	5,8	14,7	4,8
20-5-05	5,8	14,7	4,5
21-5-05	6,5	14,8	4,3
22-5-05	5,9	14,8	4,4
23-5-05	5,9	14,8	4,2

24-5-05	5,9	14,8	5,0
25-5-05	5,9	14,8	4,3
26-5-05	6,6	14,8	4,5
27-5-05	5,9	14,8	4,6
28-5-05	5,9	14,8	5,2
29-5-05	5,8	14,8	4,6
30-5-05	5,9	14,8	5,1
31-5-05	5,9	14,8	5,6
1-7-05	3,2	12,9	6,2
2-7-05	2,7	12,9	5,8
3-7-05	2,3	10,7	7,6
4-7-05	3,3	17,7	5,5
5-7-05	3,1	17,7	4,0
6-7-05	6,3	17,7	4,6
7-7-05	2,8	4,7	4,2
8-7-05	3,2	7,6	3,3
9-7-05	2,8	11,9	4,0
10-7-05	2,6	10,9	3,0
11-7-05	3,0	14,0	4,1
12-7-05	2,9	9,8	3,7
13-7-05	2,3	12,3	2,5
14-7-05	3,5	10,5	4,3
15-7-05	2,3	12,2	4,7
16-7-05	2,8	9,6	4,1
17-7-05	2,1	16,3	4,3
18-7-05	2,8	23,3	4,0
19-7-05	2,4	18,8	2,1
20-7-05	2,6	16,5	4,5
21-7-05	2,7	9,7	3,4
22-7-05	2,5	16,9	4,1
23-7-05	1,9	15,4	4,7
24-7-05	2,2	22,1	5,1
25-7-05	3,0	30,7	5,4
26-7-05	4,4	34,2	3,0
27-7-05	4,1	35,8	5,0
28-7-05	3,7	30,6	5,6
29-7-05	3,4	35,7	5,6
30-7-05	2,6	30,6	2,9
31-7-05	2,6	17,7	3,0
1-11-05	9,6	3,6	11,2
2-11-05	9,7	3,6	8,8
3-11-05	9,8	3,5	6,1
10-1-06	6,0	84,5	93,5
11-1-06	5,9	53,4	97,9
12-1-06	3,6	74,4	123,2
13-1-06	6,7	50,8	138,2
14-1-06	6,4	71,8	138,0
15-1-06	5,9	57,0	135,3
16-1-06	9,2	53,3	146,8
17-1-06	6,1	62,9	163,3
18-1-06	6,8	82,8	160,1
19-1-06	7,6	84,5	144,5

20-1-06	8,8	75,9	150,0
21-1-06	9,9	67,6	120,1
22-1-06	5,7	70,4	130,7
23-1-06	9,1	78,1	189,2
24-1-06	11,2	84,0	93,0
25-1-06	5,2	58,2	145,6
26-1-06	5,9	66,7	145,8
27-1-06	6,8	48,7	165,8
28-1-06	9,7	62,2	197,3
29-1-06	6,7	56,7	167,9
30-1-06	5,1	49,6	160,5
31-1-06	6,7	46,2	135,4
1-5-06	51,3	97,2	15,3
2-5-06	57,9	69,0	14,7
3-5-06	49,3	69,0	17,2
4-5-06	52,9	77,1	19,3
5-5-06	60,8	40,4	16,7
6-5-06	51,0	39,0	15,0
7-5-06	50,6	44,0	13,3
8-5-06	51,0	56,6	10,3
9-5-06	53,0	59,1	3,3
10-5-06	54,1	60,1	3,6
17-07-2006	20,63	10,66	5
18-07-2006	32,06	24,47	2,28
19-07-2006	27,38	19,06	8,41
20-07-2006	31,11	24,37	3,29
21-07-2006	27,22	22,76	6,29
22-07-2006	27,91	24,11	3,34
23-07-2006	14,27	7,53	3,64
24-07-2006	18,01	9,41	4,27
25-07-2006	21,18	13,24	4,95
26-07-2006	29,63	35,29	3,38
27-07-2006	29,66	35,78	5,74
28-07-2006	31,71	38,43	8,14
29-07-2006	36,76	46,59	7,29
30-07-2006	32,13	35,3	3,5
31-07-2006	36,73	40,31	7,6
01-08-2006	40,02	38,15	10,31
02-08-2006	34,76	33,32	8,62
03-08-2006	35,53	42,7	9,14
04-08-2006	45,98	43,09	6,41
05-08-2006	38,52	35,22	4,18
06-08-2006	27,33	26,24	4,6
07-08-2006	26,68	31,12	7,71
08-08-2006	22,37	23,69	6,08
09-08-2006	25,78	22,02	5,46
10-08-2006	15,96	18,82	4,23
11-08-2006	18,67	25,03	3,85
12-08-2006	24,9	22,97	8,08
13-08-2006	22,95	10,93	3,31
14-08-2006	25,82	18,38	2,35
15-08-2006	23,51	27,55	3,55

16-08-2006	27,69	24,59	4,91
17-08-2006	31,79	38,13	6,2
18-08-2006	35,8	37,95	6,67

Concentraciones diarias de Material Particulado (PM10)			
FECHA	ROMANA FFCC (mg/m3N)	ROMANA CAMIONES (mg/m3N)	500 m al sur (mg/m3N)
07-05-05	7,1	8,8	20,0
10-05-05	6,0	8,8	8,0
14-05-05	8,0	8,8	7,0
21-05-05	7,0	8,8	8,0
22-05-05	5,0	7,0	6,0
23-05-05	7,0	13,0	6,0
26-05-05	6,0	8,0	5,0
27-05-05	7,0	8,0	10,0
28-05-05	7,1	6,0	9,0
29-05-05	7,1	12,0	9,0
30-05-05	11,0	8,0	11,0
31-05-05	7,1	8,0	9,0
01-07-05	5,0	8,0	5,4
04-07-05	6,0	8,0	5,0
07-07-05	6,9	10,4	5,4
10-07-05	8,0	8,0	6,0
13-07-05	4,0	6,0	3,0
16-07-05	9,0	9,0	6,0
18-07-05	8,0	15,0	5,0
21-07-05	9,0	23,0	6,0
23-07-05	9,0	17,0	5,0
29-07-05	5,0	4,0	5,0
31-07-05	6,0	6,0	6,0
01-10-05	10,0	42,9	7,0
02-10-05	13,9	42,9	4,9
03-10-05	9,9	47,1	6,2
04-10-05	17,6	73,5	6,8
07-10-05	20,2	83,6	4,9
10-10-05	13,7	22,2	6,5
13-10-05	13,9	48,5	4,9
16-10-05	17,1	25,8	8,1
19-10-05	21,4	31,1	8,6
22-10-05	5,1	28,5	4,7
25-10-05	21,7	50,4	6,9
28-10-05	6,9	17,9	5,2
30-10-05	8,9	42,9	6,2
31-10-05	13,9	42,9	6,2
03-02-06	25,3	55,5	36,0

06-02-06	25,3	23,2	11,3
02-05-06	24,9	45,8	16,8
05-05-06	16,5	29,7	16,8
08-07-2006	11,1	10,6	9,1
11-07-2006	9	10,4	7
13-07-2006	22	27,7	7,1
17-07-2006	9,2	15,5	14,5
20-07-2006	11,4	13,1	10,6
23-07-2006	6,7	7,3	7
26-07-2006	8,3	11,3	6,1
29-07-2006	12	21,1	6,4
01-08-2006	19,5	24	15,1
04-08-2006	8,5	12	7,9
07-08-2006	8,9	9,7	11,3
10-08-2006	6,4	7,2	6,8

Anexo 2. Análisis ANOVA realizado a los gases TRS (sulfuros totalmente reducidos), SO₂ (dióxido de azufre), NO_x (óxidos de nitrógeno) y MP (Material particulado), dentro de cada trimestre del periodo en estudio.

PM10

Trimestre 1

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FCC	12	85,4	7,116667	2,079697
ROMANA CAMIONES	12	105,2	8,766667	3,773333
500 m al sur	12	108	9	15,09091

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	25,295556	2	12,64778	1,811662	0,179257	3,284918
Within Groups	230,38333	33	6,981313			
Total	255,67889	35				

Trimestre 2

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	11	75,9	6,9	3,29
ROMANA CAMIONES	11	114,4	10,4	32,24
500 m al sur	11	57,8	5,254545	0,760727

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	151,9218	2	75,96091	6,279365	0,005272	3,31583
Within Groups	362,9073	30	12,09691			
Total	514,8291	32				

Trimestre 3

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	14	194,2	13,87143	27,95297
ROMANA CAMIONES	14	600,2	42,87143	337,7376
500 m al sur	14	87,1	6,221429	1,481813

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	10466,14	2	5233,072	42,75707	1,48E-10	3,238096
Within Groups	4773,241	39	122,3908			
Total	15239,38	41				

Trimestre 4

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	2	50,6	25,3	0
ROMANA CAMIONES	2	78,7	39,35	521,645
500 m al sur	2	47,3	23,65	305,045

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	297,7433	2	148,8717	0,540245	0,630396	9,552094
Within Groups	826,69	3	275,5633			
Total	1124,433	5				

Trimestre 5

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	2	41,4	20,7	35,28
ROMANA CAMIONES	2	75,5	37,75	129,605
500 m al sur	2	33,6	16,8	0

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	496,5433	2	248,2717	4,517179	0,124465	9,552094
Within Groups	164,885	3	54,96167			
Total	661,4283	5				

Trimestre 6

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	12	133	11,08333	23,56152
ROMANA CAMIONES	12	169,9	14,15833	44,20811
500 m al sur	12	108,9	9,075	9,825682

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	157,3172	2	78,65861	3,04111	0,061351	3,284918
Within Groups	853,5483	33	25,8651			
Total	1010,866	35				

TRS**Trimestre 1**

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	23	13,55	0,58913	0,406199
ROMANA CAMIONES	23	15,65	0,680435	0,042459
500 m al sur	23	22,36	0,972174	0,091809

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1,841307	2	0,920654	5,110325	0,008641	3,135918
Within Groups	11,89027	66	0,180156			
Total	13,73158	68				

Trimestre 2

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	31	4,93	0,159032	0,048302
ROMANA CAMIONES	31	7,62	0,245806	0,049098
500 m al sur	31	10,28	0,331613	0,061361

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0,461658	2	0,230829	4,361807	0,015558	3,097698
Within Groups	4,762845	90	0,052921			
Total	5,224503	92				

Trimestre 3

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	3	1,17	0,39	4,62E-33
ROMANA CAMIONES	3	4,02	1,34	0,0012
500 m al sur	3	1,17	0,39	4,62E-33

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1,805	2	0,9025	2256,25	2,34E-09	5,143253
Within Groups	0,0024	6	0,0004			
Total	1,8074	8				

Trimestre 4

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	22	9,21	0,418636	0,04265
ROMANA CAMIONES	22	62,47	2,839545	0,196557
500 m al sur	22	63,81	2,900455	0,178224

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	88,1755	2	44,08775	316,8506	1,33E-33	3,142809
Within Groups	8,76605	63	0,139144			
Total	96,94155	65				

Trimestre 5

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	31	183,81	5,929355	3,577693
ROMANA CAMIONES	31	128,85	4,156452	2,65069
500 m al sur	31	133,28	4,299355	1,702326

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	60,14524	2	30,07262	11,37576	3,94E-05	3,097698
Within Groups	237,9213	90	2,64357			
Total	298,0665	92				

Trimestre 6

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	30	20,66	0,688667	0,053674
ROMANA CAMIONES	30	38,08	1,269333	0,618944
500 m al sur	30	38,73	1,291	0,203009

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	7,004487	2	3,502243	11,99908	2,5E-05	3,101296
Within Groups	25,3932	87	0,291876			
Total	32,39769	89				

SO₂**Trimestre 1**

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	23	0,61	0,026522	3,28E-05
ROMANA CAMIONES	23	0,23	0,01	1,26E-35
500 m al sur	23	0,39	0,016957	3,12E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0,003165	2	0,001583	74,14815	1,32E-17	3,135918
Within Groups	0,001409	66	2,13E-05			
Total	0,004574	68				

Trimestre 2

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	31	52,28	1,686452	0,55593
ROMANA CAMIONES	31	33,18	1,070323	0,14195
500 m al sur	31	13,14	0,423871	0,048131

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	24,71345	2	12,35673	49,69117	2,89E-15	3,097698
Within Groups	22,38034	90	0,24867			
Total	47,0938	92				

Trimestre 3

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	3	7,91	2,636667	0,138133
ROMANA CAMIONES	3	40,05	13,35	22,9897
500 m al sur	3	13,35	4,45	0,6097

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	197,2737	2	98,63684	12,46593	0,007299	5,143253
Within Groups	47,47507	6	7,912511			
Total	244,7488	8				

Trimestre 4

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	22	404,26	18,37545	39,22557
ROMANA CAMIONES	22	207,94	9,451818	16,41727
500 m al sur	22	152,56	6,934545	11,27943

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1590,324	2	795,1619	35,64562	4,42E-11	3,142809
Within Groups	1405,368	63	22,30742			
Total	2995,692	65				

Trimestre 5

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	10	150,16	15,016	3,755049
ROMANA CAMIONES	10	42,29	4,229	0,758054
500 m al sur	10	27,99	2,799	15,6609

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	892,1979	2	446,0989	66,33769	3,8E-11	3,354131
Within Groups	181,566	27	6,724667			
Total	1073,764	29				

Trimestre 6

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	33	176,71	5,354848	11,34966
ROMANA CAMIONES	33	121,99	3,696667	0,477142
500 m al sur	33	43,21	1,309394	0,182368

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	272,9577	2	136,4789	34,09367	6,5E-12	3,091191
Within Groups	384,2933	96	4,003056			
Total	657,2511	98				

NO_x**Trimestre 1**

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	23	135,9	5,908696	0,109012
ROMANA CAMIONES	23	340,5	14,80435	0,002253
500 m al sur	23	103,8	4,513043	0,239368

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1433,601	2	716,8004	6132,922	1,1E-75	3,135918
Within Groups	7,713913	66	0,116877			
Total	1441,315	68				

Trimestre 2

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	31	92,1	2,970968	0,694796
ROMANA CAMIONES	31	547,4	17,65806	74,99385
500 m al sur	31	134,3	4,332258	1,400258

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4083,124	2	2041,562	79,44965	1,32E-20	3,097698
Within Groups	2312,667	90	25,6963			
Total	6395,791	92				

Trimestre 3

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	3	29,1	9,7	0,01
ROMANA CAMIONES	3	10,7	3,566667	0,003333
500 m al sur	3	26,1	8,7	6,51

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	64,96889	2	32,48444	14,93919	0,004677	5,143253
Within Groups	13,04667	6	2,174444			
Total	78,01556	8				

Trimestre 4

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	22	155	7,045455	3,447359
ROMANA CAMIONES	22	1439,7	65,44091	162,793
500 m al sur	22	3142,1	142,8227	739,5342

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	204111,9	2	102056	338,0177	2,07E-34	3,142809
Within Groups	19021,27	63	301,9249			
Total	223133,2	65				

Trimestre 5

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	10	531,9	53,19	12,89433
ROMANA CAMIONES	10	611,5	61,15	324,285
500 m al sur	10	128,7	12,87	30,31789

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	13400,07	2	6700,037	54,6946	3,19E-10	3,354131
Within Groups	3307,475	27	122,4991			
Total	16707,55	29				

Trimestre 6

Resumen

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ROMANA FFCC	33	940,45	28,49848	52,63328
ROMANA CAMIONES	33	907,21	27,49121	112,6817
500 m al sur	33	182,78	5,538788	4,501998

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	11110,78	2	5555,392	98,14196	6,17E-24	3,091191
Within Groups	5434,145	96	56,60567			
Total	16544,93	98				

9. AGRADECIMIENTOS

Es difícil tratar de resumir en esta página lo muy agradecido que estoy con todas aquellas personas de las que a lo largo de mi vida universitaria he recibido apoyo académico, moral o simplemente de amistad.

Sin embargo, agradezco en primer lugar a Dios por haberme brindado vida y salud, a mi esforzado padre, por ser quien me apoyó emocional y económicamente a lo largo de mi carrera universitaria y por supuesto, a mi madre querida, que siempre estuvo en los buenos y malos momentos brindándome a la distancia todo su respaldo. A mis hermanos, abuela (Tita) y tíos que siempre estuvieron atentos de mis pasos en estas tierras australes.

No puedo dejar de mencionar a grandes amigos (Mario Corral y Paula Gusmán) que me abrieron sus puertas y en los que en más de alguna ocasión tuve que acudir, compartiendo grandes momentos.

Fundamental fue el apoyo que recibí de Denisse Peña Huber, con quién compartí y comparto momentos inolvidables brindándome todo el apoyo necesario en mi vida personal y académica.

Agradezco también a mi profesor patrocinante de tesis Dr. Rafael Tamayo, quien me facilitó y apoyó en la realización de ésta. Aprendí con él, aspectos académicos súper importantes para el quehacer profesional, brindándome, además, su amistad. Además debo agradecer al Dr. Guillermo Ramírez, quien dedico de su propio tiempo para ayudarme y solucionar los problemas que se me iban presentando por el camino.

Es de vital importancia mencionar a un gran amigo, Ángel Roco por su gran entrega y comprensión y quien sin su ayuda hubiera sido muy difícil realizar esta tesis.

Sé que hay personas no mencionadas, que de una a otra forma me colaboraron en la realización de esta tesis, sin embargo, les estoy muy agradecido.

A todos muchas gracias...