

UCH-FC
Q. Ambiental
V176
C. 1



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

“ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE BTEX PRESENTES EN LA CUENCA DE SANTIAGO. COMPARACIÓN ENTRE LOS AÑOS 2002 Y 2009”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Mauricio Guillermo Valladares Díaz

Director de Seminario de Título y Profesor Patrocinante: Dr. Manuel Leiva

Marzo de 2013

Santiago - Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el o (la) candidato (a):

MAURICIO GUILLERMO VALLADARES DÍAZ

“ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE BTEX PRESENTES EN LA CUENCA DE SANTIAGO. COMPARACIÓN ENTRE LOS AÑOS 2002 Y 2009”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Dr. Manuel Leiva
**Director Seminario de Título y
Profesor Patrocinante**

Firma manuscrita de Manuel Leiva sobre una línea horizontal.

M. Cs. Sylvia Copaja
Corrector

Firma manuscrita de Sylvia Copaja sobre una línea horizontal.

Dra. Maria Angélica Rubio
Corrector

Firma manuscrita de Maria Angélica Rubio sobre una línea horizontal.

Santiago de Chile, Marzo de 2013



Nací el 12 de Marzo de 1985 en un pequeño pueblo al sur de Argentina. Desde muy niño sentí gran interés por la naturaleza y todos los fenómenos que forman parte de ella. Mis inquietudes las notaron mis padres que, para brindarme una educación de calidad decidieron emigrar a una metrópolis. Así llegue a Santiago a los 8 años de edad, lugar donde me entregaron aquella formación necesaria para poder optar a lo que fue durante toda mi niñez mi único objetivo, entrar a la Universidad de Chile a desarrollarme en una carrera científica.

En la Química Ambiental encontré una combinación perfecta que une la ciencia dura que es capaz de solucionar todo tipo de inquietudes, la naturaleza que tanto admiré desde pequeño y un gran compromiso social.

Mauricio Guillermo Valladares Díaz

No debe haber barreras para la libertad de preguntar.
No hay sitio para el dogma en la ciencia.
El científico es libre y debe ser libre
para hacer cualquier pregunta,
para dudar de cualquier aseveración,
para buscar cualquier evidencia,
para corregir cualquier error.

Julius Robert Oppenheimer (1904-1967)

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a mi familia, principalmente a mis padres, Marisol y José que día a día me llenan de orgullo y me dan la fuerza necesaria para seguir adelante.

A Natalia mi hermana, que con su preocupación constante y su apoyo ha sido siempre una segunda madre.

A Rodrigo, mi tío y amigo, muchas gracias por la amistad y por todo el apoyo entregado y gracias por ser un ejemplo a seguir en muchos sentidos.

Myriam, mi Tiyis, muchas gracias por estar presente en todo momento, cuidándome y llenándome de ganas de seguir.

Roxana, Jorge, Bruno y Tomas, gracias por apoyarme siempre.

Karen, mi compañera de vida, muchísimas gracias por sostenerme la mano y ser mi guía desde el principio, muchas gracias por recorrer juntos este hermoso camino.

Agradezco a mis amigos y compañeros, por cada uno de esos momentos, en especial a

Matías, muchas gracias por todo lo compartido y enseñado.

A Tamara, por todo el apoyo y cariño incondicional. Gracias por compartir tanto conmigo, por aguantarme y por ser un pilar fundamental en la parte final de esta larga etapa.

Agradezco también a todos mis profesores por entregar lo mejor y tratar de formar mejores personas, en especial a la profesora Sylvia Copaja por su apoyo, su paciencia y su inmensa ayuda.

Al profesor Manuel Leiva por su ayuda cada vez que necesite recurrir a él.

A la profesora María Angélica Rubio por su gran comprensión y buena disposición.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION	1
Objetivos	15
II. MATERIALES Y METODOS	16
III. RESULTADOS	20
3.1. BTEX Campaña Fotoquímica del año 2009	20
3.2. Análisis de la tendencia	21
3.2.1 Abundancia de BTEX en la estación de Las Condes	21
3.2.2 Abundancia de BTEX en la estación de Parque O'Higgins	22
3.2.3 Abundancia de BTEX en la estación de Peñaflor	23
3.2.4 Abundancia de BTEX en la estación de Colina	24
3.3. Capacidad oxidativa de la atmosfera	25
3.4. Análisis de datos de ozono (O ₃)	28
3.4.1. Perfil diario de O ₃	28
3.4.2. Promedio Móvil de 8 horas	29
3.5. Dirección del viento y concentración de O ₃	33
3.6. Comparación de BTEX campañas 2002 y 2009	37
3.7. Comparación de concentraciones de BTEX	39
3.7.1. Benceno	39

3.7.2. Etilbenceno -----	39
3.7.3. Tolueno -----	40
3.7.4. m,p-Xileno -----	40
3.8 Comparación de la capacidad oxidativa de la atmósfera -----	41
IV. DISCUSION -----	43
V. CONCLUSIONES -----	48
VI. REFERENCIAS -----	51
ANEXOS	
Anexo 1: Concentraciones de BTEX obtenidas de las campañas fotoquímica 2002 y 2009 -----	57
Anexo 2: Promedios horarios de las concentraciones de O ₃ obtenidos en la campaña fotoquímica 2009 -----	60
Anexo 3: Datos de dirección del viento obtenidos en la estación de Las Condes durante la campaña fotoquímica 2009 -----	62
Anexo 4: Análisis estadístico realizado para la comparación de las concentraciones de BTEX obtenidas en las campañas realizadas los años 2002 y 2009-----	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	: Constantes de velocidad (K_{OH}) de reacción con el radical OH y tiempos de vida (τ) de cada uno de los BTEX -----	8
Tabla 2	: Razones m,p-Xileno/Benceno en las cuatro zonas de monitro. Datos del las mañanas y tardes -----	26
Tabla 3	: Fechas y horas de muestreo en las campañas de 2002 y de 2009 -	38
Tabla 4	: Valores del análisis estadístico de los datos de Benceno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009 -----	39
Tabla 5	: Valores del análisis estadístico de los datos de Etilbenceno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009 -----	39
Tabla 6	: Valores del análisis estadístico de los datos de Tolueno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009 -----	40
Tabla 7	: Valores del análisis estadístico de los datos de m,p-Xileno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009 -----	40
Tabla 8	: Comparación de las razones m,p-xileno/benceno entre las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009 -----	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	: Representación geométrica de los BTEX -----	5
Figura 2	: Abundancia de BTEX en gasolinas -----	7
Figura 3	: Mapa correspondiente a la Cuenca de Santiago -----	9
Figura 4	: Celda de Hadley -----	10
Figura 5	: Esquema simplificado de las áreas formadas por las inversiones térmicas de subsidencia y de superficie durante el día y la noche	12
Figura 6	: Ubicación de las estaciones de monitoreo -----	16
Figura 7	: Estación de monitoreo -----	17
Figura 8	: a) Monitor continuo de O ₃ (Thermo Model 49i). d) Monitor continuo de NO _x (Thermo Model 42i) -----	17
Figura 9	: Canister utilizados en funcionamiento -----	18
Figura 10	: Análisis de COV en el DRI -----	19
Figura 11	: Abundancia de BTEX en la estación de Las Condes, días 16, 17, 20 y 23 de Diciembre de 2009 -----	21
Figura 12	: Abundancia de BTEX en la estación de Parque O'Higgins, días 16, 17 y 23 de Diciembre de 2009 -----	22
Figura 13	: Abundancia de BTEX en la estación de Peñaflor, días 16, 17, 20 y 23 de Diciembre de 2009 -----	23
Figura 14	: Abundancia de BTEX en la estación de Colina, días 16, 20 y 23 de Diciembre de 2009 -----	24
Figura 15	: Razones m,p-Xileno/Benceno en la campaña fotoquímica 2009	27
Figura 16	: Perfil diario de ozono (O ₃) -----	28

Figura 17	: Promedio móvil de O ₃ de 8 horas para la estación de Colina ----	29
Figura 18	: Promedio móvil de O ₃ de 8 horas para la estación de Las Condes -----	30
Figura 19	: Promedio móvil de O ₃ de 8 horas para la estación de Parque O'Higgins -----	30
Figura 20	: Promedio móvil de O ₃ de 8 horas para la estación de Peñaflor --	31
Figura 21	: Concentración de O ₃ en relación a la dirección del viento -----	33
Figura 22	: Concentración de O ₃ en relación a la dirección del viento. Distribución Día y Noche -----	34
Figura 23	: Concentración de O ₃ en relación a la dirección del viento. Distribución horaria -----	35
Figura 24	: Comparación de las razones m,p-xileno/benceno entre las campañas -----	42

LISTA DE ABREVIATURAS

BTEX	: Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos
COV	: Compuestos Orgánicos Volátiles
DRI	: Desert Research Institute
GTZ	: Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica
HO ₂	: Radical Hidroperoxi
HSS	: Department of Health and Human Services
IARC	: International Agency for Research on Cancer
·OH	: Radical Hidroxilo
ppb	: Partes por billón (μg/L)
RO	: Radical Alcóxido
RO ₂	: Radical Peroxi
U.S. EPA	: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

RESUMEN

El presente trabajo se muestra un análisis de contaminación en la Región Metropolitana, medido a través de variables fotoquímicas, más precisamente, un análisis de la contaminación producto de un grupo de compuestos altamente peligrosos pertenecientes al conjunto de los compuestos orgánicos volátiles (COV), los denominados BTEX.

Con este análisis se busca como objetivo la caracterización de estos contaminantes en la Región Metropolitana de Santiago, junto con desarrollar un monitoreo representativo de este tipo de compuestos y finalmente determinar el nivel de oxidación de COV respecto a la concentración de ozono (O_3) que presenta la cuenca.

En cuanto a la metodología de análisis, esta consistió en un estudio de contaminación fotoquímica y correspondientemente recolección de datos *in situ* de, dirección del viento, NO_x y O_3 obtenidos en estaciones de monitoreo ubicadas en los sectores de Peñaflores, Parque O'Higgins, Las Condes y Colina, en conjunto con la realización de una campaña de monitoreo de COV en cada una de las estaciones.

Se destaca la participación del Desert Research Institute (DRI) en la especiación de compuestos orgánicos volátiles.

De este estudio se obtuvo como resultado que las mayores concentraciones de precursores de ozono (NO_x y COV) se encuentran en la zona central de la Región Metropolitana (Parque O'Higgins), sin embargo las mayores concentraciones de O₃ se registran en el sector noreste de la capital con un desfase de una hora en Las Condes y dos horas en Colina respecto a los niveles máximos alcanzados en Parque O'Higgins. Esto, sumado a que la dirección del viento predominante en la zona durante el periodo de estudio fue Sur Oeste, indica que las altas concentraciones de O₃ en el sector nororiente de Santiago la transforman en una zona receptora de contaminación, ya que se deben al fenómeno de transporte de los contaminantes desde la zona central.

Los resultados obtenidos también permitieron realizar un análisis comparativo en las distintas zonas de estudio basándose en la razón Xileno/Benceno, con lo cual se observó que las zonas que presentan mayores concentraciones de O₃ son también aquellas zonas que cuentan con una atmósfera más oxidada, es decir, con un menor cociente entre ambas especies seleccionadas.

Los resultados de esta campaña de monitoreo fotoquímico, se compararon con los resultados de una campaña similar realizada el año 2002, con coincidencia de lugares de monitoreo en Las Condes y Parque O'Higgins. De acuerdo a los resultados de esta comparación se puede observar una significativa disminución en las concentraciones de BTEX.

ABSTRACT

This report provides an analysis of pollution in the Región Metropolitana, with a methodology of measure by photochemical variables, more precisely, analysis of pollution arising from a group of highly hazardous compounds belonging to all volatile organic compounds (VOC), called BTEX.

This analysis seeks like objective characterization of these pollutants in the Región Metropolitana of Santiago, along with developing a representative monitoring of such compounds and at the same time determine the level of oxidation of VOCs respect the concentration of ozone (O_3) this geographical basin.

Respect methodology of analysis, it was a study of photochemical pollution and the data collection in situ: wind direction, NO_x and O_3 obtained from monitoring stations located in areas of Peñaflor, O'Higgins Park, Las Condes and Colina, in conjunction with conducting a campaign VOC monitoring stations each.

A special mention to the Desert Research Institute (DRI) in the speciation of volatile organic compounds.

The main result of this information is the highest concentrations of ozone precursors (NO_x and VOCs) are found in the central area of the metropolitan area (Parque O'Higgins), however the highest concentrations of O₃ are recorded in the northeastern of Santiago City with a lag of one hour and two hours Las Condes in Colina respect to peaks in O'Higgins Park. This, coupled with the prevailing wind direction in the area during the work period was SO, indicating that high concentrations of O₃ in northeastern sector of Santiago City transform it into a receiving area of contamination, and to be the phenomenon of transport of the contaminants from the central zone.

This results also permit us a comparative analysis in different areas of study based on the rate xylene / benzene, which found that areas with higher concentrations of O₃ are also areas that have a more oxidized atmosphere this means a smaller ratio of these selected species.

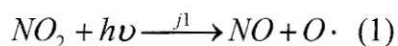
This results were compared with the results of a similar inform in 2002, with matching monitoring locations in Las Condes and Parque O'Higgins. With the results of this comparison we can see a significant decrease in the concentrations of BTEX.

I. INTRODUCCIÓN

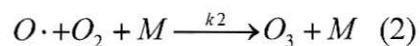
En las zonas urbanas de la Región Metropolitana (RM) de Santiago, es normal encontrar altos episodios de contaminación atmosférica, difiriendo la problemática ambiental según la estacionalidad, por ejemplo, en el caso de Santiago es común encontrar altos niveles de concentración de material particulado (MP) durante el periodo invernal, sin embargo, a pesar de las mejores condiciones de ventilación de la cuenca durante los meses de verano, es común encontrar altos niveles de contaminación producto del smog fotoquímico.

El principal indicador de contaminación de los meses de mayor temperatura, es el ozono (O_3) troposférico, contaminante secundario formado a partir de procesos fotoquímicos de precursores emitidos directamente a la atmósfera (contaminantes primarios) como los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2 , expresados de forma conjunta como NO_x) o los compuestos orgánicos volátiles (COV).

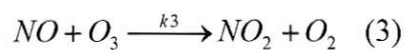
El dióxido de nitrógeno (NO_2) se fotoliza a 424 nm transformándose en una molécula de óxido de nitrógeno (NO) y un átomo de oxígeno en estado fundamental ($O\cdot$).



Este átomo de oxígeno en estado fundamental reacciona con el oxígeno molecular presente en el aire generando una molécula de ozono (O_3).



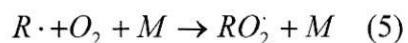
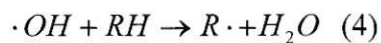
Esta molécula de ozono reacciona rápidamente con el óxido de nitrógeno generado en la fotólisis del NO_2 (1), reconstituyendo la molécula de NO_2 y la de O_2 .



Las reacciones (1) y (3) son muy rápidas, por lo que de considerar solamente estas ecuaciones, no se observaría una acumulación de O_3 .

Esta acumulación se produce debido a que la concentración de O_3 se ve incrementada, ya que en presencia de radicales peroxi ($RO_2 \cdot$) formados por reacciones entre radicales hidroxilo ($\cdot OH$) presentes en la atmósfera y compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos de forma antrópica, se produce la formación de NO_2 consumiéndose todo el NO disponible, impidiendo así el consumo de O_3 expresada en la reacción (3).

El radical $\cdot OH$ abstrae un H del hidrocarburo (COV), el que se transforma en un radical orgánico, el cual en presencia de un apagador, reacciona con una molécula de oxígeno formando el radical peroxi ($RO_2 \cdot$) (Seguel R., 2008).



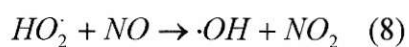
El radical peroxi oxida el NO a NO₂, formando un radical alcóxido ($RO \cdot$).



Finalmente se forma un compuesto carbonílico orgánico y un radical hidroperoxi ($HO_2 \cdot$)



Este radical hidroperoxi también es capaz de oxidar una molécula de NO a NO₂.



Como resultado global de las reacciones de COV se tiene



Es muy importante mantener baja la concentración de O₃ troposférico, ya que de ser esta elevada, puede producir graves daños en la salud de la población, por ejemplo, una concentración de 120 µg/L en una hora ó 60 µg/L en 8 horas producen una reducción de la capacidad respiratoria a nivel pulmonar de 5% (Environmental Health, 2009). Además provoca daños en la vegetación y en algunos materiales. En plantas, una concentración de 200 µg/L es capaz de producir daños foliar, necrosis, daño en los estomas, lo que disminuye la fotosíntesis (Peñuelas J. y Luisa J., 2003). En el caso de los materiales, 20 µg/L en plásticos producen pérdidas de características elásticas y producen destrucción (Lee, 1996).

1.1 Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos (BTEX)

Tomando en cuenta el complejo proceso fotoquímico que se lleva a cabo para la producción y acumulación de O_3 , diversos estudios han demostrado que si se tienen altas concentraciones de este contaminante secundario, se debe en parte a la presencia de grandes cantidades de COV, de los que entre el 20 y el 40% corresponden a hidrocarburos aromáticos (Zalel A., 2007).

Como consecuencia de lo anteriormente mencionado, se observa una problemática muy poco abordada en nuestro país, esta es, las grandes cantidades de hidrocarburos aromáticos emitidos a la atmosfera, siendo los más significativos los derivados del Benceno con constituyentes alquílicos como el Tolueno, el Etilbenceno y los Xilenos (o Dimetilbencenos) en sus tres formas isoméricas (orto, meta y para). Este grupo son denominados BTEX.

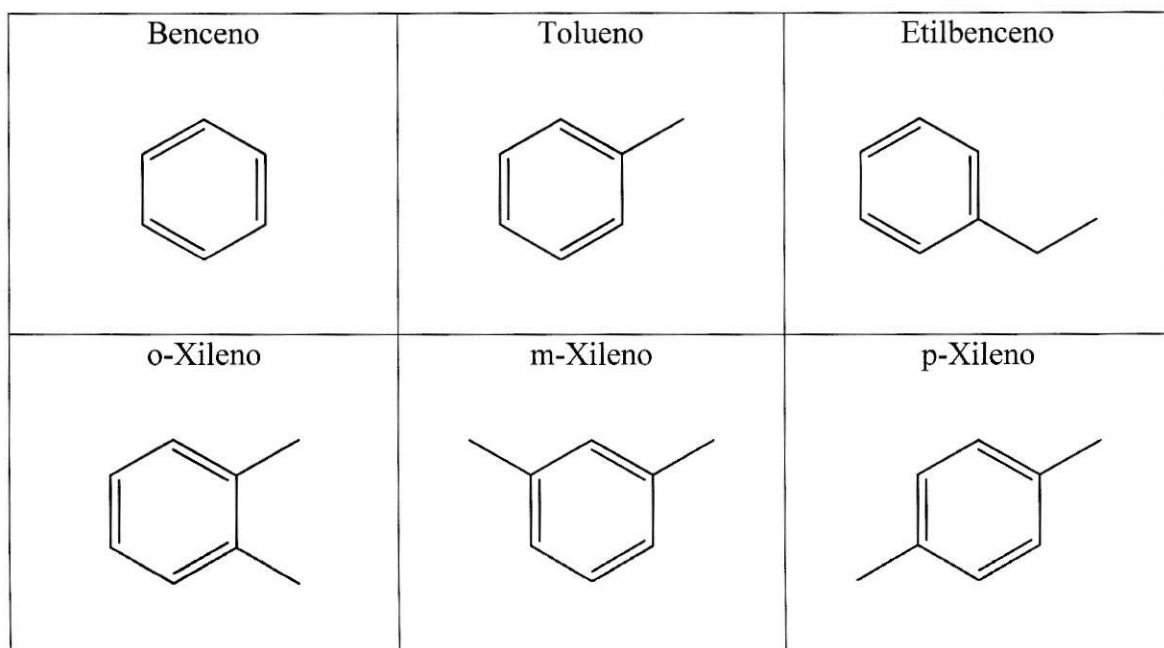


Figura 1: Representación geométrica de los BTEX

1.2 Efectos de los BTEX sobre la salud

Estos contaminantes toman un papel relevante, debido al gran impacto que provocan en la salud de las personas. El Benceno por su parte, es un compuesto cancerígeno que puede provocar leucemia según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S Environmental Protection Agency, U.S EPA) y el Departamento de Salud y Servicio Social de Estados Unidos (Department of Health and Human Services, HSS). El Etilbenceno según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer, IARC) es un contaminante posiblemente cancerígeno para humanos, mientras que el Tolueno y los Xilenos no son cancerígenos según la U.S EPA y la IARC, pero al igual que el Benceno y el Etilbenceno, las exposiciones prolongadas a este contaminante, afectan el sistema nervioso central, el sistema respiratorio, riñones, hígado, causando también irritaciones oculares y cutáneas (Maryland Department of Environment, 2007).

1.3 Principales emisiones

La principal fuente de emisión de este grupo de compuestos son las fuentes antrópicas, siendo la mayor fracción la proveniente de las fuentes móviles. El 18 % de la composición de la gasolina corresponde a BTEX (Bereau of Environmental Health, 2009). De este porcentaje, los compuestos más abundantes son los Xilenos, seguidos del Tolueno y finalmente en iguales proporciones Benceno y Etilbenceno. (Figura 2).

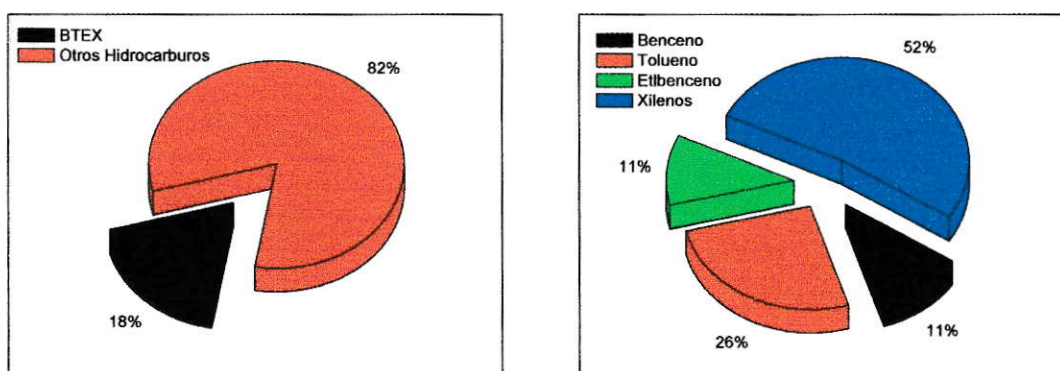


Figura 2: Abundancia de BTEX en gasolinas (Bereau of Environmental Health, 2009).

Los BTEX también se forman de productos tales como caucho sintético, plásticos, nylon, tintas, pinturas, pesticidas, solventes, el humo del cigarrillo, entre otros.

Estos compuestos aromáticos casi no reaccionan con el O_3 , a diferencia de otros hidrocarburos que contienen dobles enlaces como los alquenos que son altamente reactivos, por lo que su única remoción atmosférica significativa es a través de la reacción con el radical OH impulsada por procesos fotoquímicos (ecuación 3).

Las reactividades de estos compuestos con el radical OH cubren un amplio rango, siendo el más bajo el Benceno y el más alto el m-Xileno, como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1: Constantes de velocidad (K_{OH}) de reacción con el radical OH y tiempos de vida (vi) de cada uno de los BTEX (Rappengück B., Fabian P., 1998).

Compuesto	$K_{OH} \times 10^{-12}$ ($\text{cm}^3 \text{molecula}^{-1} \text{s}^{-1}$)	Tiempo de vida (h)
Benceno	1,23	56,5
Tolueno	5,96	11,7
Etilbenceno	7,10	9,80
o-Xileno	13,00	5,10
p-Xileno	14,30	4,90
m-Xileno	23,60	2,90

Esta diferencia de reactividades se debe a la estructura muy estable del Benceno con seis carbonos y tres enlaces dobles conjugados, a diferencia del Tolueno o los isómeros del Xileno que presentan gran capacidad para ceder radicales por fotólisis. De esta forma en épocas de mayor radiación solar estos últimos son fotodegradados produciendo una menor abundancia en relación al Benceno (Rappengück B., Fabian P., 1998).

1.4 Zona de Estudio

La Región Metropolitana de Santiago es una región que cuenta con una población que supera los 6 millones de habitantes, lo que representa cerca del 40% de la población total del país (Instituto Nacional de Estadísticas, 2010), siendo así la región mayormente poblada. Cuenta también con la mayor actividad industrial y el mayor parque automotriz que alcanza el 42,8% del total de vehículos motorizados del país (Instituto Nacional de Estadísticas, 2007). Esto la convierte en la región que cuenta con mayor cantidad de emisiones de carácter antrópico.

Está ubicada en los $33,5^{\circ}$ S y $70,8^{\circ}$ W y está geográficamente confinada, al estar emplazada en una cuenca formada por la Cordilleras de los Andes al Este, la Cordillera de la Costa al Oeste y cordones montañosos transversales al Norte y al Sur (Figura 3).

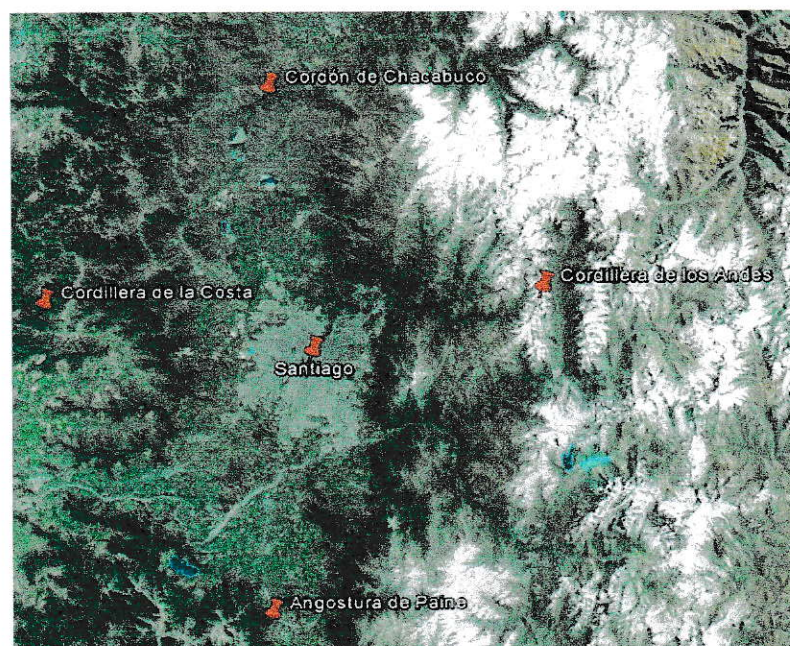


Figura 3: Mapa correspondiente a la cuenca de Santiago

Ésta zona está fuertemente influenciada durante casi todo el año, por el anticiclón subtropical del pacífico suroriental que corresponde a un centro de altas presiones que se asocia a una subsidencia (descenso lento) de aire proveniente del Ecuador denominada “Celda de Hadley” (Figura 4).

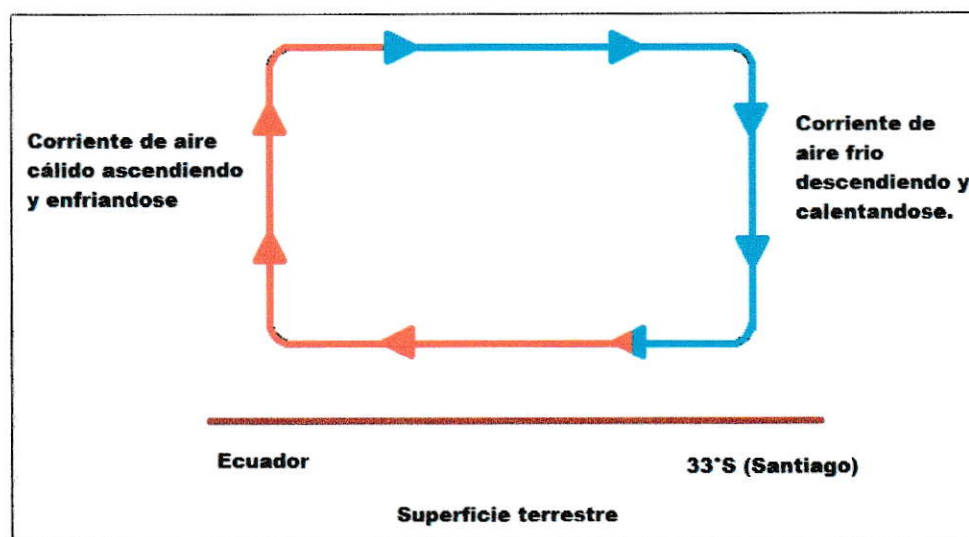


Figura 4: Celda de Hadley

El movimiento de estas masas de aire es constante durante todo el año, siendo más activo durante el invierno y desplazándose más hacia el sur en los meses de verano, centrándose la subsidencia alrededor de los 33°S. Este descenso de aire seco justo sobre la cuenca de Santiago, al calentarse forma una persistente inversión térmica de subsidencia, que junto la topografía de la ciudad impide el desplazamiento vertical de las masas de aire, generándose de esta manera grandes acumulaciones de contaminantes.

Esto llega a niveles críticos, al punto que en el año 1996 la región fue declarada zona saturada para Ozono (O_3), Material Particulado (MP) respirable, Partículas en Suspensión y Monóxido de Carbono (CO), como también declarada zona latente para Dióxido de Nitrógeno (NO_2).

Junto con la inversión de subsidencia anteriormente mencionada, también existe una capa de inversión térmica más cercana a la superficie de la cuenca, formada durante la noche producto del enfriamiento radiativo superficial. La débil turbulencia de esta capa de baja altura, impide la dispersión vertical de contaminantes durante la noche y madrugada, quedando gran parte de los contaminantes emitidos concentrados cerca de su nivel de emisión (Morales R.G., 2002).

Durante la mañana, la radiación solar comienza a calentar la superficie, la que a su vez calienta el aire inmediatamente sobre ella produciéndose turbulencias al ascender. Este fenómeno rompe la inversión térmica, permitiendo que los contaminantes se distribuyan entre la superficie y la inversión térmica de subsidencia, formándose así una capa de mezcla.

Al formarse nuevamente la capa de inversión superficial nocturna, se forma automáticamente una capa residual entre ambas inversiones, donde no se reciben nuevas emisiones, dado que estas quedan confinadas más cerca de la superficie. Esta capa residual y es fotoquímicamente inactiva (figura 5).

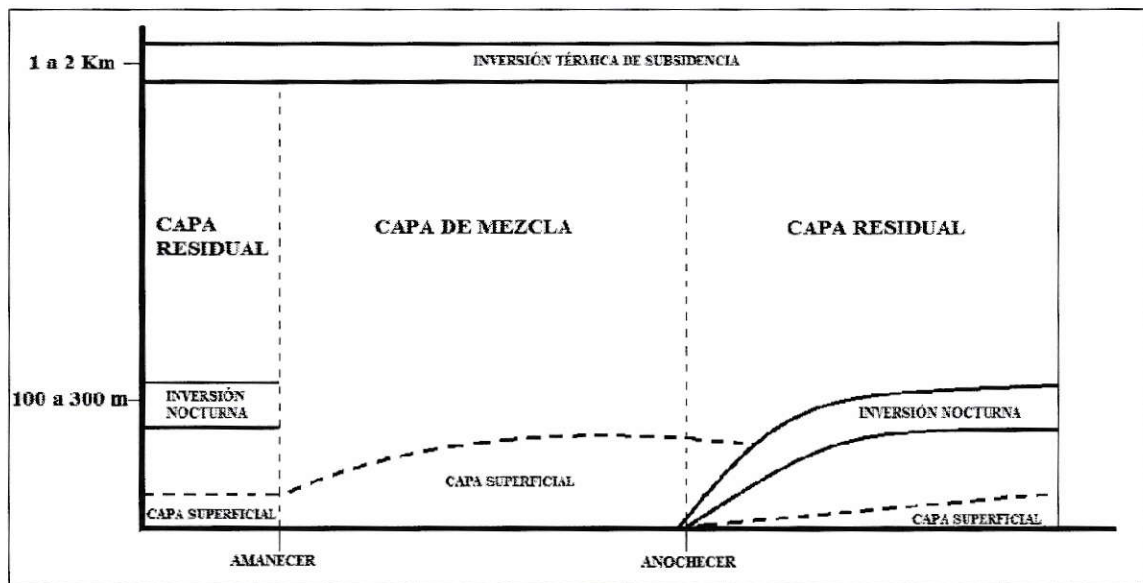


Figura 5: Esquema simplificado de las áreas formadas por las inversiones térmicas de subsidencia y de superficie durante el día y la noche.

1.5 Campaña fotoquímica 2009

Para lograr determinar las concentraciones de BTEX a las que está expuesta la población de la región Metropolitana de Santiago, se llevo a cabo una campaña de monitoreo de COV a finales del año 2009. Esta campaña fotoquímica tuvo dos etapas, la primera fue la toma de muestras de aire en cuatro estaciones de monitoreo distribuidas viento arriba a lo largo de toda la región, es decir, de SO a NE. Las cuatro estaciones se localizaron en las comunas de Peñaflor, Parque O'Higgins, Las Condes y Colina, respectivamente.

La segunda etapa tomo lugar en el Desert Research Institute (DRI), División of Atmospheric Science en Estados Unidos, donde se realizaron los análisis químicos mediante cromatografía de gases.

Las estaciones de monitoreo, además de la recolección de COV, estaban equipadas con medidores de O₃, NO_x, MP 2,5, dirección y velocidad del viento, temperatura y radiación.

1.6 Hipótesis

La dirección del viento predominante y dinámica atmosférica determinan en gran medida la distribución de O_3 en la cuenca de Santiago. Se espera que los cambios en las razones de BTEX permitan identificar posibles zonas de convergencia de la contaminación fotoquímica.

1.7 Objetivo General

- Caracterizar los BTEX en la Región Metropolitana en cuatro comunas de Santiago.

1.8 Objetivos Específicos

- Desarrollar un monitoreo de COV representativo en la Región Metropolitana
- Determinar el nivel de oxidación de COV respecto a la distribución de la concentración de ozono.
- Evaluar la tendencia que presentaron los BTEX desde una campaña fotoquímica realizada en el año 2002 hasta una campaña similar realizada en el año 2009.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Las cuatro estaciones de monitoreo fueron emplazadas en las comunas de Peñaflor (viento arriba), Santiago (estación dentro del Parque O'Higgins, zona central), Las Condes y Colina (ambas viento abajo). Las estaciones tanto de Peñaflor como de Colina fueron instaladas por parte del Centro Nacional del Medio Ambiente (Cenma), mientras que en Las Condes y en el Parque O'Higgins, se utilizaron estaciones pertenecientes al Ministerio de Salud (MINSAL).

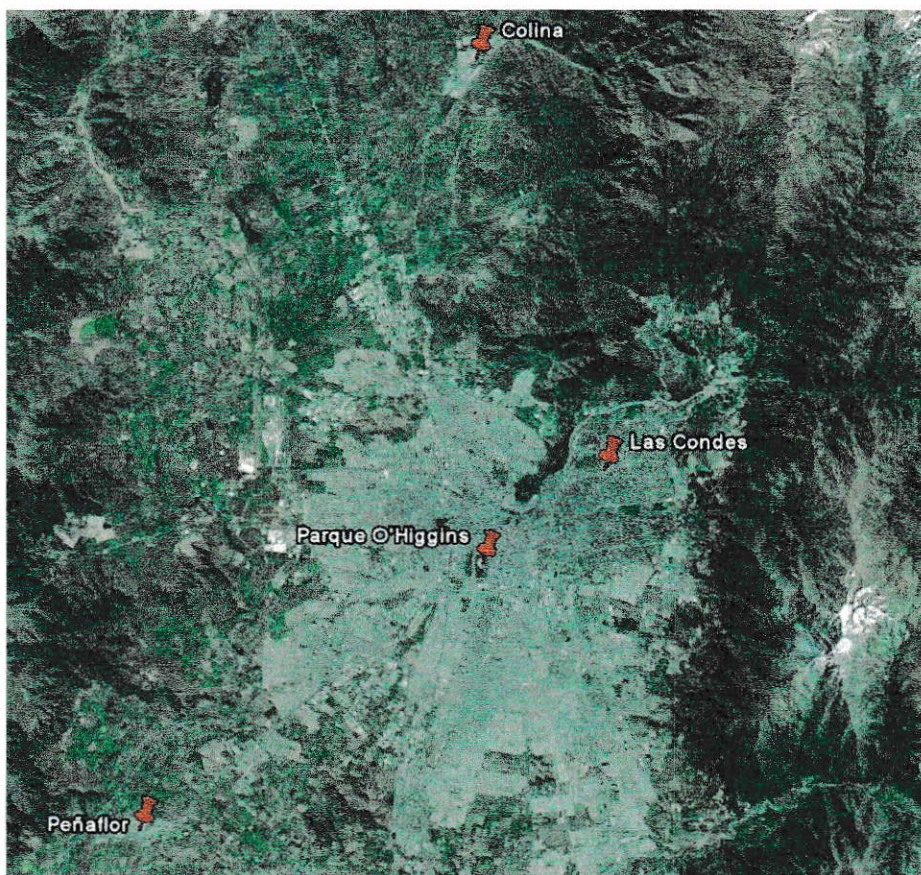


Figura 6: Ubicación de las estaciones de monitoreo.

En cada estación se contaba con monitoreo continuo de O_3 , NO_x , $MP_{2,5}$ y variables meteorológicas, además de la instalación de canister para el monitoreo de COV.



Figura 7: Estación de monitoreo

Las concentraciones de O_3 fueron determinadas utilizando monitores continuos basados en la técnica de absorción UV (Thermo Model 49i). Las concentraciones de NO_x fueron determinadas utilizando analizadores de quimioluminiscencia (Thermo Model 42i). (Seguel R., Cenma, 2010)

a.



b.



Figura 8: a) Monitor continuo de O_3 (Thermo Model 49i). b) Monitor continuo de NO_x (Thermo Model 42i).

Las muestras de aire para el análisis de COV, fueron recolectadas utilizando canister de acero inoxidable de marca SUMMA. Los canister con presión (15-20 psi) fueron analizados antes de un mes por el Laboratorio Orgánico del Desert Research Institute (DRI), en Nevada, Estados Unidos (Seguel R. y col., 2011).



Figura 9: Canister utilizados en funcionamiento.

Las muestras de COV fueron tomadas de forma simultánea en las cuatro estaciones de monitoreo durante días de semana y días del fin de semana a horarios de alta actividad antropogénica, es decir, entre las 6 y las 10 a.m, además de considerar un periodo del día que presenta buena mezcla vertical e intensa actividad fotoquímica, es decir, entre las 12 y las 16 horas. Esto fue realizado por periodos de cuatro horas en el mes de Diciembre del año 2009.

Para determinar las concentraciones de los COV, se analizaron los canister mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectroscopía de masa, de acuerdo al método EPA TO-15 (Seguel R. y col., 2011).

El sistema utilizado (GC-FID/MS) consta de un preconcentrador de modelo *Lotus Consulting*, un cromatógrafo de gases modelo *Varian 3800* con detector de ionización de llama (FID) acoplado a un espectrómetro de masas (MS) modelo *Varian Saturn 2000*. La calibración del sistema fue realizada con un estándar comercializado por *Air Environmental* (Seguel R. y col., 2011).

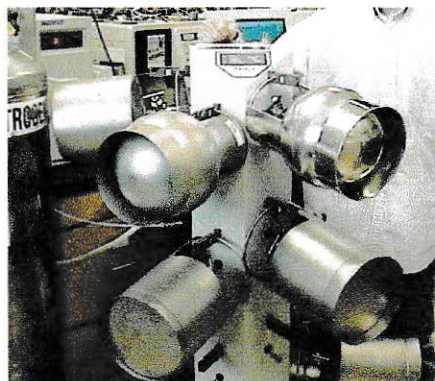


Figura 10: Extracción de muestras de COV desde los canister en el DRI.

III. RESULTADOS

3.1. BTEX Campaña Fotoquímica del año 2009

Como resultado de la campaña de monitoreo de COV realizada entre los meses de Diciembre de 2009 a Marzo de 2010, los BTEX presentaron concentraciones promedio bastante elevadas en relación a la totalidad de los contaminantes detectados (entre 0,2 y 7 $\mu\text{g/L}$).

En las siguientes figuras se muestra la abundancia de los BTEX durante los días de monitoreo tanto en el horario de la mañana como en la tarde en las cuatro zonas de estudio. Es importante señalar que, para efectos de los análisis, en el presente trabajo se consideran a los Xilenos como la sumatoria de las concentraciones detectadas de meta-xileno y para-xileno (m&p-xileno).

3.2 Análisis de la tendencia

3.2.1 Abundancia de BTEX en la estación de Las Condes

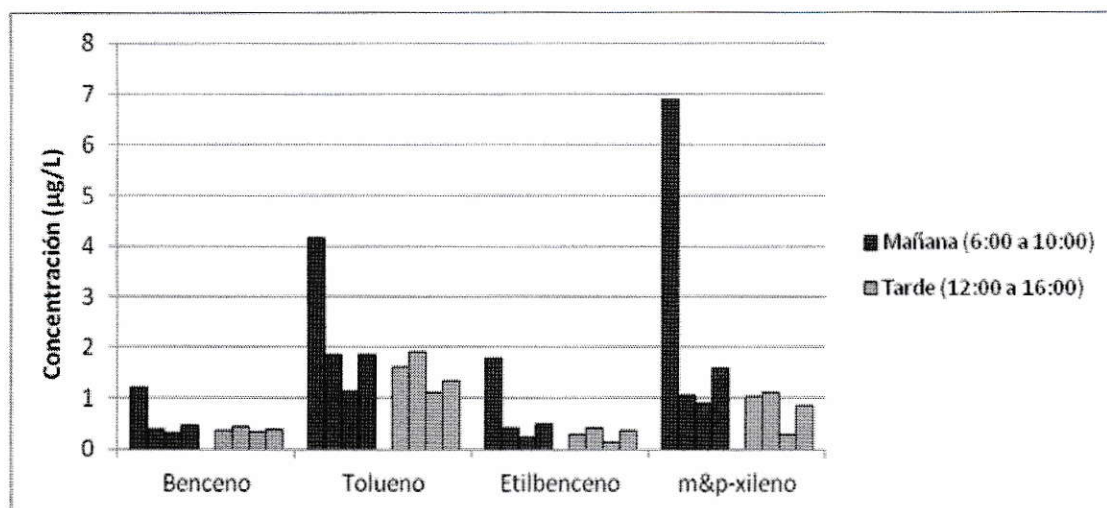


Figura 11: Abundancia de BTEX en la estación de Las Condes, días 16, 17, 20 y 23 de Diciembre de 2009.

Los compuestos más abundantes en esta zona son el Tolueno y los Xilenos, con concentraciones entre 0,5 y 2 $\mu\text{g/L}$, a excepción de la mañana del día 16, donde todas las concentraciones registradas fueron superiores al resto de las mediciones en prácticamente un 100 %. Todos los compuestos presentan concentraciones más elevadas durante la mañana (entre 0,25 $\mu\text{g/L}$ y 6,91 $\mu\text{g/L}$ durante las mañanas, versus 0,15 $\mu\text{g/L}$ a 1,90 $\mu\text{g/L}$ durante las tardes).

3.2.2 Abundancia de BTEX en la estación de Parque O'Higgins

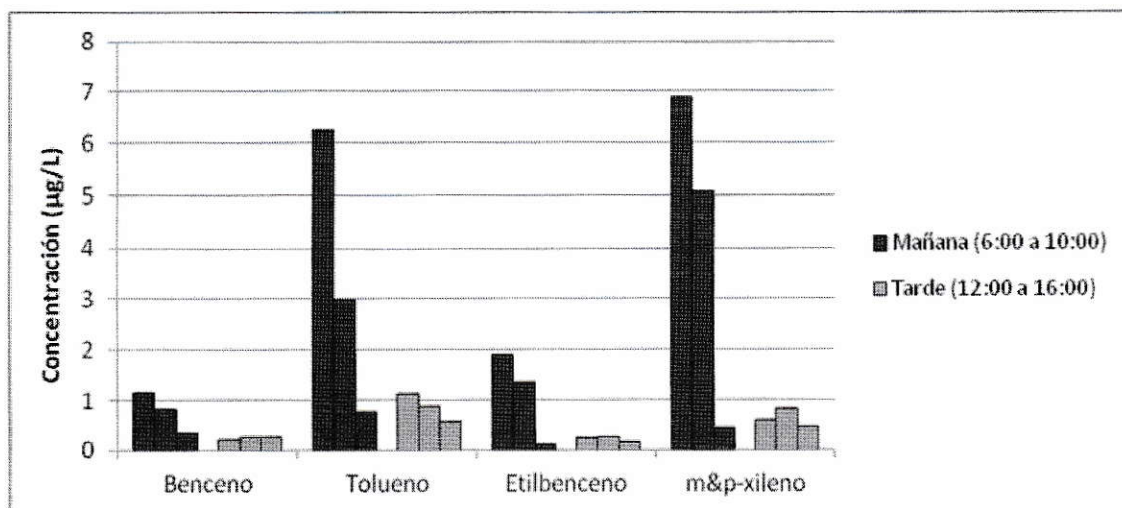


Figura 12: Abundancia de BTEX en la estación de Parque O'Higgins, días 16, 17 y 23 de Diciembre de 2009.

Los compuestos más abundantes en esta zona son el Tolueno y los Xilenos, encontrándose concentraciones muy superiores a las que presentan los otros compuestos, los que se encuentran entre 0,1 y 2 µg/L. Todos los compuestos presentan concentraciones más elevadas durante la mañana (entre 0,12 µg/L y 6,88 µg/L durante las mañanas, versus 0,16 µg/L a 1,12 µg/L durante las tardes).

3.2.3 Abundancia de BTEX en la estación de Peñaflo

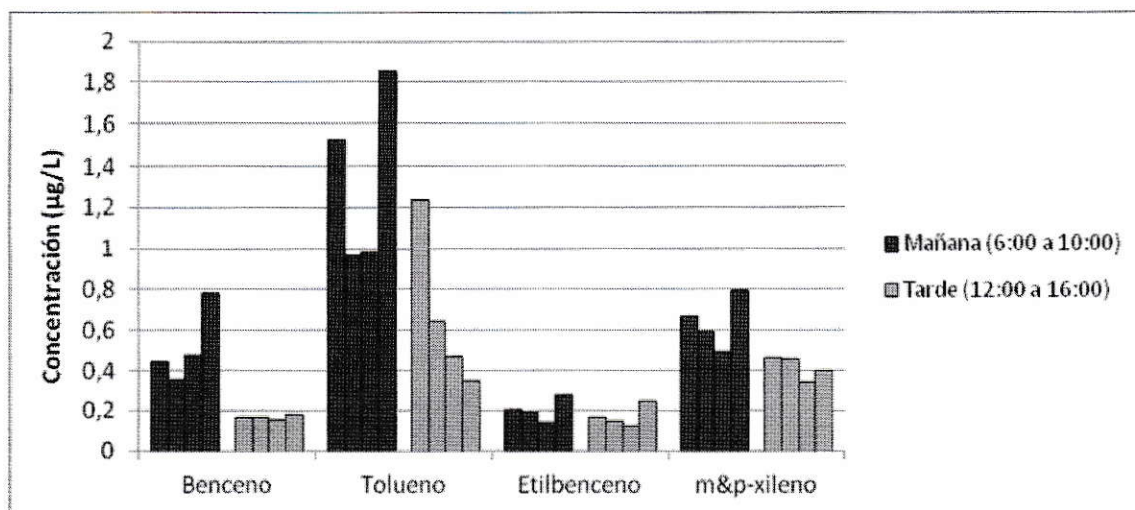


Figura 13: Abundancia de BTEX en la estación de Peñaflo, días 16, 17, 20 y 23 de Diciembre de 2009.

El compuesto más abundante en esta zona es el Tolueno con concentraciones mínimas cercanas a las 0,4 $\mu\text{g/L}$ y concentraciones máximas cercanas a las 1,9 $\mu\text{g/L}$. Benceno y Xilenos, presentaron concentraciones similares entre 0,2 y 0,8 $\mu\text{g/L}$ aproximadamente. Todos los compuestos presentan concentraciones más elevadas durante la mañana (entre 0,19 $\mu\text{g/L}$ y 1,85 $\mu\text{g/L}$ durante las mañanas, versus 0,12 $\mu\text{g/L}$ a 1,24 $\mu\text{g/L}$ durante las tardes).

3.2.4 Abundancia de BTEX en la estación de Colina

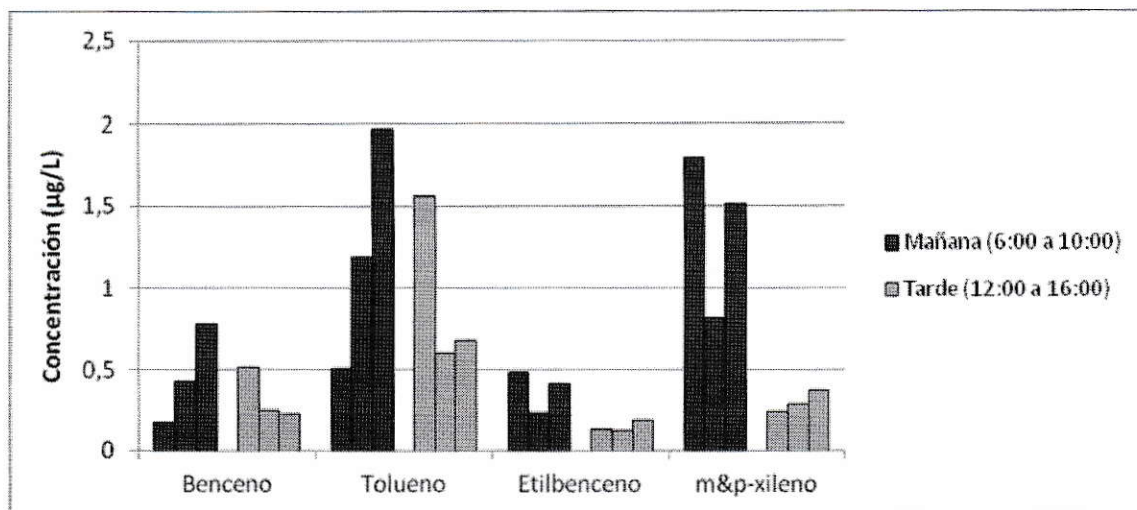


Figura 14: Abundancia de BTEX en la estación de Colina, días 16, 20 y 23 de Diciembre de 2009.

Los compuestos más abundantes en esta zona son el Tolueno y los Xilenos, con concentraciones entre aproximadamente 0,2 y 2 µg/L. El Etilbenceno y los Xilenos presentan un comportamiento similar a lo observado en las otras estaciones, en cambio el Benceno y el Tolueno presentan un alza en sus concentraciones observadas en la tarde (entre 0,17 µg/L y 1,80 µg/L durante las mañanas, versus 0,13 µg/L a 1,57 µg/L durante las tardes).

3.3 Capacidad oxidativa de la atmósfera

Para determinar la capacidad oxidativa que presenta la atmósfera de la Región Metropolitana en las distintas localidades de estudio, varios autores siguieron como indicadores las razones entre algunos de los BTEX (Pilidis G., 2005). Por esto, se calculó las razones m-p Xileno/Benceno para los cuatro sectores medidos. Esto se debe a que ambos compuestos presentan las mismas fuentes de emisión, además que, su única vía de degradación en la atmósfera es a través de la reacción con el radical OH (Rappenglück B. y Fabian P., 1999), presentando las constantes de reacción más baja y más alta de los BTEX respectivamente, como se aprecia en la Tabla 1. Junto con lo anterior, es importante mencionar que, considerando que el principal aporte de BTEX a la atmósfera es producto de fuentes móviles y tomando en cuenta la composición de la gasolina (Figura 2), es de esperar que mientras más cercana a la fuente de emisión sea la estación de monitoreo, más cercana a 5:1 sea la razón m-p Xileno/Benceno.

Tabla 2: Razones m,p-Xileno/Benceno en las cuatro zonas de monitoreo. Datos del las mañanas y tardes.

Muestra	N	Media	DE	Mínimo	Máximo
Peñaflor (mañana)	3	1,40	0,32	1,040	1,659
Peñaflor (tarde)	3	2,43	0,29	2,240	2,764
P. O'Higgins (mañana)	3	6,13	0,14	6,030	6,228
P. O'Higgins (tarde)	3	2,60	0,81	1,683	2,908
Las Condes (mañana)	4	2,94	0,45	2,562	3,441
Las Condes (tarde)	4	2,42	0,29	2,131	2,706
Colina (mañana)	3	1,92	0,03	1,898	1,945
Colina (tarde)	3	1,09	0,59	0,472	1,649

De los resultados se observa que las mayores razones se encuentran en la zona central de Santiago durante la mañana, es decir, la estación de monitoreo ubicada en el Parque O'Higgins seguido de la estación ubicada en la comuna de Las Condes y finalmente Colina y Peñaflor con razones significativamente menores.

De los datos obtenidos durante la tarde, se observa una disminución en las razones en casi la totalidad de las localidades, exceptuando la comuna de Peñaflor, donde la razón aumenta produciéndose una nivelación con los otros sectores de monitoreo.

A pesar de la nivelación antes mencionada, se mantiene la mayor razón en la zona central de Santiago, es decir, en la estación ubicada en el Parque O'Higgins, disminuyendo tanto hacia el suroeste como hacia el noreste, siendo mayor en la comuna de Las Condes que en la comuna de Colina.

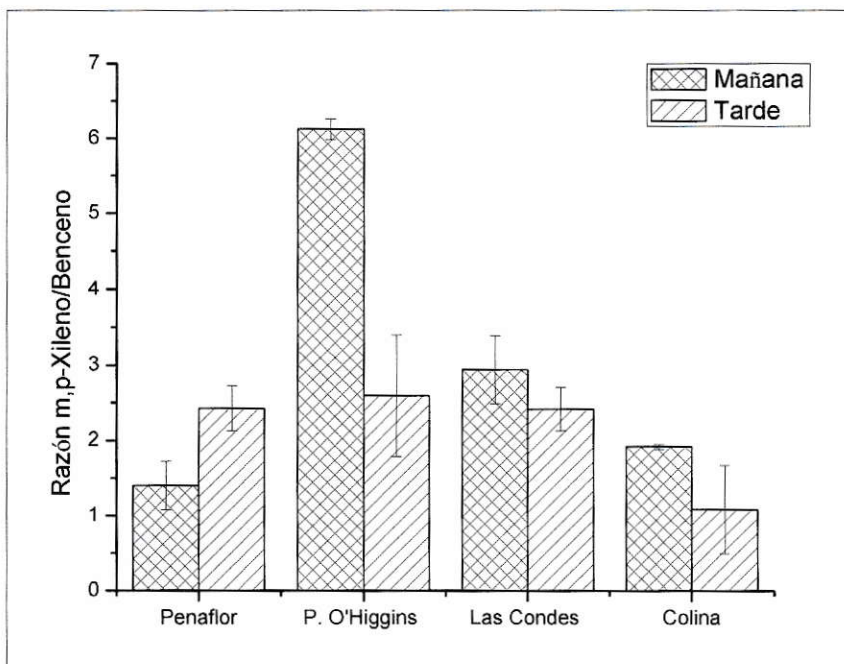


Figura 15: Razones m,p-Xileno/Benceno en la campaña de monitoreo realizada en el año 2009

3.4 Análisis de datos de O₃ en campaña de monitoreo realizada en el año 2009

3.4.1 Perfil diario de O₃

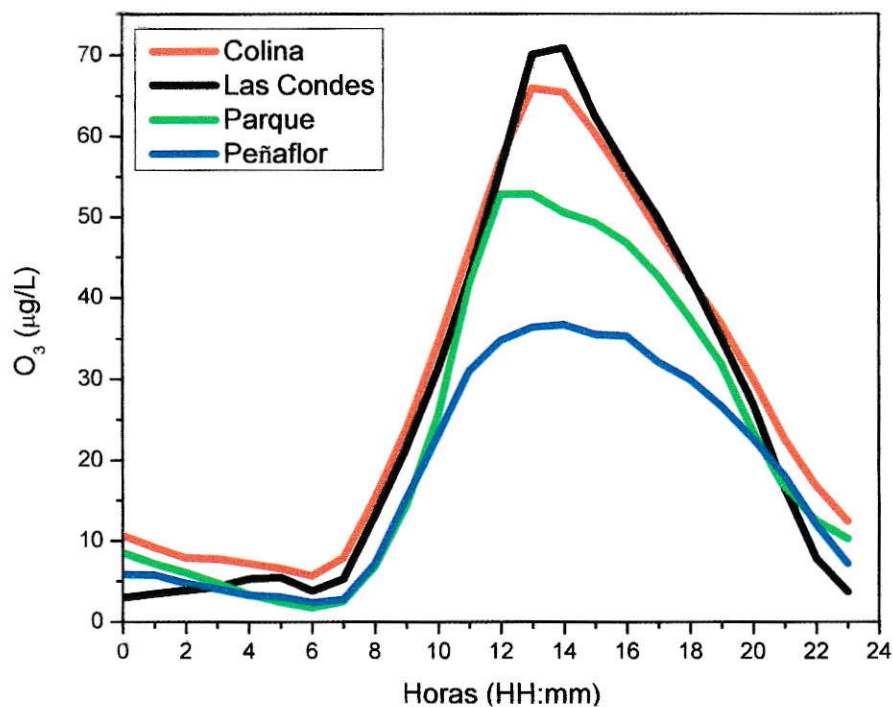


Figura 16: Perfil diario de ozono (O₃)

En la figura correspondiente al perfil de O₃ se observan mayores concentraciones en las zonas Noreste y Central de la región, es decir, los mayores niveles de la concentración de O₃ se encuentran en las estaciones de Las Condes y Colina. El máximo señalado se registra alrededor de las 13 horas. Por otra parte el máximo correspondiente a la zona central se registra en la estación de Parque O'Higgins y fue detectado cercano al medio día.

Si bien al medio día se pueden observar también los máximos niveles en la zona de Peñaflores, estos valores son muy bajos, cercanos al 50%, en comparación a las otras tres localidades monitoreadas. Esto, sumado a la condición suburbana que presenta la zona, pueden ubicar a esta localidad como línea base dentro de la Región Metropolitana.

3.4.2 Promedio Móvil de 8 horas

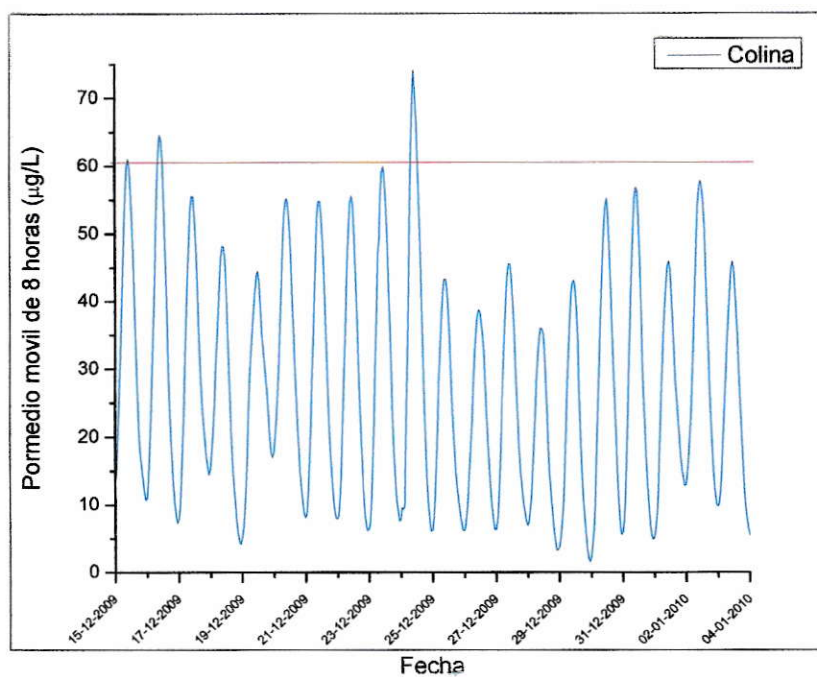


Figura 17: Promedio móvil de O₃ de 8 horas para la estación de Colina.

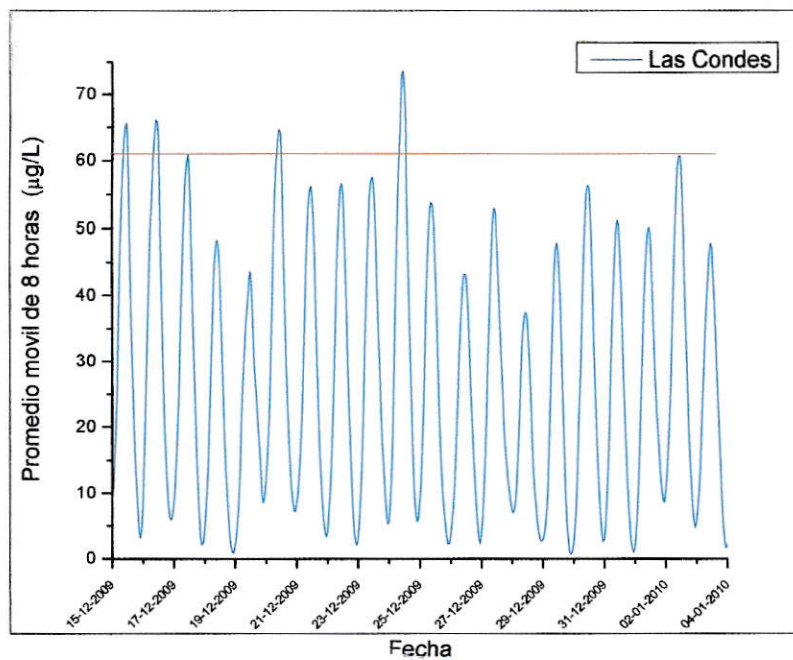


Figura 18: Promedio móvil de O_3 de 8 horas para la estación de Las Condes.

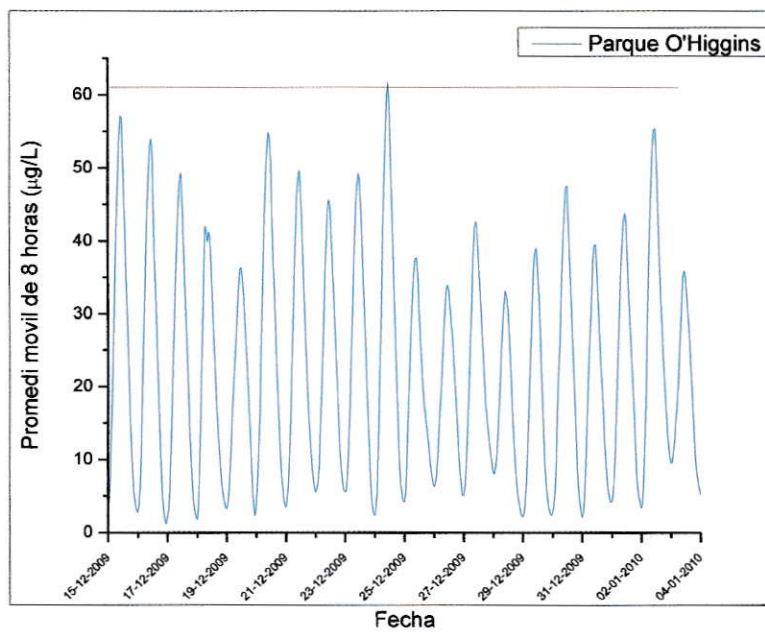


Figura 19: Promedio móvil de O_3 de 8 horas para la estación de Parque O'Higgins.

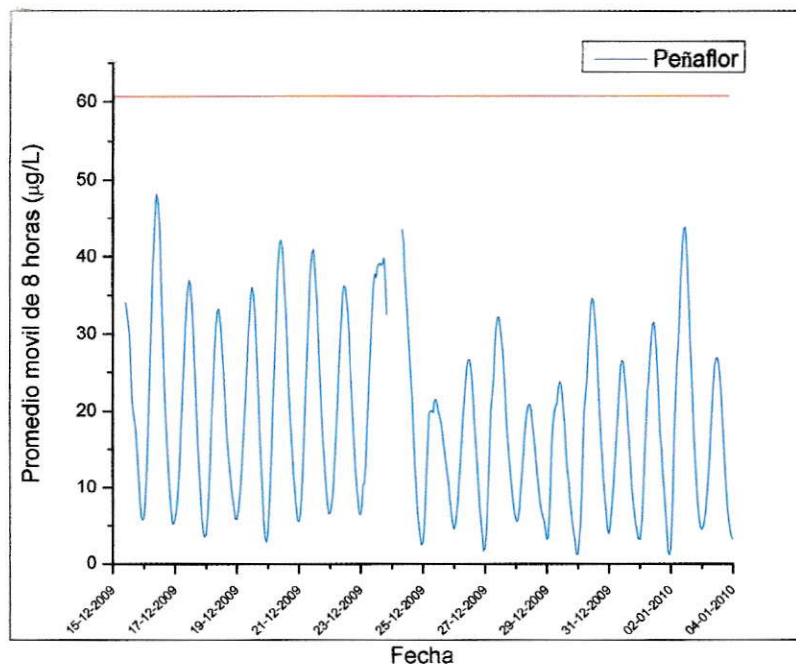


Figura 20: Promedio móvil de O₃ de 8 horas para la estación de Peñaflor.

Desde la figura 17 hasta la figura 20 se observa el registro del promedio móvil de 8 horas de O₃ correspondiente a las cuatro zonas estudiadas. Los gráficos registran los valores detectados entre los días 15-12-2009 y 4-01-2010.

De acuerdo a lo establecido por el D.S. No. 112 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, la norma primaria de calidad de aire es de 61 µg/L como promedio aritmético de tres años, por lo que se toma en cuenta este valor como referencia (representado en la gráfica con la línea continua de color rojo), siendo superado en una mayor cantidad de oportunidades en la zona de Las Condes que presentó 6 episodios, seguido de Colina y Parque O'Higgins con 3 y 1 días de

superación respectivamente. En Peñaflor no se registraron valores sobre el nivel referencial.

En los casos de Las Condes y Colina, se observan máximos que coinciden con los días de monitoreo de BTEX, donde se aprecian altas concentraciones tanto de Xilenos como de Tolueno (días 16, 17 y 20).

3.5 Dirección del viento y concentración de O₃

Dado que las mayores concentraciones de O₃ se encontraron en la zona NE de la capital, más precisamente en la estación de monitoreo ubicada en la comuna de Las Condes, es precisamente en esa estación donde se analizan los datos de direcciones del viento y se relacionan con las concentraciones de O₃ a diferentes horas del día.

Los datos de viento corresponden a los promedios horarios del mes de Diciembre del año 2009.

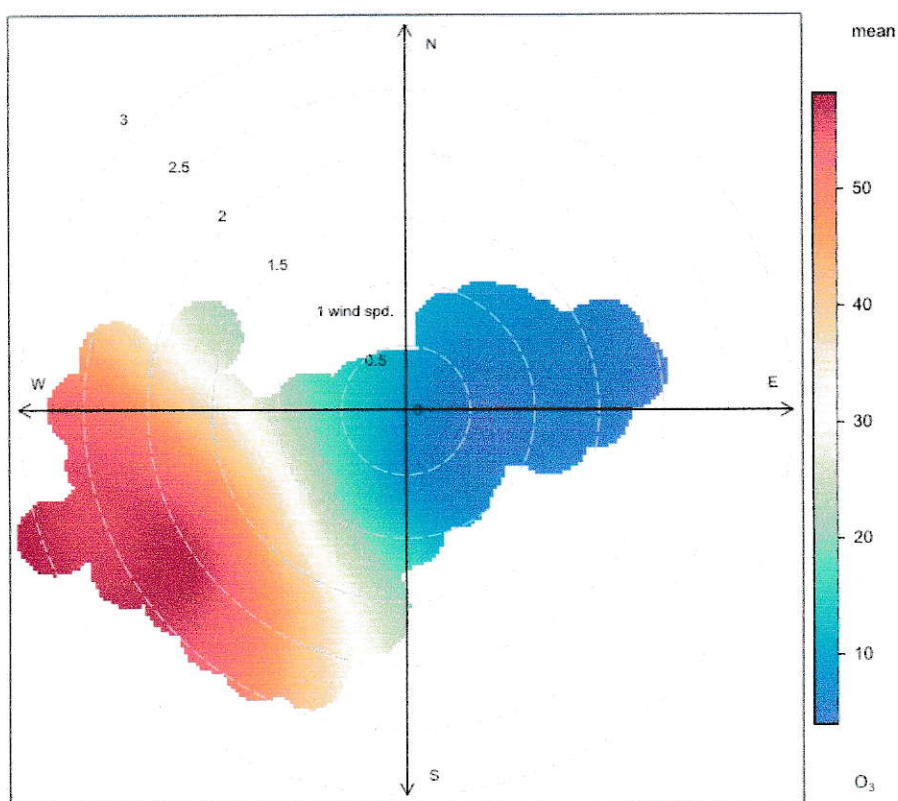


Figura 21: Concentración de O₃ en relación a la dirección del viento.

En la figura 21 se observa que las mayoritarias direcciones del viento corresponden a vientos provenientes desde el SO y desde el NE, encontrándose las mayores concentraciones de O_3 , cuando el viento llega desde el SO de la región.

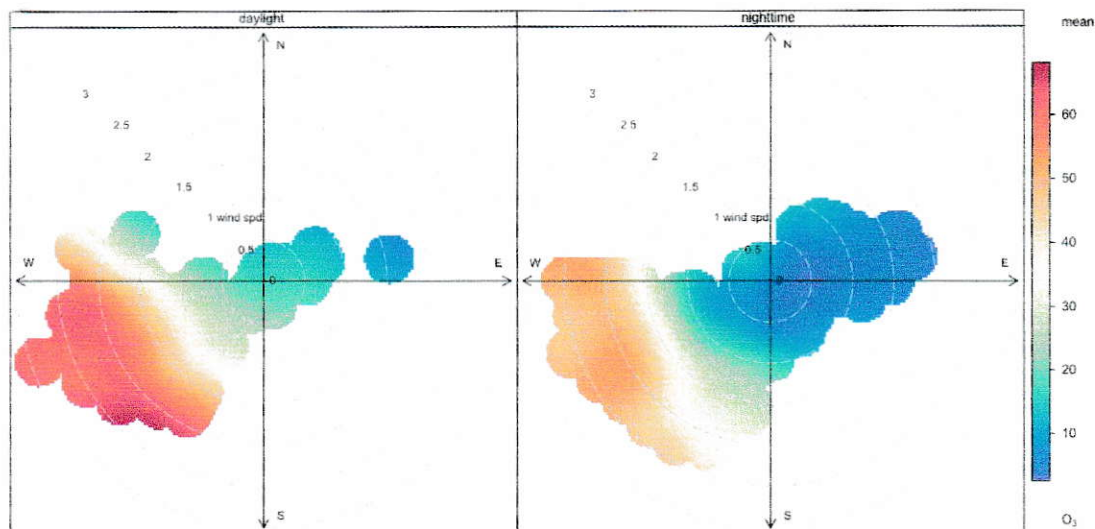


Figura 22: Concentración de O_3 en relación a la dirección del viento. Distribución Día y Noche.

En la figura se puede apreciar que las mayores concentraciones son durante el día, y que es durante la noche cuando se presenta mayormente el viento con dirección predominante NE.

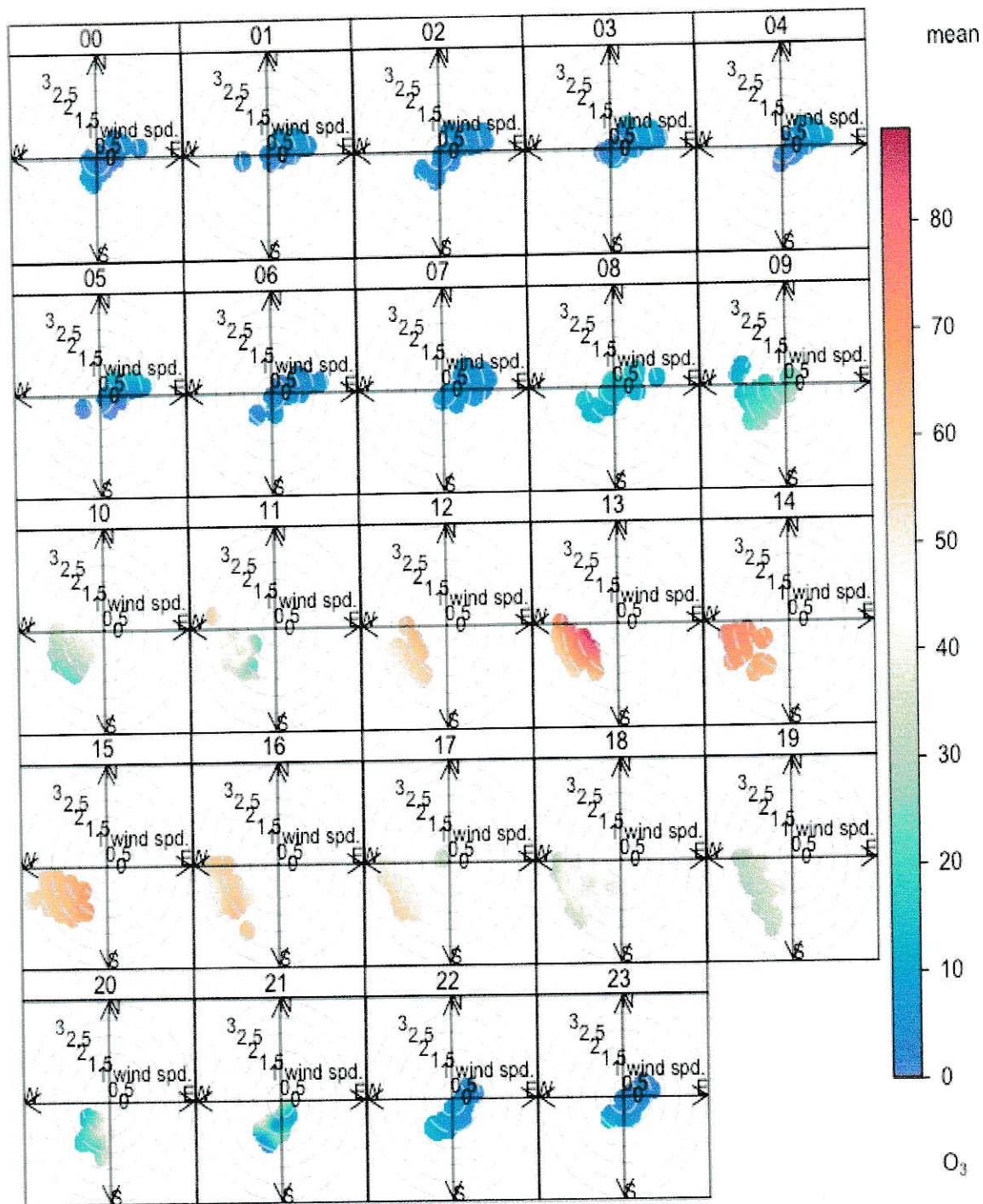


Figura 23: Concentración de O_3 en relación a la dirección del viento. Distribución horaria.

En la figura se aprecia claramente que durante la noche las concentraciones de O₃ son cercanas a 0 µg/L y existe viento predominantemente desde el NE, comenzando a cambiar la tendencia a partir de las 8 a.m, donde junto con el viento SO, se comienza a experimentar un alza en las concentraciones de O₃, alcanzando su máximo entre las 13 y las 14 horas.

3.6 Comparación de BTEX campañas 2002 y 2009

Para realizar la comparación se tomaron los valores obtenidos en la campaña realizada en el año 2009 y los valores recopilados en la campaña realizada entre CONAMA R.M y la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ) (Rappenglück B., 2003). Dichos monitoreos fueron realizados en el periodo comprendido entre final de Octubre y principios de Noviembre del año 2002.

Se compararon los valores obtenidos en las estaciones de Las Condes y de Parque O'Higgins, realizando un análisis estadístico para cada uno de los cuatro compuestos de estudio y comparando ambas campañas de monitoreo.

Tabla 3: Fechas y horas de muestreo en las campañas de 2002 y de 2009

Lugar de Monitoreo (año)	Días de Monitoreo	Horas de Monitoreo
P. O'Higgins (2002)	Miércoles 30.10.2002	8:05 a 10:00
	Jueves 31.10.2002	12:00 a 16:00
	Viernes 01.11.2002	
P. O'Higgins (2009)	Miércoles 16.12.2009	6:00 a 10:00
	Jueves 17.12.2009	12:00 a 16:00
	Miércoles 23.12.2009	
Las Condes (2002)	Miércoles 30.10.2002	8:20 a 10:00
	Jueves 31.10.2002	12:00 a 16:00
	Viernes 01.11.2002	
Las Condes (2009)	Miércoles 16.12.2009	6:00 a 10:00
	Jueves 17.12.2009	12:00 a 16:00
	Domingo 20.12.2009	
	Miércoles 23.12.2009	

3.7 Comparación de concentraciones de BTEX

3.7.1 Benceno

Tabla 4: Valores del análisis estadístico de los datos de Benceno para las campañas realizadas en los años 2002 y 2009.

Muestra	N	Media	DE	SE Media	CV
Año 2002	6	0,700	0,230	0,094	0,329
Año 2009	6	0,330	0,090	0,037	0,273

Al realizar una comparación de medias de ambos periodos mediante un test de hipótesis, es posible concluir que la disminución de concentraciones de BTEX es significativa. (Ver ANEXO 4).

3.7.2 Etilbenceno

Tabla 5: Valores del análisis estadístico de los datos de Etilbenceno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	N	Media	DE	SE Media	CV
Año 2002	4	0,640	0,230	0,094	0,359
Año 2009	4	0,270	0,100	0,041	0,370

Al realizar una comparación de medias de ambos periodos mediante un test de hipótesis, es posible concluir que la disminución de concentraciones de BTEX es significativa. (Ver ANEXO 4).

3.7.3 Tolueno

Tabla 6: Valores del análisis estadístico de los datos de Tolueno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	N	Media	DE	SE Media	CV
Año 2002	4	2,200	0,450	0,180	0,205
Año 2009	4	1,200	0,450	0,180	0,375

Al realizar una comparación de medias de ambos periodos mediante un test de hipótesis, es posible concluir que la disminución de concentraciones de BTEX es significativa. (Ver ANEXO 4).

3.7.4 m,p-Xileno

Tabla 7: Valores del análisis estadístico de los datos de m,p-Xileno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	N	Media	DE	SE Media	CV
Año 2002	4	1,100	0,300	0,180	0,273
Año 2009	4	0,800	0,200	0,180	0,250

Al realizar una comparación de medias de ambos periodos mediante un test de hipótesis, es posible concluir que la variación de concentraciones de BTEX no es significativa. (Ver ANEXO 4).

3.8 Comparación de la capacidad oxidativa de la atmósfera

Para poder realizar un análisis del cambio de la capacidad oxidativa de la atmósfera de la región Metropolitana desde una campaña a otra, se compararon las razones m,p-xileno/benceno entre ambos periodos de monitoreo.

Tabla 8: Comparación de las razones m,p-xileno/benceno entre las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	Mañana 2002	Mañana 2009	Tarde 2002	Tarde 2009
Parque O'Higgins	2,218	6,129	1,370	2,598
Las Condes	1,707	2,943	1,388	2,420

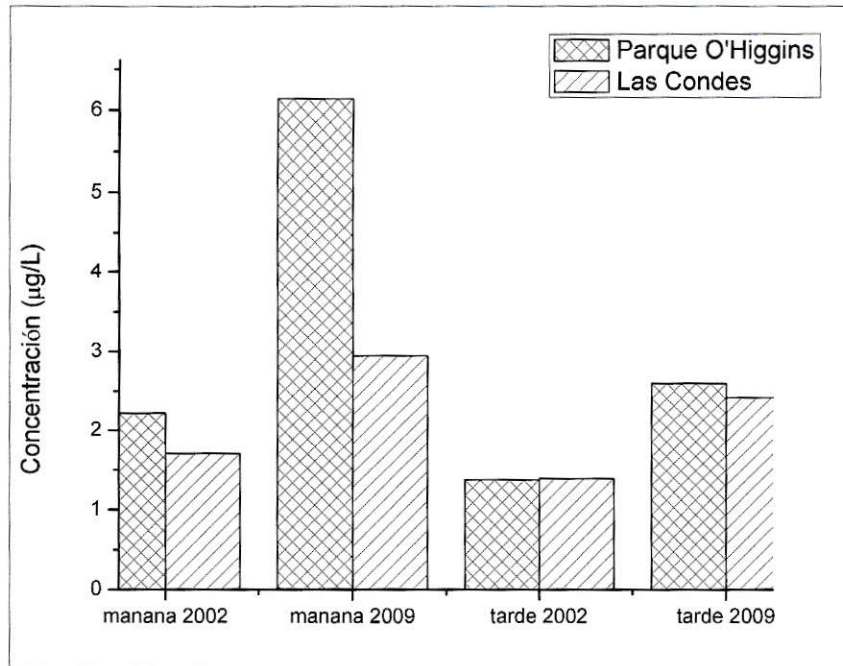


Figura 24: Comparación de las razones m,p-xileno/benceno entre las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

IV. DISCUSIÓN

En relación a la abundancia de los BTEX en la Región Metropolitana, destacan las grandes cantidades de Tolueno y mp-Xileno (de hasta 13,52 $\mu\text{g/L}$ y 10,19 $\mu\text{g/L}$ respectivamente) en todas las zonas de muestreo, llegando a registrarse concentraciones superiores con respecto al Benceno y al Etilbenceno.

A pesar de los mayores niveles de Tolueno y Xilenos en relación a Etilbenceno y Benceno, se puede apreciar que este grupo de compuestos están presentes en prácticamente toda la Región Metropolitana, lo que es un comportamiento típico de zonas urbanas. El aporte constante de BTEX por parte de las fuentes móviles, está directamente relacionado con el hecho de que las mayores concentraciones de estos contaminantes se encuentre precisamente en las zonas con mayor actividad antrópica como lo es la zona central de la capital, es decir, en la estación de monitoreo ubicada en el Parque O'Higgins, y sean menores en zonas que presentan características más rurales, es decir, la comuna de Peñaflor.

Este comportamiento se aprecia mayoritariamente durante las mañanas, ya que por las tardes, las concentraciones de BTEX son ligeramente superiores en la estación de Las Condes que en la estación ubicada en la zona centro.

También se puede apreciar que durante la tarde, las concentraciones de BTEX observadas en una misma estación, son inferiores a las observadas en la mañana. Esto se aprecia claramente en todas las zonas de estudio y con cada uno de los compuestos por separado, a excepción del Benceno y el Tolueno en la estación ubicada en la comuna de Colina, donde las concentraciones aumentan en relación a las observadas durante la mañana. Esto se debe al fenómeno de transporte de los contaminantes de la zona central de la cuenta hacia la zona Noreste.

En relación a los resultados de las concentraciones de ozono, se observa que los mayores niveles se encuentran en la zona Noreste de la región, esto es en las comunas de Las Condes y Colina, superando el nivel referencial de $61 \mu\text{g/L}$ como promedio de 8 horas en 6 y 4 oportunidades respectivamente, mientras que en la zona de Parque O'Higgins solo se superó este nivel en una oportunidad y Peñaflor no lo superó.

Al analizar los horarios de mayor concentración de O_3 , se puede apreciar que el peak en las estaciones que se encuentran en el Noreste de la capital, se registraron una hora más tarde que el mayor nivel de concentración registrado en la zona central.

La abundancia de BTEX en la zona Noreste, además de los mayores índices de O_3 , se puede explicar considerando que de los datos de la dirección del viento predominante en la Región Metropolitana, arrojaron una tendencia Sur Oeste, es decir, las comunas

situadas al Noreste de la capital además de sus respectivas emisiones, presentan un carácter de zonas receptoras de los contaminantes provenientes de la zona central.

Esto concuerda con lo determinado mediante las razones m,p-Xilenos/Benceno, ya que durante la mañana se aprecian mayores razones en la zona central, esto es donde se presenta mayor actividad antropogénica, por lo que las mediciones son más cercanas a las principales fuentes de emisión primaria. Consecuentemente, las menores razones se encuentran en la zona más rural de las cuatro estudiadas, es decir, en la comuna de Peñaflor. Esto es consecuente con la presencia de los BTEX en los combustibles (Figura 3), ya que, mientras más cercana a la fuente de emisión primaria sean las mediciones, la razón debería ser más cerca a 5:1.

Durante la tarde, si bien la tendencia se mantiene, presentando mayores valores en la zona central, existe una disminución hacia el noreste de la capital producto de dos razones, una mayor dilución de los contaminantes al aumentar el volumen de la capa de mezcla y una mayor actividad fotoquímica, es decir, en las tardes se cuenta con una atmósfera más reaccionada. Viento abajo del principal foco de emisiones primarias como es el caso de la estación ubicada en Peñaflor, también se observa una razón cercana a las estaciones más centrales. Esta nivelación con el resto de la Región se debe a la existencia de una capa residual con gran carga de ozono y compuestos orgánicos que queda liberada luego de que se rompe la inversión térmica de superficie alrededor del medio día. Esto también se ve reflejado en la disminución de las razones m,p-

xileno/benceno durante la tarde, ya que al producirse el aumento de temperatura al medio día, la ruptura de la capa de inversión de superficie genera un aumento en el volumen de la capa de mezcla permitiendo que los contaminantes emitidos durante la mañana se mezclen con aquellos presentes en el aire envejecido (presente en la capa residual formada durante la noche anterior) localizado entre la capa de inversión térmica de superficie y la inversión térmica creada por la subsistencia del anticiclón subtropical del pacífico (Morales R.G., 2006).

De la comparación de las campañas de monitoreo de los años 2002 y 2009, se aprecia una disminución de los BTEX, a excepción de los niveles de m,p-xileno, que debido a la calidad de los datos, no fue posible determinar una diferencia entre ambas campañas. De contar con un mayor número de mediciones por estación de monitoreo en cada uno de los periodos, hubiese sido posible contar con datos de mejor calidad, lo que permitiría realizar comparaciones más precisas, es decir, no solo comparar cada compuesto por año, sino que realizar análisis estadísticos comparativos en cada una de las estaciones de monitoreo y compararlas entre sí, incluso realizar comparaciones de cada compuesto en los distintos horarios de muestreo.

El hecho de no encontrar diferencias en las concentraciones de m,p-xileno entre ambas campañas, arroja como resultado un aumento en las razones m,p-xileno/Benceno, tanto en la zona central como en la zona Noreste, con lo que se podría pensar que la capacidad oxidativa que presenta la atmosfera de la Región Metropolitana es netamente

dependiente de las emisiones de Xilenos, ya que en la última década se puede apreciar una disminución en las concentraciones de los otros contaminantes que conforman el grupo de los BTEX.

También es importante mencionar que las campañas fotoquímicas no fueron realizadas en la misma fecha, ni siquiera en la misma estación del año, lo que podría influir de forma considerable en las diferencias de las tendencias mostradas en el presente trabajo.

Recomendaciones

Por lo anteriormente expuesto, me parece importante mencionar que, dado la relevancia que presentan los COV tanto por su potencial formador de O₃, potencial formador de partículas, potencial formador de aerosoles, potencial de calentamiento global, entre otros, también presenta un alto riesgo para el organismo humano (por ejemplo el Benceno en un cancerígeno reconocido), sería de gran utilidad contar con un inventario de calidad de este tipo de compuestos, ya que no se cuenta con mayores datos, siendo las expuestas en el presente trabajo las últimas dos campañas de mediciones de estos contaminantes en la Región Metropolitana con prácticamente diez años de separación entre cada una, siendo ambas netamente de carácter académico, motivo por el cual existe una carencia importante de datos necesarios para adecuadas tomas de decisiones.

Junto con esto sería una buena medida determinar el patrón de emisiones característico de fuentes fijas específicas, como por ejemplo refinerías y termoeléctricas. También sería recomendable determinar las especies vegetales con mayor aporte de este tipo de compuestos.

V. CONCLUSIONES

Los BTEX son compuestos presentes en toda la Región Metropolitana.

La mayor abundancia de BTEX se encuentra en durante las mañanas disminuyendo conforme avanza el día. Esto se debe al aumento del volumen de la capa de mezcla y a un tiempo de reacción más prolongado.

La mayor abundancia de BTEX se encuentra en la zona Central durante las mañanas (6 a.m a 10 a.m) y en la zona Noreste durante las tardes, zona que también presenta los mayores niveles de concentración de O_3 .

Las mayores concentraciones de O_3 de la región (en la zona NE) se encuentran aproximadamente una hora más tarde que los mayores niveles encontrados en la zona Central.

La abundancia de BTEX en la zona Noreste, además de los mayores índices de O_3 se puede explicar por el viento predominante en la región, que durante el día presenta una clara tendencia SO, es decir, transforma a la zona Noreste de la capital en una zona receptora de contaminantes provenientes del Centro y Sur.

En relación a la capacidad oxidativa de la atmósfera de la Región Metropolitana, se aprecia que las razones m,p-Xileno/Benceno son mucho mayores en la zona Central durante la mañana (hora de mayor actividad antropogénica), encontrándose los menores niveles en Peñaflor y Colina. Durante la tarde se aprecia una nivelación de las razones incluso en la zona considerada como background (Peñaflor). Esto se puede explicar considerando un aumento del volumen de la capa de mezcla a la hora de mayor temperatura (medio día) lo que origina una dinámica de intercambio vertical de contaminantes desde la zona superficial con la capa residual existente entre la capa de inversión de superficie y la inversión térmica de subsidencia.

Una vez que bajan las temperaturas y se reestablece la inversión térmica de superficie. Parte de esta nueva capa residual queda a bajas alturas explicando de esta forma las razones encontradas en las zonas de Colina y Peñaflor durante la mañana, pudiéndose tomar estos valores como concentración base en la Región Metropolitana. Siendo principalmente capa residual lo encontrado en las mañanas en la estación de monitoreo de Colina, se pueden explicar las bajas razones presentes en la tarde en esa zona, ya que

corresponden a valores obtenidos de una atmósfera mucho más “reaccionada” que la del resto de la capital.

Dado los peligrosos efectos que presentan los BTEX para la salud, es de suma importancia contar con mayores datos, ya que existe una carencia de estos, lo que impide desarrollar conocimientos que lleven a políticas para la mejora en la calidad de vida de las poblaciones de zonas urbanas.

Se concluye finalmente de forma general, que en la realización de este trabajo se cumplió con cada uno de los objetivos propuestos y se aceptó la hipótesis planteada.

VI. REFERENCIAS

- Agency for Toxic Substance and Disease Registry www.atsdr.cdc.gov
- Atkinson R. 1998. Atmospheric Chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, 34 (2000) 2063-2101.
- BTEX. 2009. Bureau of Environmental Health. Health Assessment Section.
- Castell, N.B. 2003. Fenomenología de los episodios de contaminación por ozono en la vertiente mediterránea. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM).
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2008. Contaminación Fotoquímica de Santiago.
- Elshorbany Y. 2009. Oxidation Capacity of the City Air of Santiago, Chile. *Atmos. Chem. Phys.*, 9 (2009), 2257–2273.
- Environmental Health. Health Assessment Section. 2009. BTEX Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes.
- Fujita, E.M. *et al.* 2003. Diurnal and weekday variations in source contributions of ozone precursors in California's south coast air basin. *J. air & waste manage. assoc.* 53, 844-863.

- Fujita, E.M., Stockwell, W.R., Campbell, D.E., E. Keislar, R. & Lawson, D.R. 2003. Evolution of the magnitude and spatial extent of the weekend ozone effect in California's south coast air basin from 1981 to 2000. *j. air & waste manage. assoc.* 53, 802-815.
- Guenther, A. 2006. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 3181–3210.
- Hazardous Substance Research Centers. Technical Outreach Services for Communities (TOSC) Program. 2010. BTEX Contamination.
- Helleén H. 2005. Evaluation of Atmospheric Benzene Concentrations in the Helsinki Metropolitan Area in 2000–2003 Using Diffusive Sampling and Atmospheric Dispersion Modeling. *Atmospheric Environment*.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2007. Enfoque Estadístico. Parque de Vehículos.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2010. Plan Nacional de Recopilación de Estadísticas.
- Jorquera H. 2003. Receptor Modeling of Ambient VOC at Santiago, Chile. *Atmospheric Environment*, 38 (2004) 4243–4263.

- Kiendler-Scharr, A. 2009. New particle formation in forests inhibited by isoprene emissions. *Nature* 461, 381-384.
- Lacasaña M., González B., Rodríguez M., Daponte A. Escuela Andaluza de Salud Pública. 2008. Evaluación de la Exposición a BTEX en la Población del Campo de Gibraltar.
- Lee, D.S, et. al. 1996. The potential impact of ozone on materials in the UK atmospheric environment vol 30, pag. 1053 1065.
- Lind D., Marchal W., Mason R. Estadística para administración y economía. 11ª Edición. 2004. Capítulos 10 y 11.
- Luecken D., Mebust M., 2008. Technical Challenges Involved in Implementation of VOC. Reactivity-Based Control of Ozone. *Environmental Science & Technology* 42, 1615-1622.
- Maryland Department of the Environment. 2007. BTEX.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2002. D.S. N°112 Establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Ozono (O₃).
- Morales, R.G. 2006. Contaminación Atmosférica urbana. Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago. Capítulo 6. Editorial Universitaria.
- Morris G., Ford B., Rappenglück B., Thompson A., Mefferd A., Ngan F., Lefer B., 2010. *Atmospheric Environment* 44, 4024-4034.

- Peñuelas, J. y Luisa, J. 2003. Emisiones Biogénicas de COV y Cambio Global. ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático?. *Cosistemas* 2003/001. (URL: www.aet.org/ecosistemas/031/investigacion8.htm)
- Pilidis G. 2005. BTX Measurements in a Medium-Sized European City. *Atmospheric Environment*.
- Rappenglück, B., Fabian p., 1999. An Analysis of Simultaneous Online GC Measurements of BTEX Aromatics at Three Selected Sites in the Greater Munich Area. *Journal of Applied Meteorology*, 38 (1999), 1448-1462.
- Rappenglück, B. 2003. Apoyo al Desarrollo de un Modelo Fotoquímico para la Región Metropolitana - Campaña de Monitoreo de Calidad Química del aire en la Región Metropolitana.
- Rappenglück B., Fabian P. 1998. A Study of BTEX-Ratios in the Urban Area of Munich/Germany Using Rapid Gas Chromatography. *Environmental Science & Pollut.* 2, 65-70.
- Rappenglück B., Fabian, P., Kalabokas, P., Viras, L. & Ziomas, I. 1998. Quasi-continuous measurements of non-methane hydrocarbons (NMHC) in the greater Athens area during Medcaphot-trace. *Atmospheric Environment* 32, 2103-2121.

- Rappenglück B., Oyola P., Olaeta I., Fabian P. 2000. The Evolution of Photochemical Smog in the Metropolitan Area of Santiago de Chile. *American Meteorological Society*. Marzo 2000.
- Rappenglück B., Schmitz R., Bauerfeind M., Cereceda-Balic F., Von Baer D., Jorquera H., Silva Y., Oyola P., 2005. An urban photochemistry study in Santiago de Chile. *Atmospheric Environment* 39, 2913-2931.
- Rubio M., Oyola P., Gramsch E., Lissi E., Pizarro J., Villena G., 2004. Ozone and peroxyacetylnitrate in downtown Santiago, Chile. *Atmospheric Environment* 38, 4931-4939.
- Rubio M., Zamorano N., Lissi E., Rojas A., Gutiérrez L., Von Baer D., 2006. Volatile carbonylic compounds in downtown Santiago, Chile. *Chemosphere* 62, 1011-1020.
- Schmitz R., 2005. Modelling of air pollution dispersion in Santiago de Chile. *Atmospheric Environment* 39, 2035-2047.
- Seguel, R. 2008. Formación de ozono y aerosoles secundarios en la ciudad de Santiago.
- Seguel R., Morales R., Leiva M., 2012. Ozone weekend effect in Santiago, Chile. *Environmental Pollution* 162, 72-79.

- Seguel R., Morales R., Leiva M., 2009. Estimations of primary and secondary organic carbon formation in PM_{2,5} aerosols of Santiago City, Chile. *Atmospheric Environment* 43, 2125-2131.
- Seguel R., Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2010. Estudio Fotoquímico Regional.
- Seguel R., Mancilla C., Morales R., Leiva M., Campos D., Rondanelli R., 2011. Ozone Gradients Above Complex Terrains In Central Chile.
- WHO, 1195. Update and revision of the air quality guidelines for Europe. eur/ico/ehaz 9405/pb01, WHO regional office for Europe.
- WHO, 2000b. chapter 7.2. Ozone and other photochemical oxidants. Air quality guidelines-second edition. WHO regional office for Europe, Copenhagen, Denmark
- Zalel A. 2007. Revealing Source Signatures in Ambient BTEX Concentrations. *Environmental Pollution*, 156 (2008) 553-562.

ANEXO 1:

CONCENTRACIONES DE BTEX OBTENIDAS DE LAS CAMPAÑAS
FOTOQUÍMICAS 2002 Y 2009

Parque O'Higgins 2002

Fecha	Hora	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m-p Xileno	o-Xileno
30-10-2002	10:00	0,345	0,942	0,179	0,363	0,218
30-10-2002	12:00	0,79	3,194	0,603	1,459	0,777
30-10-2002	14:00	0,373	1,097	0,263	0,454	0,272
30-10-2002	16:00	0,306	0,771	0,211	0,588	0,259
31-10-2002	8:05	4,001	13,515	3,197	10,191	4,783
31-10-2002	10:00	1,343	9,244	1,283	3,896	1,753
31-10-2002	12:00	0,655	3,386	0,644	1,618	0,834
31-10-2002	14:00	0,34	0,967	0,19	0,375	0,223
31-10-2002	16:00	0,229	0,758	0,167	0,436	0,215
01-11-2002	8:05	0,701	1,871	0,384	1,324	0,547
01-11-2002	10:00	0,615	1,852	0,611	1,961	0,754
01-11-2002	12:00	0,301	0,557	0,267	0,643	0,442
01-11-2002	14:00	0,262	0	0,114	0,268	0,146

Las Condes 2002

Fecha	Hora	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m-p Xileno	o-Xileno
30-10-2002	8:30	1,991	5,673	0,972	3,243	1,478
30-10-2002	10:00	1,384	3,256	0,695	2,101	1,048
30-10-2002	12:00	0,857	2,184	0,464	1,152	0,685
30-10-2002	14:00	1,156	3,803	0,776	1,609	0,934
30-10-2002	16:00	0,354	1,083	0,238	0,633	0,33
31-10-2002	8:20	1,039	2,284	0,462	1,459	0,684
31-10-2002	10:00	1,018	2,448	0,524	1,504	0,743
31-10-2002	12:00	2,057	5,989	1,246	3,145	1,707
31-10-2002	14:00	0,956	3,501	0,704	1,189	0,719
31-10-2002	16:00	0,629	1,772	0,384	1,029	0,53
01-11-2002	8:20	1,379	4,186	0,879	2,881	1,336
01-11-2002	10:00	1,022	2,72	0,561	1,564	0,791
01-11-2002	12:00	0,989	2,395	1,117	1,768	0,988
01-11-2002	14:00	0,654	1,575	0,356	0,766	0,467
01-11-2002	16:00	0,455	1,222	0,256	0,653	0,375

Parque O'Higgins 2009

Fecha	Hora	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m-p Xileno	o-Xileno
16-12-2009	6:00	1,141	6,246	1,915	6,880	2,266
16-12-2009	12:00	0,207	1,115	0,241	0,602	0,235
17-12-2009	6:00	0,816	2,993	1,350	5,082	1,607
17-12-2009	12:00	0,258	0,862	0,272	0,826	0,294
23-12-2009	6:00	0,333	0,783	0,121	0,450	0,183
23-12-2009	12:00	0,272	0,575	0,157	0,458	0,165

Las Condes 2009

Fecha	Hora	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m-p Xileno	o-Xileno
16-12-2009	8:40	1,191	4,169	1,787	6,907	2,154
16-12-2009	12:00	0,378	1,611	0,285	1,023	0,382
17-12-2009	6:00	0,404	1,857	0,425	1,035	0,426
17-12-2009	12:00	0,449	1,902	0,420	1,088	0,423
20-12-2009	6:00	0,313	1,119	0,248	0,885	0,327
20-12-2009	12:00	0,345	1,104	0,152	0,284	0,144
23-12-2009	6:28	0,458	1,851	0,501	1,576	0,602
23-12-2009	12:12	0,398	1,330	0,367	0,848	0,336

ANEXO 2:

PROMEDIOS HORARIOS DE LAS CONCENTRACIONES DE O₃ OBTENIDOS EN
LA CAMPAÑA FOTOQUÍMICA 2009.

Promedios horarios de O₃ (ppb)

Horas	Colina	Las Condes	Parque	Peñaflor
0	10,7	3	8,6	5,9
1	9,2	3,5	7,2	5,8
2	7,9	3,9	6,1	4,8
3	7,8	4,3	4,8	4,1
4	7,2	5,3	3,4	3,3
5	6,6	5,5	2,5	3,1
6	5,7	3,8	1,8	2,4
7	7,9	5,3	2,6	2,8
8	15,3	13,2	6,9	7,2
9	23,9	21,6	14,5	15,3
10	34,4	31,3	25,5	23,1
11	45,7	42,4	41,7	31
12	57	55,9	52,9	34,8
13	65,9	70,1	52,9	36,4
14	65,4	70,9	50,6	36,7
15	60,4	62,5	49,3	35,5
16	54,6	56	46,8	35,3
17	48,2	49,8	42,7	32,1
18	42,3	42,6	37,5	30
19	36,8	35	31,9	26,7
20	30,1	27	23,6	22,7
21	22,6	16,5	16,6	18,1
22	16,8	7,8	12,5	12
23	12,4	3,7	10,3	7,2

ANEXO 3:

DATOS DE DIRECCIÓN DEL VIENTO OBTENIDOS EN LA ESTACIÓN DE LAS
CONDES DURANTE LA CAMPAÑA FOTOQUÍMICA 2009

Las Condes, Diciembre 2009. 0 a 5 hrs.

Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)
01-12-2009 0:00	90,7
01-12-2009 1:00	72,2
01-12-2009 2:00	68,1
01-12-2009 3:00	82,6
01-12-2009 4:00	81,0
01-12-2009 5:00	113,1
02-12-2009 0:00	252,3
02-12-2009 1:00	77,7
02-12-2009 2:00	63,0
02-12-2009 3:00	65,9
02-12-2009 4:00	65,8
02-12-2009 5:00	77,4
03-12-2009 0:00	44,3
03-12-2009 1:00	62,5
03-12-2009 2:00	57,0
03-12-2009 3:00	77,0
03-12-2009 4:00	68,8
03-12-2009 5:00	78,1
04-12-2009 0:00	75,8
04-12-2009 1:00	71,1
04-12-2009 2:00	70,9
04-12-2009 3:00	73,9
04-12-2009 4:00	73,4
04-12-2009 5:00	64,9
05-12-2009 0:00	48,4
05-12-2009 1:00	253,1
05-12-2009 2:00	133,5
05-12-2009 3:00	244,6
05-12-2009 4:00	42,1
05-12-2009 5:00	238,3
06-12-2009 0:00	66,9
06-12-2009 1:00	55,6
06-12-2009 2:00	82,8
06-12-2009 3:00	175,5
06-12-2009 4:00	84,1
06-12-2009 5:00	71,0
07-12-2009 0:00	65,9
07-12-2009 1:00	54,3
07-12-2009 2:00	185,1
07-12-2009 3:00	102,0
07-12-2009 4:00	76,7
07-12-2009 5:00	100,7
08-12-2009 0:00	135,1
08-12-2009 1:00	56,6
08-12-2009 2:00	171,4
08-12-2009 3:00	95,2
08-12-2009 4:00	186,1
08-12-2009 5:00	109,7
09-12-2009 0:00	79,1
09-12-2009 1:00	80,5
09-12-2009 2:00	76,7
09-12-2009 3:00	78,0
09-12-2009 4:00	79,1
09-12-2009 5:00	76,0
10-12-2009 0:00	66,9
10-12-2009 1:00	75,7
10-12-2009 2:00	79,8
10-12-2009 3:00	68,3
10-12-2009 4:00	72,4
10-12-2009 5:00	57,9
11-12-2009 0:00	115,9
11-12-2009 1:00	153,1

Las Condes, Diciembre 2009. 0 a 5 hrs.

Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)
11-12-2009 2:00	80,5
11-12-2009 3:00	78,4
11-12-2009 4:00	100,9
11-12-2009 5:00	81,3
12-12-2009 0:00	50,3
12-12-2009 1:00	85,4
12-12-2009 2:00	150,9
12-12-2009 3:00	68,4
12-12-2009 4:00	61,9
12-12-2009 5:00	73,4
13-12-2009 0:00	78,6
13-12-2009 1:00	80,0
13-12-2009 2:00	74,9
13-12-2009 3:00	69,3
13-12-2009 4:00	74,8
13-12-2009 5:00	49,2
14-12-2009 0:00	61,5
14-12-2009 1:00	35,4
14-12-2009 2:00	76,5
14-12-2009 3:00	87,5
14-12-2009 4:00	79,4
14-12-2009 5:00	76,7
15-12-2009 0:00	60,7
15-12-2009 1:00	77,2
15-12-2009 2:00	56,1
15-12-2009 3:00	30,9
15-12-2009 4:00	104,1
15-12-2009 5:00	76,0
16-12-2009 0:00	72,2
16-12-2009 1:00	64,6
16-12-2009 2:00	70,6
16-12-2009 3:00	-----
16-12-2009 4:00	-----
16-12-2009 5:00	-----
17-12-2009 0:00	52,9
17-12-2009 1:00	73,2
17-12-2009 2:00	55,5
17-12-2009 3:00	66,5
17-12-2009 4:00	42,5
17-12-2009 5:00	66,3
18-12-2009 0:00	116,0
18-12-2009 1:00	50,7
18-12-2009 2:00	187,9
18-12-2009 3:00	49,2
18-12-2009 4:00	58,2
18-12-2009 5:00	136,9
19-12-2009 0:00	75,2
19-12-2009 1:00	61,6
19-12-2009 2:00	68,8
19-12-2009 3:00	52,8
19-12-2009 4:00	173,7
19-12-2009 5:00	114,5
20-12-2009 0:00	58,6
20-12-2009 1:00	45,2
20-12-2009 2:00	68,2
20-12-2009 3:00	71,3
20-12-2009 4:00	65,2
20-12-2009 5:00	61,6
21-12-2009 0:00	53,1
21-12-2009 1:00	71,3
21-12-2009 2:00	76,6
21-12-2009 3:00	68,1
21-12-2009 4:00	66,3
21-12-2009 5:00	73,5

Las Condes, Diciembre 2009. 0 a 5 hrs.

Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)
22-12-2009 0:00	81,8
22-12-2009 1:00	57,3
22-12-2009 2:00	81,1
22-12-2009 3:00	70,7
22-12-2009 4:00	80,4
22-12-2009 5:00	48,6
23-12-2009 0:00	196,6
23-12-2009 1:00	54,3
23-12-2009 2:00	76,2
23-12-2009 3:00	66,3
23-12-2009 4:00	77,8
23-12-2009 5:00	78,0
24-12-2009 0:00	72,2
24-12-2009 1:00	102,1
24-12-2009 2:00	114,0
24-12-2009 3:00	78,2
24-12-2009 4:00	81,1
24-12-2009 5:00	72,7
25-12-2009 0:00	58,8
25-12-2009 1:00	75,4
25-12-2009 2:00	72,0
25-12-2009 3:00	70,6
25-12-2009 4:00	64,4
25-12-2009 5:00	56,2
26-12-2009 0:00	87,7
26-12-2009 1:00	75,0
26-12-2009 2:00	72,7
26-12-2009 3:00	71,0
26-12-2009 4:00	57,4
26-12-2009 5:00	72,4
27-12-2009 0:00	75,8
27-12-2009 1:00	78,1
27-12-2009 2:00	61,4
27-12-2009 3:00	70,8
27-12-2009 4:00	66,2
27-12-2009 5:00	75,9
28-12-2009 0:00	201,1
28-12-2009 1:00	210,4
28-12-2009 2:00	227,0
28-12-2009 3:00	158,7
28-12-2009 4:00	83,2
28-12-2009 5:00	85,2
29-12-2009 0:00	186,5
29-12-2009 1:00	50,2
29-12-2009 2:00	20,5
29-12-2009 3:00	223,1
29-12-2009 4:00	126,4
29-12-2009 5:00	81,6
30-12-2009 0:00	155,1
30-12-2009 1:00	87,3
30-12-2009 2:00	68,7
30-12-2009 3:00	80,2
30-12-2009 4:00	85,1
30-12-2009 5:00	69,5
31-12-2009 0:00	90,4
31-12-2009 1:00	80,5
31-12-2009 2:00	74,8
31-12-2009 3:00	72,3
31-12-2009 4:00	89,0
31-12-2009 5:00	93,3

Las Condes, Diciembre 2009. 6 a 11 hrs.		Las Condes, Diciembre 2009. 6 a 11 hrs.		Las Condes, Diciembre 2009. 6 a 11 hrs.	
Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)	Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)	Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)
01-12-2009 6:00	74,1	12-12-2009 7:00	92,2	23-12-2009 8:00	295,6
01-12-2009 7:00	69,9	12-12-2009 8:00	84,0	23-12-2009 9:00	207,1
01-12-2009 8:00	70,4	12-12-2009 9:00	211,7	23-12-2009 10:00	221,3
01-12-2009 9:00	229,8	12-12-2009 10:00	248,1	23-12-2009 11:00	226,7
01-12-2009 10:00	249,4	12-12-2009 11:00	238,2	24-12-2009 6:00	63,2
01-12-2009 11:00	224,7	13-12-2009 6:00	161,6	24-12-2009 7:00	73,7
02-12-2009 6:00	70,8	13-12-2009 7:00	74,9	24-12-2009 8:00	99,3
02-12-2009 7:00	64,9	13-12-2009 8:00	55,5	24-12-2009 9:00	228,7
02-12-2009 8:00	61,3	13-12-2009 9:00	190,4	24-12-2009 10:00	223,1
02-12-2009 9:00	218,7	13-12-2009 10:00	225,6	24-12-2009 11:00	234,6
02-12-2009 10:00	234,7	13-12-2009 11:00	274,6	25-12-2009 6:00	70,7
02-12-2009 11:00	231,3	14-12-2009 6:00	69,0	25-12-2009 7:00	95,3
03-12-2009 6:00	75,6	14-12-2009 7:00	77,9	25-12-2009 8:00	220,8
03-12-2009 7:00	77,5	14-12-2009 8:00	245,7	25-12-2009 9:00	249,3
03-12-2009 8:00	114,3	14-12-2009 9:00	248,1	25-12-2009 10:00	249,5
03-12-2009 9:00	229,0	14-12-2009 10:00	218,4	25-12-2009 11:00	229,0
03-12-2009 10:00	255,0	14-12-2009 11:00	235,8	26-12-2009 6:00	81,6
03-12-2009 11:00	252,0	15-12-2009 6:00	62,5	26-12-2009 7:00	57,4
04-12-2009 6:00	70,9	15-12-2009 7:00	47,7	26-12-2009 8:00	223,2
04-12-2009 7:00	85,0	15-12-2009 8:00	227,8	26-12-2009 9:00	226,4
04-12-2009 8:00	81,0	15-12-2009 9:00	54,5	26-12-2009 10:00	248,5
04-12-2009 9:00	244,4	15-12-2009 10:00	244,6	26-12-2009 11:00	253,2
04-12-2009 10:00	223,8	15-12-2009 11:00	231,7	27-12-2009 6:00	88,7
04-12-2009 11:00	229,4	16-12-2009 6:00	-----	27-12-2009 7:00	69,8
05-12-2009 6:00	163,0	16-12-2009 7:00	75,2	27-12-2009 8:00	192,1
05-12-2009 7:00	79,4	16-12-2009 8:00	94,3	27-12-2009 9:00	243,1
05-12-2009 8:00	217,2	16-12-2009 9:00	208,5	27-12-2009 10:00	261,6
05-12-2009 9:00	252,9	16-12-2009 10:00	219,6	27-12-2009 11:00	229,3
05-12-2009 10:00	220,1	16-12-2009 11:00	231,9	28-12-2009 6:00	62,4
05-12-2009 11:00	237,3	17-12-2009 6:00	91,9	28-12-2009 7:00	120,5
06-12-2009 6:00	63,9	17-12-2009 7:00	57,7	28-12-2009 8:00	71,7
06-12-2009 7:00	55,7	17-12-2009 8:00	64,9	28-12-2009 9:00	21,6
06-12-2009 8:00	220,6	17-12-2009 9:00	73,7	28-12-2009 10:00	215,2
06-12-2009 9:00	224,8	17-12-2009 10:00	228,3	28-12-2009 11:00	216,6
06-12-2009 10:00	239,9	17-12-2009 11:00	231,8	29-12-2009 6:00	59,1
06-12-2009 11:00	231,2	18-12-2009 6:00	80,8	29-12-2009 7:00	52,7
07-12-2009 6:00	46,2	18-12-2009 7:00	59,8	29-12-2009 8:00	203,7
07-12-2009 7:00	185,7	18-12-2009 8:00	196,9	29-12-2009 9:00	275,7
07-12-2009 8:00	348,1	18-12-2009 9:00	226,2	29-12-2009 10:00	222,3
07-12-2009 9:00	244,5	18-12-2009 10:00	213,0	29-12-2009 11:00	211,8
07-12-2009 10:00	230,6	18-12-2009 11:00	208,8	30-12-2009 6:00	63,0
07-12-2009 11:00	230,6	19-12-2009 6:00	82,6	30-12-2009 7:00	80,9
08-12-2009 6:00	213,1	19-12-2009 7:00	75,3	30-12-2009 8:00	238,3
08-12-2009 7:00	82,1	19-12-2009 8:00	64,3	30-12-2009 9:00	217,3
08-12-2009 8:00	81,7	19-12-2009 9:00	289,1	30-12-2009 10:00	232,0
08-12-2009 9:00	256,7	19-12-2009 10:00	228,9	30-12-2009 11:00	223,9
08-12-2009 10:00	236,4	19-12-2009 11:00	238,8	31-12-2009 6:00	73,3
08-12-2009 11:00	250,4	20-12-2009 6:00	71,0	31-12-2009 7:00	85,5
09-12-2009 6:00	79,7	20-12-2009 7:00	65,1	31-12-2009 8:00	190,2
09-12-2009 7:00	86,6	20-12-2009 8:00	326,1	31-12-2009 9:00	222,3
09-12-2009 8:00	145,0	20-12-2009 9:00	229,6	31-12-2009 10:00	220,9
09-12-2009 9:00	245,6	20-12-2009 10:00	250,4	31-12-2009 11:00	240,8
09-12-2009 10:00	240,8	20-12-2009 11:00	232,8		
09-12-2009 11:00	229,4	21-12-2009 6:00	77,6		
10-12-2009 6:00	76,2	21-12-2009 7:00	76,2		
10-12-2009 7:00	77,3	21-12-2009 8:00	86,0		
10-12-2009 8:00	174,8	21-12-2009 9:00	232,7		
10-12-2009 9:00	240,3	21-12-2009 10:00	249,0		
10-12-2009 10:00	249,7	21-12-2009 11:00	232,9		
10-12-2009 11:00	229,5	22-12-2009 6:00	169,8		
11-12-2009 6:00	70,8	22-12-2009 7:00	123,7		
11-12-2009 7:00	91,2	22-12-2009 8:00	52,8		
11-12-2009 8:00	185,9	22-12-2009 9:00	159,0		
11-12-2009 9:00	262,0	22-12-2009 10:00	226,3		
11-12-2009 10:00	257,4	22-12-2009 11:00	259,7		
11-12-2009 11:00	241,2	23-12-2009 6:00	72,2		
12-12-2009 6:00	68,3	23-12-2009 7:00	76,3		

Las Condes, Diciembre 2009. 12 a 17 hrs.		Las Condes, Diciembre 2009. 12 a 17 hrs.		Las Condes, Diciembre 2009. 12 a 17 hrs.	
Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)	Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)	Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)
01-12-2009 12:00	228,1	12-12-2009 14:00	246,8	23-12-2009 16:00	248,7
01-12-2009 13:00	228,8	12-12-2009 15:00	215,5	23-12-2009 17:00	231,0
01-12-2009 14:00	232,4	12-12-2009 16:00	266,8	24-12-2009 12:00	236,7
01-12-2009 15:00	247,1	12-12-2009 17:00	252,0	24-12-2009 13:00	220,5
01-12-2009 16:00	255,1	13-12-2009 12:00	229,6	24-12-2009 14:00	238,6
01-12-2009 17:00	252,5	13-12-2009 13:00	219,6	24-12-2009 15:00	216,8
02-12-2009 12:00	219,1	13-12-2009 14:00	234,5	24-12-2009 16:00	238,6
02-12-2009 13:00	237,4	13-12-2009 15:00	226,2	24-12-2009 17:00	231,0
02-12-2009 14:00	233,9	13-12-2009 16:00	209,3	25-12-2009 12:00	238,3
02-12-2009 15:00	258,1	13-12-2009 17:00	225,3	25-12-2009 13:00	248,0
02-12-2009 16:00	227,8	14-12-2009 12:00	201,4	25-12-2009 14:00	257,2
02-12-2009 17:00	245,3	14-12-2009 13:00	223,8	25-12-2009 15:00	227,9
03-12-2009 12:00	260,5	14-12-2009 14:00	254,6	25-12-2009 16:00	267,4
03-12-2009 13:00	239,4	14-12-2009 15:00	237,4	25-12-2009 17:00	244,5
03-12-2009 14:00	248,9	14-12-2009 16:00	245,6	26-12-2009 12:00	227,8
03-12-2009 15:00	234,9	14-12-2009 17:00	243,2	26-12-2009 13:00	222,4
03-12-2009 16:00	263,5	15-12-2009 12:00	208,7	26-12-2009 14:00	210,3
03-12-2009 17:00	240,1	15-12-2009 13:00	229,3	26-12-2009 15:00	233,7
04-12-2009 12:00	220,3	15-12-2009 14:00	251,6	26-12-2009 16:00	251,7
04-12-2009 13:00	236,5	15-12-2009 15:00	239,0	26-12-2009 17:00	235,4
04-12-2009 14:00	238,2	15-12-2009 16:00	262,6	27-12-2009 12:00	235,7
04-12-2009 15:00	232,7	15-12-2009 17:00	238,2	27-12-2009 13:00	233,8
04-12-2009 16:00	246,7	16-12-2009 12:00	220,0	27-12-2009 14:00	234,8
04-12-2009 17:00	224,2	16-12-2009 13:00	248,9	27-12-2009 15:00	229,6
05-12-2009 12:00	236,0	16-12-2009 14:00	233,6	27-12-2009 16:00	245,9
05-12-2009 13:00	244,6	16-12-2009 15:00	240,8	27-12-2009 17:00	228,4
05-12-2009 14:00	238,3	16-12-2009 16:00	268,4	28-12-2009 12:00	220,0
05-12-2009 15:00	246,2	16-12-2009 17:00	252,0	28-12-2009 13:00	202,3
05-12-2009 16:00	264,5	17-12-2009 12:00	235,4	28-12-2009 14:00	237,8
05-12-2009 17:00	261,5	17-12-2009 13:00	251,2	28-12-2009 15:00	228,7
06-12-2009 12:00	213,4	17-12-2009 14:00	256,1	28-12-2009 16:00	243,4
06-12-2009 13:00	229,4	17-12-2009 15:00	244,3	28-12-2009 17:00	241,0
06-12-2009 14:00	243,6	17-12-2009 16:00	230,8	29-12-2009 12:00	224,3
06-12-2009 15:00	253,1	17-12-2009 17:00	247,1	29-12-2009 13:00	221,6
06-12-2009 16:00	236,3	18-12-2009 12:00	236,6	29-12-2009 14:00	202,7
06-12-2009 17:00	235,5	18-12-2009 13:00	257,3	29-12-2009 15:00	201,5
07-12-2009 12:00	247,2	18-12-2009 14:00	249,7	29-12-2009 16:00	221,5
07-12-2009 13:00	242,5	18-12-2009 15:00	242,6	29-12-2009 17:00	216,5
07-12-2009 14:00	248,4	18-12-2009 16:00	249,9	30-12-2009 12:00	229,7
07-12-2009 15:00	249,7	18-12-2009 17:00	238,6	30-12-2009 13:00	251,9
07-12-2009 16:00	248,4	19-12-2009 12:00	246,1	30-12-2009 14:00	232,9
07-12-2009 17:00	258,6	19-12-2009 13:00	221,2	30-12-2009 15:00	226,9
08-12-2009 12:00	237,6	19-12-2009 14:00	217,0	30-12-2009 16:00	257,4
08-12-2009 13:00	234,4	19-12-2009 15:00	217,6	30-12-2009 17:00	247,5
08-12-2009 14:00	237,0	19-12-2009 16:00	223,2	31-12-2009 12:00	227,8
08-12-2009 15:00	229,7	19-12-2009 17:00	287,4	31-12-2009 13:00	234,6
08-12-2009 16:00	249,9	20-12-2009 12:00	245,8	31-12-2009 14:00	255,2
08-12-2009 17:00	240,9	20-12-2009 13:00	231,6	31-12-2009 15:00	245,9
09-12-2009 12:00	233,0	20-12-2009 14:00	231,9	31-12-2009 16:00	239,5
09-12-2009 13:00	228,6	20-12-2009 15:00	224,5	31-12-2009 17:00	259,4
09-12-2009 14:00	238,6	20-12-2009 16:00	223,2		
09-12-2009 15:00	247,3	20-12-2009 17:00	254,1		
09-12-2009 16:00	236,2	21-12-2009 12:00	220,3		
09-12-2009 17:00	252,6	21-12-2009 13:00	242,1		
10-12-2009 12:00	234,5	21-12-2009 14:00	249,8		
10-12-2009 13:00	260,1	21-12-2009 15:00	219,7		
10-12-2009 14:00	241,9	21-12-2009 16:00	232,0		
10-12-2009 15:00	247,9	21-12-2009 17:00	257,7		
10-12-2009 16:00	252,4	22-12-2009 12:00	208,7		
10-12-2009 17:00	251,9	22-12-2009 13:00	237,7		
11-12-2009 12:00	229,7	22-12-2009 14:00	216,0		
11-12-2009 13:00	248,9	22-12-2009 15:00	228,2		
11-12-2009 14:00	239,6	22-12-2009 16:00	245,5		
11-12-2009 15:00	214,5	22-12-2009 17:00	255,1		
11-12-2009 16:00	242,9	23-12-2009 12:00	229,2		
11-12-2009 17:00	255,0	23-12-2009 13:00	223,4		
12-12-2009 12:00	230,9	23-12-2009 14:00	242,1		
12-12-2009 13:00	246,9	23-12-2009 15:00	252,2		

Las Condes, Diciembre 2009. 18 a 23 hrs.		Las Condes, Diciembre 2009. 18 a 23 hrs.		Las Condes, Diciembre 2009. 18 a 23 hrs.	
Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)	Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)	Fecha y Hora	Dirección del viento (grados)
01-12-2009 18:00	225,1	12-12-2009 19:00	215,8	23-12-2009 20:00	206,0
01-12-2009 19:00	232,2	12-12-2009 20:00	198,9	23-12-2009 21:00	187,6
01-12-2009 20:00	236,2	12-12-2009 21:00	173,6	23-12-2009 22:00	169,9
01-12-2009 21:00	197,4	12-12-2009 22:00	159,5	23-12-2009 23:00	162,3
01-12-2009 22:00	102,3	12-12-2009 23:00	78,5	24-12-2009 18:00	254,3
01-12-2009 23:00	55,9	13-12-2009 18:00	193,4	24-12-2009 19:00	233,6
02-12-2009 18:00	215,4	13-12-2009 19:00	200,7	24-12-2009 20:00	204,4
02-12-2009 19:00	218,6	13-12-2009 20:00	194,6	24-12-2009 21:00	194,1
02-12-2009 20:00	206,3	13-12-2009 21:00	217,3	24-12-2009 22:00	145,3
02-12-2009 21:00	140,2	13-12-2009 22:00	172,1	24-12-2009 23:00	64,2
02-12-2009 22:00	55,5	13-12-2009 23:00	94,1	25-12-2009 18:00	231,9
02-12-2009 23:00	50,5	14-12-2009 18:00	250,6	25-12-2009 19:00	207,4
03-12-2009 18:00	255,2	14-12-2009 19:00	243,4	25-12-2009 20:00	204,0
03-12-2009 19:00	237,6	14-12-2009 20:00	200,5	25-12-2009 21:00	198,1
03-12-2009 20:00	202,7	14-12-2009 21:00	150,9	25-12-2009 22:00	104,2
03-12-2009 21:00	156,1	14-12-2009 22:00	168,7	25-12-2009 23:00	98,1
03-12-2009 22:00	109,6	14-12-2009 23:00	87,1	26-12-2009 18:00	241,7
03-12-2009 23:00	77,2	15-12-2009 18:00	240,4	26-12-2009 19:00	264,5
04-12-2009 18:00	231,6	15-12-2009 19:00	217,2	26-12-2009 20:00	203,0
04-12-2009 19:00	211,1	15-12-2009 20:00	205,6	26-12-2009 21:00	194,6
04-12-2009 20:00	197,1	15-12-2009 21:00	170,2	26-12-2009 22:00	175,2
04-12-2009 21:00	198,5	15-12-2009 22:00	85,1	26-12-2009 23:00	138,1
04-12-2009 22:00	188,8	15-12-2009 23:00	62,2	27-12-2009 18:00	220,1
04-12-2009 23:00	187,9	16-12-2009 18:00	250,1	27-12-2009 19:00	190,9
05-12-2009 18:00	237,7	16-12-2009 19:00	218,4	27-12-2009 20:00	201,6
05-12-2009 19:00	251,7	16-12-2009 20:00	202,8	27-12-2009 21:00	217,5
05-12-2009 20:00	212,4	16-12-2009 21:00	141,9	27-12-2009 22:00	215,6
05-12-2009 21:00	176,3	16-12-2009 22:00	72,9	27-12-2009 23:00	212,7
05-12-2009 22:00	95,3	16-12-2009 23:00	91,3	28-12-2009 18:00	234,1
05-12-2009 23:00	61,7	17-12-2009 18:00	257,2	28-12-2009 19:00	216,3
06-12-2009 18:00	218,5	17-12-2009 19:00	217,5	28-12-2009 20:00	195,1
06-12-2009 19:00	213,7	17-12-2009 20:00	208,3	28-12-2009 21:00	196,0
06-12-2009 20:00	218,3	17-12-2009 21:00	177,8	28-12-2009 22:00	214,3
06-12-2009 21:00	205,4	17-12-2009 22:00	175,6	28-12-2009 23:00	216,9
06-12-2009 22:00	204,4	17-12-2009 23:00	61,1	29-12-2009 18:00	256,1
06-12-2009 23:00	111,2	18-12-2009 18:00	211,5	29-12-2009 19:00	223,0
07-12-2009 18:00	251,6	18-12-2009 19:00	198,5	29-12-2009 20:00	206,7
07-12-2009 19:00	254,2	18-12-2009 20:00	211,7	29-12-2009 21:00	193,5
07-12-2009 20:00	204,5	18-12-2009 21:00	196,0	29-12-2009 22:00	154,8
07-12-2009 21:00	183,2	18-12-2009 22:00	199,2	29-12-2009 23:00	198,6
07-12-2009 22:00	203,3	18-12-2009 23:00	153,2	30-12-2009 18:00	244,6
07-12-2009 23:00	179,8	19-12-2009 18:00	199,5	30-12-2009 19:00	247,4
08-12-2009 18:00	248,7	19-12-2009 19:00	183,3	30-12-2009 20:00	206,7
08-12-2009 19:00	268,8	19-12-2009 20:00	181,7	30-12-2009 21:00	204,3
08-12-2009 20:00	228,8	19-12-2009 21:00	133,2	30-12-2009 22:00	176,6
08-12-2009 21:00	174,2	19-12-2009 22:00	79,5	30-12-2009 23:00	103,0
08-12-2009 22:00	71,1	19-12-2009 23:00	53,8	31-12-2009 18:00	267,6
08-12-2009 23:00	60,7	20-12-2009 18:00	260,6	31-12-2009 19:00	240,6
09-12-2009 18:00	253,9	20-12-2009 19:00	214,8	31-12-2009 20:00	210,8
09-12-2009 19:00	228,8	20-12-2009 20:00	189,0	31-12-2009 21:00	202,9
09-12-2009 20:00	212,5	20-12-2009 21:00	186,7	31-12-2009 22:00	179,6
09-12-2009 21:00	162,4	20-12-2009 22:00	129,7	31-12-2009 23:00	164,4
09-12-2009 22:00	78,1	20-12-2009 23:00	75,9		
09-12-2009 23:00	84,3	21-12-2009 18:00	238,4		
10-12-2009 18:00	234,2	21-12-2009 19:00	192,7		
10-12-2009 19:00	217,7	21-12-2009 20:00	184,4		
10-12-2009 20:00	201,9	21-12-2009 21:00	186,8		
10-12-2009 21:00	187,5	21-12-2009 22:00	135,2		
10-12-2009 22:00	207,4	21-12-2009 23:00	66,6		
10-12-2009 23:00	147,8	22-12-2009 18:00	226,7		
11-12-2009 18:00	258,8	22-12-2009 19:00	219,5		
11-12-2009 19:00	242,1	22-12-2009 20:00	205,8		
11-12-2009 20:00	199,7	22-12-2009 21:00	198,6		
11-12-2009 21:00	198,0	22-12-2009 22:00	178,6		
11-12-2009 22:00	153,6	22-12-2009 23:00	183,8		
11-12-2009 23:00	87,4	23-12-2009 18:00	242,5		
12-12-2009 18:00	249,4	23-12-2009 19:00	250,7		

ANEXO 4:

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA COMPARACIÓN DE LAS
CONCENTRACIONES DE BTEX OBTENIDAS DE LAS CAMPAÑAS
REALIZADAS EN LOS AÑOS 2002 Y 2009.

Comparación de medias

En cada uno de los casos por analizar se tiene que el tamaño de las muestras es pequeño, entonces para decidir cuál es el estadístico de trabajo adecuado para el test de hipótesis de la diferencia de medias, primero se debe probar si las varianzas poblacionales son iguales o no.

Para este propósito se realiza el siguiente test.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 \quad \frac{\sigma_{m1}^2}{\sigma_{m2}^2} = 1 \\ \\ H_A \quad \frac{\sigma_{m1}^2}{\sigma_{m2}^2} \neq 1 \end{array} \right.$$

Donde:

σ_{m1}^2 : varianza de la población 1

σ_{m2}^2 : varianza de la población 2

Con el estadístico siguiente, donde $s_{m1}^2 \cdot s_{m2}^2$ corresponden a las varianzas de las muestras de tamaño n_1 y n_2 respectivamente sigue una distribución de Fisher a (n_1-1) ; (n_2-1) grados de libertad.

$$F = \frac{n_1(n_2 - 1)s_{m1}^2\sigma_{m2}^2}{n_2(n_1 - 1)s_{m2}^2\sigma_{m1}^2} \rightarrow F_{n1-1;n2-1} \quad (E1)$$

Dado que en cada caso se analizan muestras de tamaño 6, con la recomendación estadística de considerar una confiabilidad del 90 por ciento, de la tabla de distribución F con 5 grados de libertad en el numerador y 5 grados de libertad en el denominador, los valores al 0,05 y 0,95 son 0,20 y 5,05 respectivamente, como se observa en la siguiente figura.

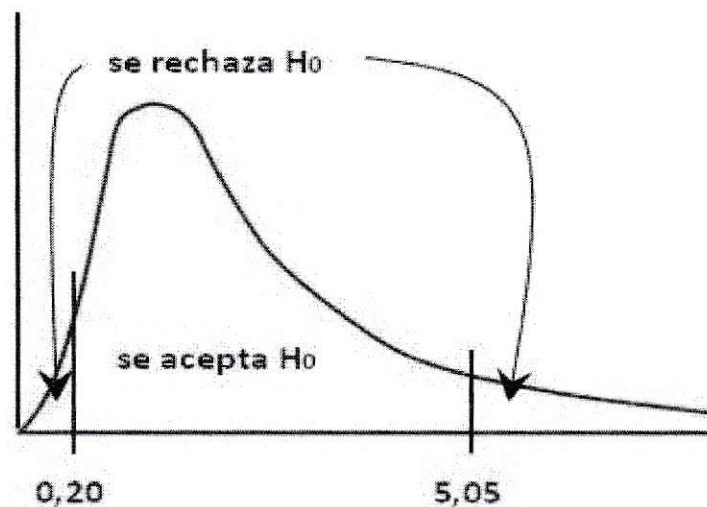


Figura 1: Esquema descriptivo del rechazo o aceptación de H_0 .

Así, una vez determinada la naturaleza de la varianza se establece el test de hipótesis que aplica a la diferencia de medias.

Benceno

Tabla 1: Valores del análisis estadístico de los datos de Benceno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	Tamaño	Media	DE	SE Media	CV
Año 2002	6	0,700	0,230	0,094	0,329
Año 2009	6	0,330	0,090	0,037	0,273

Análisis de varianza. En este caso el estadístico E1 toma el valor **0,153** (analizado de forma simétrica el estadístico toma el valor **6,53**), por lo que, según se indica en la figura 1, corresponde rechazar la hipótesis nula de igualdad de varianzas en la población.

En este caso, el test de hipótesis para diferencia de medias con varianzas poblacionales diferentes (desconocidas) y tamaño de muestra menor que 29, corresponde utilizar el siguiente estadístico que sigue una distribución de *student* a k grados de libertad.

$$Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{(n_1 - 1)} + \frac{s_2^2}{(n_2 - 1)}}} \longrightarrow t_{(k)} \quad (E2)$$

Siendo

$$k = \frac{\left(\frac{s_1^2}{(n_1 - 1)} + \frac{s_2^2}{(n_2 - 1)} \right)^2}{\left(\frac{s_1^2}{(n_1 - 1)} \right)^2 \left(\frac{1}{(n_1 + 1)} \right) + \left(\frac{s_2^2}{(n_2 - 1)} \right)^2 \left(\frac{1}{(n_2 + 1)} \right)} - 2 \quad (E3)$$

Así, se establece el siguiente test de hipótesis para determinar si las concentraciones

medias en ambos periodos son o no iguales.

Sea

μ_1 : promedio del benceno en el periodo 2002

μ_2 : promedio del benceno en el periodo 2009

Así

$$\text{Test } t \text{ para dos muestras: } \left\{ \begin{array}{ll} H_0 & : \mu_1 = \mu_2 \quad \textit{hipótesis nula} \\ H_A & : \mu_1 \neq \mu_2 \quad \textit{hipótesis alternativa} \end{array} \right.$$

El estadístico E_2 en este caso toma el valor **-30,33**, los grados de libertad, k , corresponden a 7 y el valor teórico de la distribución de student para 7 grados de libertad es **0,13**, por lo que es claro que corresponde rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias, según se observa en el gráfico siguiente.

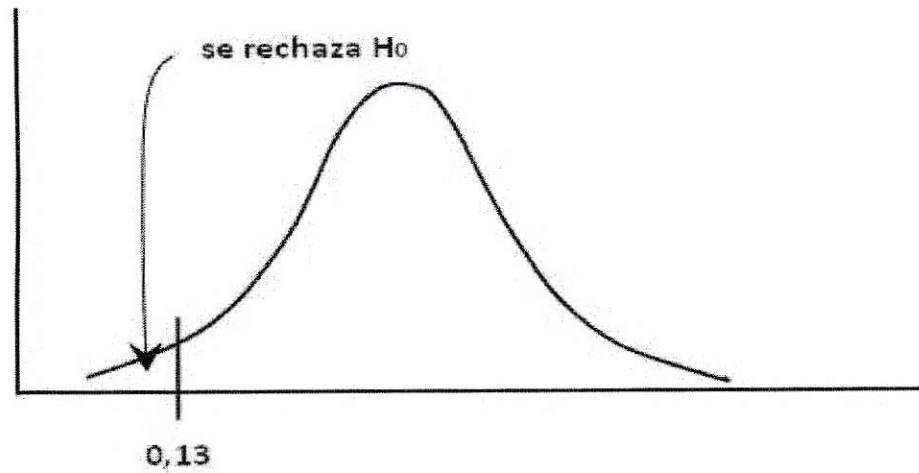


Figura 2: Esquema descriptivo del rechazo de H_0 en el caso del análisis de los datos de Benceno

Se rechaza H_0

Lo que significa que la variación entre un periodo y otro es significativa.

Etilbenceno

Tabla 2: Valores del análisis estadístico de los datos de Etilbenceno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	Tamaño	Media	DE	SE Media	CV
Año 2002	6	0,640	0,230	0,094	0,359
Año 2009	6	0,270	0,100	0,041	0,370

Análisis de varianza. En este caso el estadístico E1 toma el valor **0,19**, por lo que, según se indica en la figura 1, corresponde rechazar la hipótesis nula de igualdad de varianzas en la población.

Al rechazar la hipótesis nula de igualdad de varianzas en la población, se trabaja de la misma forma que en el caso del Benceno. Así, el estadístico E2 en este caso toma el valor **-29,41**, los grados de libertad, k, corresponden a 8 y el valor teórico de la distribución de student para 8 grados de libertad es **0,13**, por lo que es claro que corresponde rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias, según se observa en el gráfico siguiente.

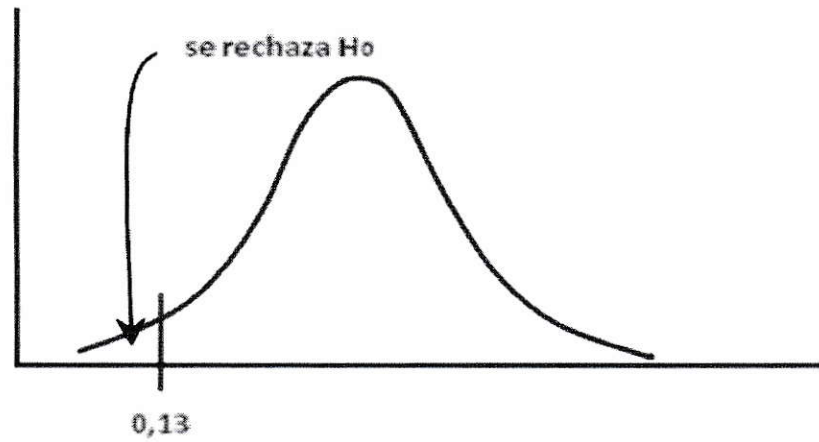


Figura 3: Esquema descriptivo del rechazo de H_0 en el caso del análisis de los datos de Etilbenceno

Se rechaza H_0

Lo que significa que la variación entre un periodo y otro es significativa.

Tolueno

Tabla 3: Valores del análisis estadístico de los datos de Tolueno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	Tamaño	Media	DE	SE Media	CV
Año 2002	6	2,200	0,450	0,180	0,205
Año 2009	6	1,200	0,450	0,180	0,375

Análisis de varianza. Evidentemente este caso el estadístico E1 toma el valor **1,00** es decir se trata de un caso de varianzas iguales o equivalentemente corresponde aceptar la hipótesis nula de igualdad de varianzas en la población.

Entonces, el test de hipótesis para diferencia de medias con igual varianza poblacional (desconocidas) y tamaño de muestra menor que 29, corresponde utilizar el siguiente estadístico que sigue una distribución de *student* a k grados de libertad.

$$Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \frac{[(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)]\sqrt{n_1 + n_2 - 2}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)(n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2)}} \longrightarrow t_{(k)} \quad (E4)$$

Siendo k el indicado en (E3)

Así, se establece el siguiente test de hipótesis para determinar si las concentraciones medias en ambos periodos son o no iguales.

Sea

μ_1 : promedio del tolueno en el periodo 2002

μ_2 : promedio del tolueno en el periodo 2009

$$\text{Test } t \text{ para dos muestras: } \begin{cases} H_0 & : \mu_1 = \mu_2 & \text{hipótesis nula} \\ H_A & : \mu_1 \neq \mu_2 & \text{hipótesis alternativa} \end{cases}$$

El estadístico E4 en este caso toma el valor **3,51**, los grados de libertad, k, corresponden a 12 y el valor teórico de la distribución de student a **2,18**, por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, según se observa en el gráfico siguiente.

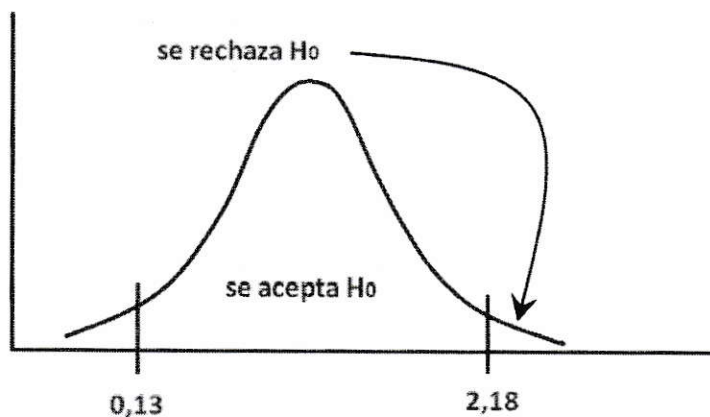


Figura 4: Esquema descriptivo del rechazo de H_0 en el caso del análisis de los datos de Tolueno

Se rechaza H_0

Lo que significa que la variación entre un periodo y otro es significativa.

m,p-Xileno

Tabla 4: Valores del análisis estadístico de los datos de m,p-Xileno para las campañas fotoquímicas de los años 2002 y 2009.

Muestra	Tamaño	Media	Desv.Est.	SE Media	Coef.Var.
Año 2002	6	1,100	0,300	0,180	0,273
Año 2009	6	0,800	0,200	0,180	0,250

Análisis de varianza. En este caso el estadístico E1 toma el valor **0,44** es decir se trata de un caso de varianzas iguales o equivalentemente corresponde aceptar la hipótesis nula de igualdad de varianzas en la población.

El estadístico E4 en este caso toma el valor **1,86**, los grados de libertad, k, corresponden a 10 y los valores teóricos de la distribución de Student son **0,13** y **2,23**, por lo que se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias, según se observa en el gráfico siguiente.

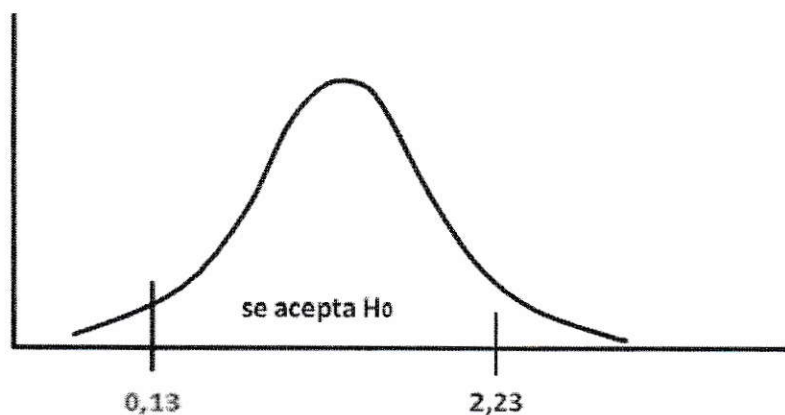


Figura 5: Esquema descriptivo de la aceptación de H_0 en el caso del análisis de los datos de m,p-Xileno

Se acepta H_0

Lo que significa que la variación entre un periodo y otro no es significativa.