

MONITOREO DE GASES ATMOSFÉRICOS PARA INTENTAR ESTABLECER EL ORIGEN DE LOS EVENTOS DE MALOS OLORES EN LA ZONA INDUSTRIAL DEL VALLE DE PUCHUNCAVÍ



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



Prof. Dr. rer. nat. Francisco Cereceda Balic
Centro de Tecnologías Ambientales "CETAM"
Laboratorio de Química Ambiental
Universidad Técnica Federico Santa María

Valparaíso, Chile

Informe Final

Solicitado por : **Ministerio del Medio Ambiente**
Fecha : Diciembre 2017

Individualización del oferente:

Universidad Técnica Federico Santa María
RUT: 81.668.700-4
Representante legal: Darcy Fuenzalida O´Shee
Dirección: Avda. España 1680
Valparaíso, Chile
Tel: 032-2654000

Individualización de la persona responsable:

Prof. Dr. rer. nat. Francisco Cereceda Balic
Director Centro de Tecnologías Ambientales
Director Laboratorio de Química Ambiental
Universidad Técnica Federico Santa María
Correo electrónico: francisco.cereceda@usm.cl
Tel: 032-2654324/4875

1. INTRODUCCIÓN

El Valle de Puchuncaví, es un sector de la región de Valparaíso, donde se ubica un importante núcleo industrial. Material particulado, dióxido de azufre, monóxido de carbono, entre otros, son los contaminantes de mayor interés al hablar de la zona, sin embargo, en el año 2017, se han presentado una serie de eventos de malos olores en el sector, y que han sido percibidos por la población del Valle de Puchuncaví, asociando el aroma, bajo la percepción ciudadana, a emanaciones de gas. El gas, es una mezcla de propano y butano, dos hidrocarburos que no presentan aroma, el olor característico que está asociado al gas, es consecuencia de la odorización, proceso en el cual las empresas agregan mercaptano, un compuesto azufrado, para así poder identificar fugas de gas. El mercaptano corresponde a un compuesto orgánico volátil (VOCs), familia de compuestos de origen orgánico que se caracteriza por volatilizarse rápidamente y se emiten principalmente por quema de combustibles, como gas natural, madera, carbón, gasolina, o bien, por la volatilización directa en almacenamientos de gas, disolventes, pinturas o petróleo, donde también son importantes las emisiones de metano e hidrocarburos no-metánicos.

En el caso de los olores de origen inorgánico, un representante habitual lo constituye el amoníaco y sus derivados, por lo cual es importante su monitoreo en zonas industriales y/o de elevada actividad antrópica.

Pese a la regulación existente y a los esfuerzos del Ministerio de Medio Ambiente, junto con otros estamentos públicos, no ha sido posible determinar hasta ahora, cual es la sustancia que está generando los malos olores, y menos aún cuál es la fuente desde donde está siendo emitido.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente estudio es realizar una campaña de monitoreo de meteorología y gases atmosféricos Metano (CH_4), Amoniaco (NH_3), Hidrocarburos no Metánicos (NMHCs) y Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) en distintos sectores de la zona industrial del Valle de Puchuncaví con miras a intentar establecer el origen de los eventos de olores que han afectado a la población cercana.

2. ACTIVIDADES

ETAPA 1: Selección de los sitios de monitoreo

1.1 Visita y evaluación de los lugares posibles de monitoreo

ETAPA 2: Instalación de los equipos de monitoreo

2.1 Habilitación del espacio físico, seguridad y necesidades de energía eléctrica para la instalación de los equipos de monitoreo

2.2 Instalación de equipo de monitoreo de atmosférico (EPAS HIM SCANNER, Environmental Devices Corporation, EEUU) para medición en tiempo real de la concentración de CH_4 , NH_3 , NMHCs y VOCs

2.3 Instalación de estación meteorológica (HOBO, Onset, EE.UU) para medición de temperatura ambiental, presión atmosférica, %HR, dirección y velocidad de viento

Etapa 3: Período de monitoreo

3.1 Definición de los periodos de monitoreo en los distintos sitios seleccionados.

3.2 Movimiento de los equipos de monitoreo entre los sitios en períodos definidos y/o en respuesta a eventos de olores

3.3 Mantenimiento y verificación periódica de los equipos de monitoreo y recolección de datos obtenidos.

Etapa 4: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Ordenamiento de datos y estadística descriptiva

4.2 Interpretación de resultados utilizando herramientas estadísticas multivariadas

Etapa 5: Elaboración de informes.

5.1 Elaboración de informe final

5.2 Entrega de informe final

DETALLE DE ACTIVIDADES

ETAPA 1 Selección de los sitios de monitoreo

Previo a la instalación de los equipos de monitoreo, fue necesario ejecutar visitas técnicas a cada uno de los lugares de interés, con el fin de verificar la factibilidad y representatividad de los posibles sitios de medición, corroborando el cumplimiento de los requisitos necesarios para lo anterior, tales como:

- Conexión segura a energía eléctrica.
- Seguridad
- No contar con obstáculos que dificulten el movimiento de masas de aire.
- Lejanía en lo posible de fuentes de contaminación local.

El estudio comprendió seis sitios de monitoreo alrededor de la bahía de Quintero-Ventanas (Figura 2.1), donde se realizó el monitoreo, correspondiente a cuatro empresas y dos establecimientos educacionales los cuales son:

- Complejo Educacional Sargento Aldea (Ventanas)
- Colegio Santa Filomena (Quintero)
- ENAP Terminal Quintero
- Gasmar
- Puerto Ventanas (PVSA)

- Oxiquim Terminal Quintero



Figura 2.1 Sitios de monitoreo seleccionados para estudio.

Se seleccionaron los establecimientos educacionales de Ventanas y Quintero por ser considerados como receptores de los eventos de olores acontecidos en el sector. Dado que la población identifica los eventos de olores como “olor a gas” se decidió monitorear también al interior de las plantas industriales de Gasmar y Oxiquim, que son las únicas del sector que tienen procesos de odorificación de gas utilizando mercaptanos. Por último se monitoreó también en ENAP y Puerto Ventanas para intentar establecer el transporte de dichos contaminantes.

ETAPA 2: Instalación de los equipos de monitoreo

Equipos de Monitoreo

Los equipos de monitoreo utilizados en este estudio corresponden a un equipo monitor de gases atmosféricos y una estación meteorológica. El equipo de monitoreo de gases atmosféricos corresponde a un EPAS HIM SCANNER (Environmental Devices Corporation, EEUU, figura 2.2), el cual es capaz de medir en tiempo real a intervalos de 1 minuto, la concentración de CH_4 (sensor NDIR), NH_3 (sensor electroquímico), NMHCs (sensor NDIR) y VOCs (sensor PID), el cual presenta calibración vigente hasta el 28 de marzo del 2018 (Figura 2.3).



Figura 2.2 EPAS HIM SCANNER, Environmental Devices Corporation, EEUU

Certificate of Calibration

Certificate Number: EDCQP200-4.11.5

Environmental Devices Corporation certifies the Haz-Scanner model HIM-6000 is calibrated to published specifications and NIST traceable.

Calibration Dust Specifications are NIST traceable using Coulter Mutisizer II e. ISO12103 -1 A2 Fine Test Dust and is designed to agree with EPA Class I and Class III FRM and FEM particulate samplers and monitors and EN 12341 and EN 14907 standards.

Gas sensors are Calibrated against NIST/EPA traceable Calibration Gas using NIST primary Flow Standard: LFE774300 to ISO 17025 and EPA Instrumental Test Methods as defined by 40 CFR Part 60.

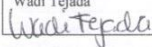
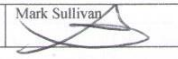
Quality system standard to meet the requirements of ANSI/ASQC standard Q9000-1994 (ISO 9001), MIL-STD 45662A, and customer's specification if required.

Temperature = 22°C
Relative Humidity = 30%
Atmospheric Pressure = 760 mmHg
Measurement Uncertainty Estimated @ 95% Confidence Level (k=2) using ISO 17025 guidelines.

Model	Serial Number	Calibration Date	Next Calibration Due Date
Him-6000	916120	March 31, 2017	March 2018
Calibration Span Accessory if purchased	Sensor A K= 14000 ug/m ³	Sensor B K= 18,500 ug/m ³	Model: CS-105

Technician

Supervisor

Wadi Tejada 	Mark Sullivan 
--	--

Environmental Devices Corporation
4 Wilder Drive Building #15
Plaistow, NH 03865
ISO-9001 Certified

ENVIRONMENTAL DEVICES CORPORATION

Calibration Report

Date: 31 March 2017

Customer Name:
System ID: Serial Number 916120

Notes:

BASIC CHECK

Power Voltage	PASS
CPU Diagnostic Test	PASS
Air Flow Rate	PASS
Digital Communication	PASS
Sensor Output Voltages	PASS
Signal Channel Voltages	PASS
Memory Card Voltages	PASS

SENSOR	Low Span	Observed Low Test Result	High Span	Observed High Test Result	Calibration Accuracy
<i>PM A (10μm)</i>	0 μ g/m ³	0 μ g/m ³	5000 μ g/m ³	5000 μ g/m ³	+/- 10 μ g/m ³
<i>PM B (2.5μm)</i>	0 μ g/m ³	0 μ g/m ³	5000 μ g/m ³	5000 μ g/m ³	+/- 10 μ g/m ³
<i>CO</i>	0 ppm	0 ppm	2.5 ppm	2.5 ppm	+/- 0.01 ppm
<i>NO₂</i>	0 ppb	0 ppb	374 ppb	374 ppb	+/- 5 ppb
<i>SO₂</i>	0 ppb	0 ppb	352 ppb	352 ppb	+/- 5 ppb
<i>NO</i>	0 ppb	0 ppb	888 ppb	888 ppb	+/- 10 ppb
<i>VOC</i>	0 ppb	0 ppb	500 ppb	500 ppb	+/- 5ppb
<i>O₃</i>	0 ppb	0 ppb	58 ppb	58 ppb	+/- .1 ppb
<i>CH₄</i>	0 ppm	0 ppm	25000 ppm	25000 ppm	+/- 25 ppm
<i>NH₃</i>	0 ppm	0 ppm	50 ppm	50 ppm	+/- 1ppm
<i>Hydrocarbons</i>	0 ppm	0 ppm	25000	25000	+/- 25 ppm

Calibration Technician Wadi Tejada
Wadi Tejada

Supervisor [Signature]
Mark Sullivan

Figura 2.3 Certificado de calibración equipo EPAS HIM SCANNER

La instalación se realizó de acuerdo a especificaciones del fabricante del equipo, montándolo sobre un trípode de forma que los cabezales de muestreo queden a una altura entre 1,5 y 2 metros desde el suelo (Figura 2.4).



Figura 2.4 Instalación de equipo de monitoreo atmosférico

Junto con el equipo de monitoreo atmosférico, se instaló una estación meteorológica (HOBO, Onset, EE.UU) para medición de temperatura ambiental, presión atmosférica, %HR, dirección y velocidad de viento (Figura 2.5), equipada con sistema datalogger (HOBO U30), sensor de temperatura y humedad relativa (S-THB-M00x, rango de medición $-45^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$), sensor de velocidad de viento (S-WSB-M003, rango de medición $0 \text{ m/s} - 76 \text{ m/s}$), sensor de dirección de viento (S-WDA-M003, rango de medición $0^{\circ} - 355^{\circ}$) y sensor de presión atmosférica (S-BPB-CM50, rango de medición $660 \text{ mbar} - 1070 \text{ mbar}$).

La estación meteorologica al igual que el equipo de monitoreo atmosférico, fueron programados para recolectar datos cada un minuto.

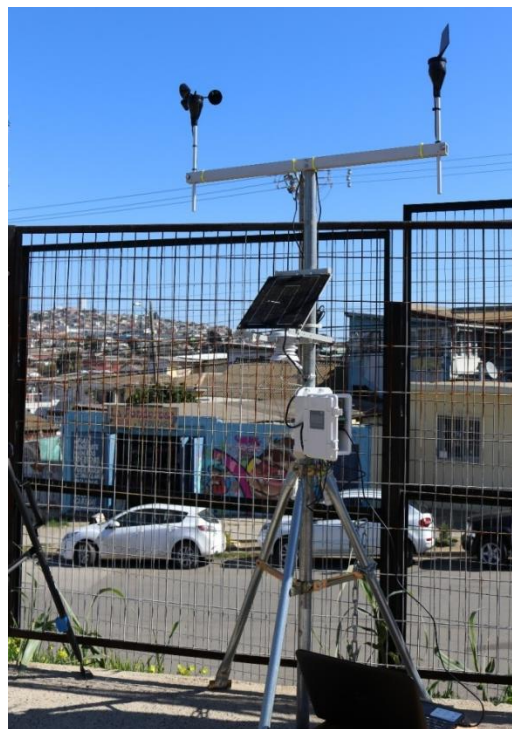


Figura 2.5 HOBO, Onset, EE.UU

ETAPA 3: Periodo de Monitoreo

El periodo de monitoreo fue variable entre cada una de las estaciones, según el requerimiento del estudio (Tabla 2.1), cumpliendo con alrededor de 3 meses y medio de medición.

Tabla 2.1. Coordenadas y periodo de muestreo

Estación de Monitoreo	Coordenadas	Período de Monitoreo
Ventanas (Complejo Educativo Sargento Aldea)	32°44'33.19"S; 71°29'7.84"W	14 al 31 de agosto de 2017
Quintero (Colegio Santa Filomena)	32°46'52.36"S; 71°31'43.30"W	31 de agosto al 17 de octubre de 2017
ENAP Terminal Quintero	32°46'47.46"S; 71°29'2.19"W	17 de octubre al 4 de noviembre de 2017
Gasmar	32°46'5.62"S; 71°28'58.08"W	4 al 13 de noviembre de 2017
Puerto Ventanas	32°45'9.30"S; 71°29'28.88"W	13 al 23 de noviembre de 2017
Oxiquim	32°46'3.09"S; 71°29'12.75"W	24 de noviembre al 01 de diciembre

Complejo Educativo Sargento Aldea, Ventanas

Se realizó la visita técnica al lugar junto con el Director del establecimiento, determinando como sitio de instalación la terraza del patio de enseñanza media, ubicada en la parte sur-este del complejo educativo (Figura 2.6).

No hubo que hacer adecuaciones en el sitio de monitoreo ya que éste contaba con los requisitos necesarios para la instalación de los equipos.



Figura 2.6 Terraza seleccionada para la instalación de los equipos

Una vez instalados los equipos, se realizaron visitas dos o tres veces por semana, con el fin de verificar el funcionamiento de los equipos y recopilar datos. El monitoreo en la Escuela Sargento Aldea, comprendió desde el 14 de Agosto hasta el 30 de Agosto.

Colegio Santa Filomena, Quintero

En la visita técnica a Quintero, acompañada por una funcionaria del área de Medio Ambiente de la Municipalidad de dicha comuna, se visitaron tres distintos sectores, donde se incluyen la Plaza Cívica de la Ciudad, el hospital y el Colegio Santa Filomena, determinando que este último fuese el sitio de instalación de los equipos de monitoreo, específicamente en el patio de prekindergarten (Figura 2.7).



Figura 2.7 Ubicación de equipos en patio Prekindergarten y demostración a las autoridades

No hubo que hacer adecuaciones en el sitio de monitoreo ya que éste contaba con los requisitos necesarios para la instalación de los equipos.

Posterior a la instalación se realizaron visitas dos veces por semana, para la recopilación de datos y verificación del funcionamiento de los equipos, además de consultar a algunos funcionarios por la posible captación sensorial de algún evento. El periodo de muestreo en el Colegio Santa Filomena, comprendió desde el 30 de Agosto al 17 de Octubre.

ENAP Terminal Quintero

En la visita técnica, acompañados por Don Anselmo Flores (Jefe del Departamento de Medio Ambiente de ENAP Refinería Aconcagua), se visitaron distintos sectores de la planta, seleccionando como lugar para la instalación de los equipos de monitoreo, el patio de contratistas ubicado en las cercanías del casino de trabajadores (Figura 2.8). La empresa tuvo que

proporcionar una conexión eléctrica segura para los equipos de monitoreo, ya que en primera instancia no se contaba con ello.

Se realizaron visitas para la recopilación de datos y verificación de los equipos dos veces por semana (Figura 2.9). El monitoreo en el sector se realizó desde el 17 de Octubre hasta el 4 de noviembre. No se registraron eventos de olores durante este periodo.



Figura 2.8 Ubicación equipos dentro de ENAP Terminal Quintero



Figura 2.9 Equipos instalados en sitio ENAP Terminal Quintero

Gasmar

La visita técnica para determinar el mejor lugar para la instalación de los equipos, se realizó en compañía de Doña Marcela Montoya (Encargada de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente de Gasmar). El sitio seleccionado fue a un costado de la bahía de carga de camiones y al lado

Sur-Oeste de la planta de odorización (Figura 2.10). La empresa proporcionó conexión eléctrica segura ya que en un principio no se contaba con ello.



Figura 2.10 Ubicación del equipo dentro de Gasmar

Se realizaron dos visitas previas al cambio hacia el siguiente sector de muestreo, con el fin de verificar funcionamiento y recopilar datos (Figura 2.11). Durante la estancia en Gasmar, que comprendió desde el 4 de Noviembre al 13 de Noviembre, no se dio aviso de eventos de olores en la zona.



Figura 2.11 Visita para verificación y recopilación de datos. Gasmar

Puerto Ventanas

La visita técnica a Puerto Ventanas, se realizó en compañía de Doña Cynthia Gonzalez (Funcionaria de PVSA), en donde se seleccionó el “Sitio 3” del muelle de Puerto Ventanas como punto de monitoreo (Figura 2.12). La conexión eléctrica se realizó mediante una extensión eléctrica de 20 m, por lo que no se requirió de una modificación mayor para la instalación.



Figura 2.12 Ubicación Sitio 3, Puerto Ventanas

El equipo fue instalado el día lunes 13 de noviembre, dejándolo en total funcionamiento (Figura 2.13).



Figura 2.13 Verificación de equipos en Sitio 3 PVSA

El día 15 de noviembre Seremi de Medio Ambiente de la región de Valparaíso, da aviso de un evento de olores que afecta a la ciudad de Quintero alrededor de las 15:00 hrs, por lo que se realiza una visita a Puerto Ventanas el día 16 de noviembre, con el fin de recopilar datos meteorológicos y atmosféricos, encontrando el equipo sin funcionamiento. Debido a lo anterior, se deja operativo nuevamente el equipo y se revisa el voltaje de la batería del equipo de monitoreo, para así determinar las posibles causas del problema (Gráfico 2.1).



Gráfico 2.1 Voltaje batería equipo EPAS HIM Scanner 14 y 15 de noviembre, PVSA

El análisis determinó que se cortó el suministro eléctrico durante el día 14 quedando el equipo en funcionamiento hasta que la batería de respaldo se agotó el día 15 de noviembre en la madrugada. Se consultó a Puerto Ventanas respecto de este corte de energía y se informó que no se registraron cortes en el sector por lo que no se resolvió la causa de la falla.

Se realizó una visita nuevamente el día viernes 17 de noviembre, encontrando el equipo operativo y funcionando sin problemas. La siguiente visita se realizó el día miércoles 22 de noviembre, donde nuevamente se encuentra el equipo sin funcionamiento, por lo que se procedió a dejarlo operativo y revisar nuevamente el voltaje de la batería del equipo EPAS HIM Scanner (Gráfico 2.2).

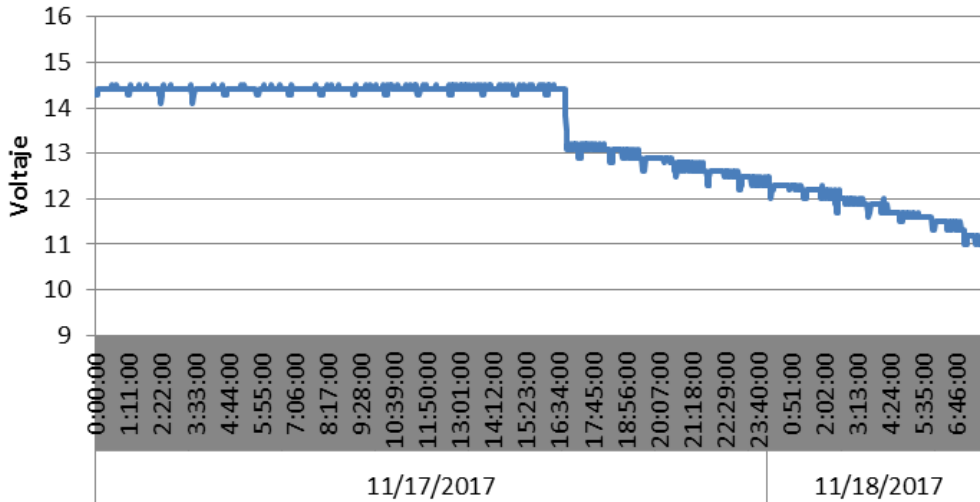


Gráfico 2.2 Voltaje batería equipo EPAS HIM Scanner, PVSA 17 y 18 de noviembre

Nuevamente el equipo quedó sin suministro eléctrico por motivos desconocidos y se mantuvo funcionando con su respaldo de batería hasta el 18 de noviembre en la madrugada, se consultó a Puerto Ventanas respecto de este corte de energía y se informó que no se registraron cortes en el sector por lo que nuevamente no se resolvió la causa de la falla en PVSA.

El periodo de muestreo en Puerto Ventanas, comprendió desde el 13 de noviembre al 23 de noviembre.

Oxiquim

En la visita técnica a Oxiquim guiada por Don Martín López, se seleccionó como sitio para la instalación de los equipos, el costado de los tanques de ácido sulfúrico, ubicado en la parte alta de la empresa, donde se debió implementar conexión eléctrica segura ya que no se contaba con ello anteriormente.

Una vez instalados los equipos (Figura 2.14), se realizaron dos visitas previas a la desinstalación en Oxiquim, con el fin de verificar el funcionamiento y recolectar datos.



Figura 2.14 Ubicación equipos en Oxiquim

Durante el periodo de muestreo en Oxiquim, no se dió aviso de eventos de olores por parte de las autoridades, periodo que comprendió desde el 24 de noviembre al 1 de diciembre.

Etapa 4: Análisis e interpretación de resultados

Una vez recopilados los datos por estación, se realizó el ordenamiento y verificación de estos, eliminando estadísticamente los out layer producidos por errores aleatorios indeterminados y sincronizando las concentraciones con los datos meteorológicos de dirección y velocidad de viento minuto a minuto, con el fin de clarificar la procedencia de los vientos al momento de captar el equipo una alza de concentración. Se realizaron diversas comparaciones, como promedios de concentración en periodo completo, promedios de concentración horarios, días tipo, rosas de viento, además de la utilización de herramientas multivariadas mediante Statgraphics, como Análisis de Componentes Principales (PCA) y Análisis Factorial, para así determinar relaciones entre los contaminantes y similitudes entre cada uno de los puntos de muestreo. También se utilizó la herramienta Open Air Project para obtener gráficos polares para los contaminantes de interés, NMHCs, NH_3 , CH_4 y VOCs, que permiten dilucidar el origen relacionando los aumentos y disminución de concentración a la dirección y velocidad de viento.

3. RESULTADOS

En el presente Informe se presentarán resultados obtenidos de la ejecución del presente estudio cuyos lugares analizados y períodos de monitoreo se resumen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Estaciones de Monitoreo Estudiadas y períodos de monitoreo

Estación de Monitoreo	Coordenadas	Período de Monitoreo
Ventanas (Complejo Educativo Sargento Aldea)	32°44'33.19"S; 71°29'7.84"W	14 al 31 de agosto de 2017
Quintero (Colegio Santa Filomena)	32°46'52.36"S; 71°31'43.30"W	31 de agosto al 17 de octubre de 2017
ENAP Terminal Quintero	32°46'47.46"S; 71°29'2.19"W	17 de octubre al 4 de noviembre de 2017
Gasmar	32°46'5.62"S; 71°28'58.08"W	4 al 13 de noviembre de 2017
Puerto Ventanas	32°45'9.30"S; 71°29'28.88"W	13 al 23 de noviembre de 2017
Oxiqum	32°46'3.09"S; 71°29'12.75"W	24 de noviembre al 01 de diciembre

3.1 Complejo Educativo Sargento Aldea (Ventanas)

Se realizó la recopilación de datos de concentración para los contaminantes atmosféricos CH₄, NH₃, NMHCs y COVs, además de los datos meteorológicos para el periodo comprendido entre 14 y 31 de agosto de 2017. Con los datos obtenidos se calcularon promedios horarios los cuales son presentados como resultados en las figuras 3.1 a la 3.4.

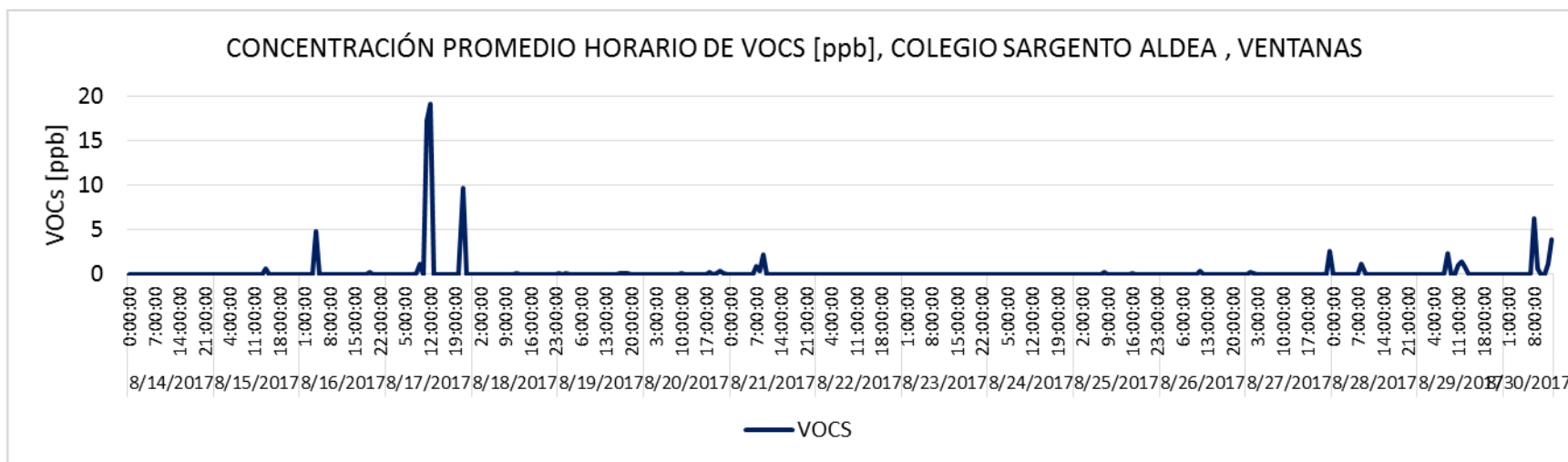


Figura 3.1. Concentración promedio horario de VOCs en Ventanas (14 al 31 de agosto de 2017)

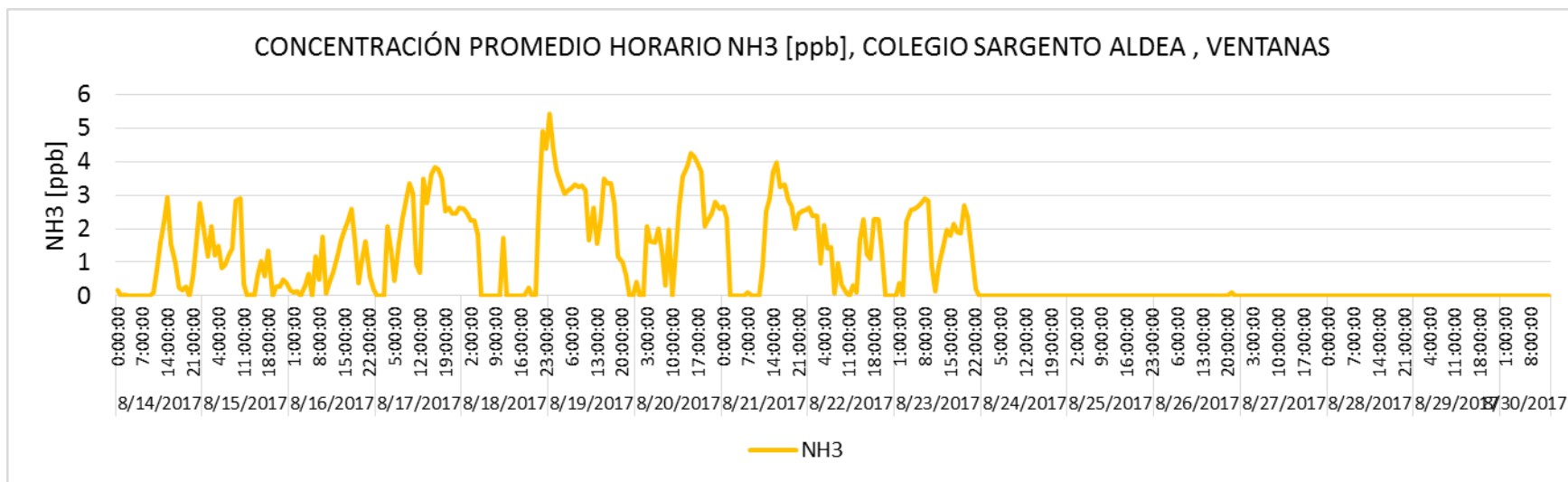


Figura 3.2. Concentración promedio horario de NH₃ en Ventanas (14 al 31 de agosto de 2017)

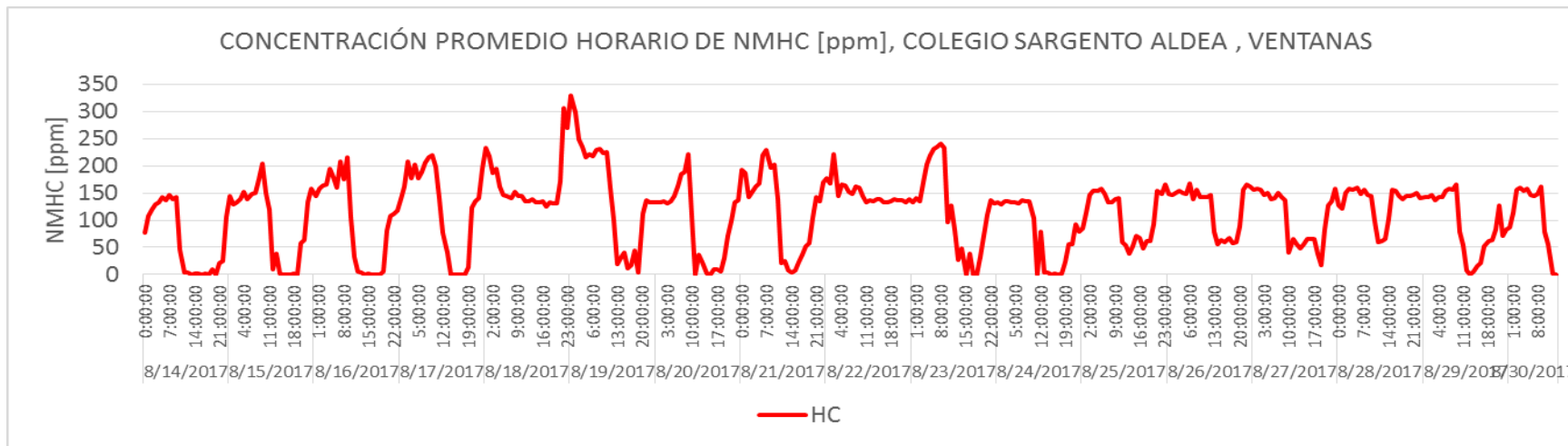


Figura 3.3. Concentración promedio horario de NMHCs en Ventanas (14 al 31 de agosto de 2017)

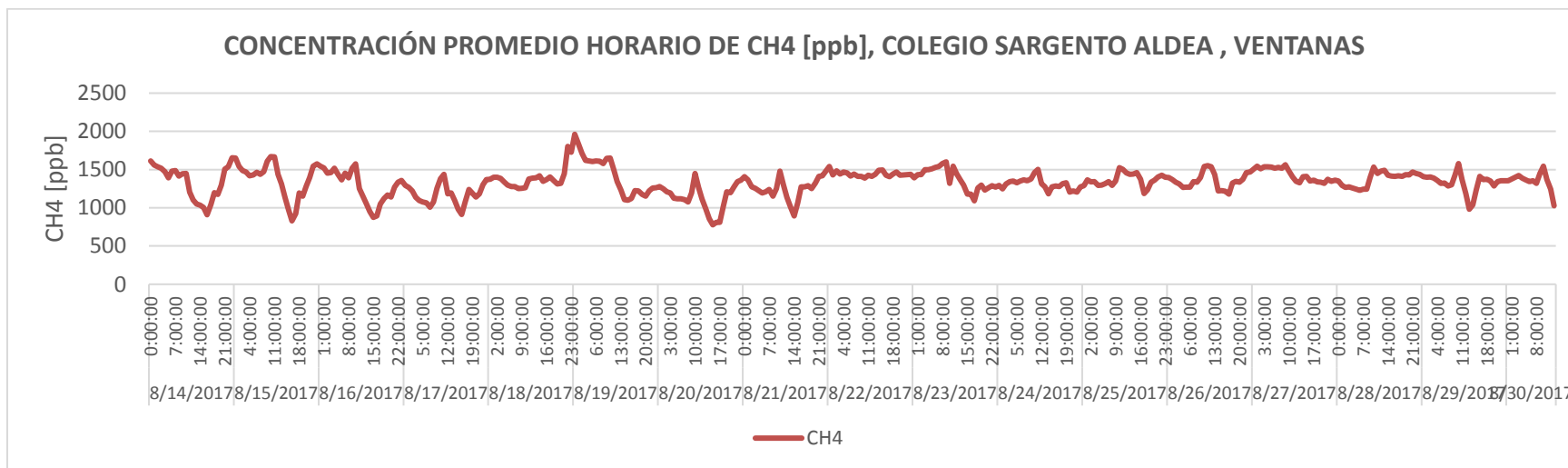


Figura 3.4. Concentración promedio horario de CH₄ en Ventanas (14 al 31 de agosto de 2017)

En la figura 3.1 se observa un máximo de concentración de VOCs (19 ppb) el día 17 de agosto, por lo tanto para intentar establecer el origen de esa alza en la concentración se construyó la rosa de vientos para el día 17 de agosto de 2017 utilizando los datos meteorológicos obtenidos desde la estación meteorológica instalada junto al equipo de monitoreo de gases (figura 3.5)

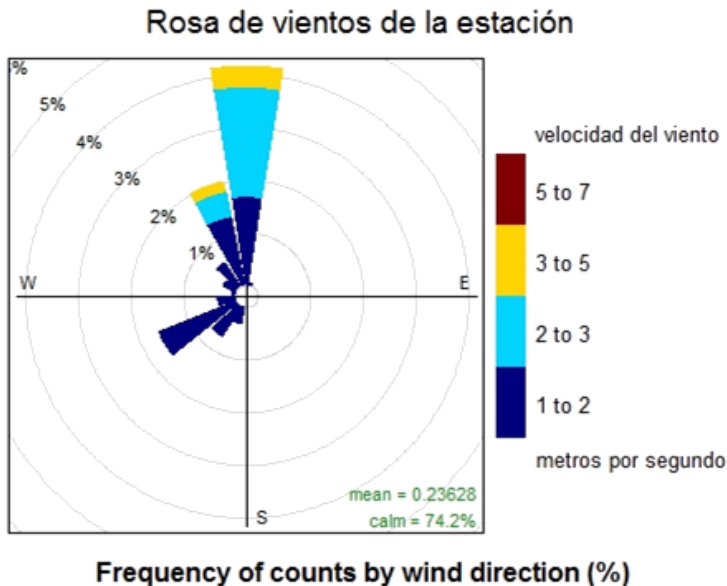


Figura 3.5. Rosa de los vientos 17 de agosto de 2017, Ventanas.

Como se observa en la figura 3.5, los vientos predominantes provienen del Norte y del Sur-Oeste, El complejo industrial de Ventanas se encuentra ubicado al Sur de la estación de monitoreo, por lo tanto, dadas las direcciones de vientos predominantes, las concentraciones máximas observadas no se pueden atribuir a un origen industrial, esta afirmación será corroborada mediante la aplicación de análisis estadísticos multivariados a la data y la confección de graficos polares utilizando la herramienta “Open Air Project”.

Respecto de la concentración de NH₃, ésta mostró concentraciones promedio horarias que oscilaban entre 0 y 5 ppb hasta el día 23 de agosto, para posteriormente caer a valores cercanos a 0 por el resto del período de monitoreo, se descartó falla en el equipo de monitoreo ya que a modo de prueba fue sometido a gases concentrado de amoniaco registrando valores correctos, por lo tanto la caída en las concentraciones fue efectiva y sus causas son desconocidas.

Respecto de la concentración de CH₄ y de NMHCs, estas presentaron concentraciones promedio horario que oscilaron entre 777 y 1961 ppb para CH₄ y entre 0 y 329 ppm para NMHCs.

La dirección predominante de los vientos en Ventanas para el período comprendido entre el 14 y 31 de agosto de 2017 se observa en la figura 3.6.



Figura 3.6. Dirección predominante de vientos en Ventanas período 14 -31 de agosto 2017.

Como se observa en la figura 3.6, la dirección predominante de los vientos durante el período de monitoreo en Ventanas Nor-Oeste, sin embargo también hay importantes componentes de viento provenientes del sur, donde se encuentra el complejo industrial, implicando que esta estación debería estar afectada por sus emisiones, sin embargo éstas no se reflejan en alzas de concentración importante en los contaminantes objeto de este estudio.

En las figuras 3.7 a la 3.11 se observa el día promedio para todos los contaminantes medidos, este análisis se realizó promediando las concentraciones medidas durante intervalos horarios (ej.: 0:00 a 0:59) de cada uno de los días en que se monitoreó en las estaciones, el objetivo de este análisis es estudiar el ciclo diario promedio para cada contaminante y así establecer coincidencias si es que las existieran.

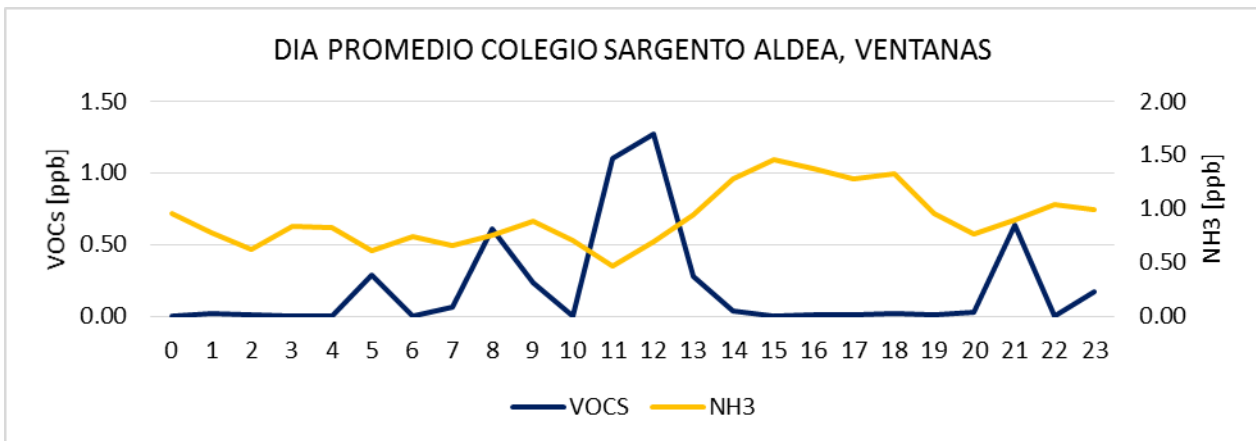


Figura 3.7. Día promedio de VOCs en comparación con NH₃, Ventanas 14 al 31 de agosto 2017

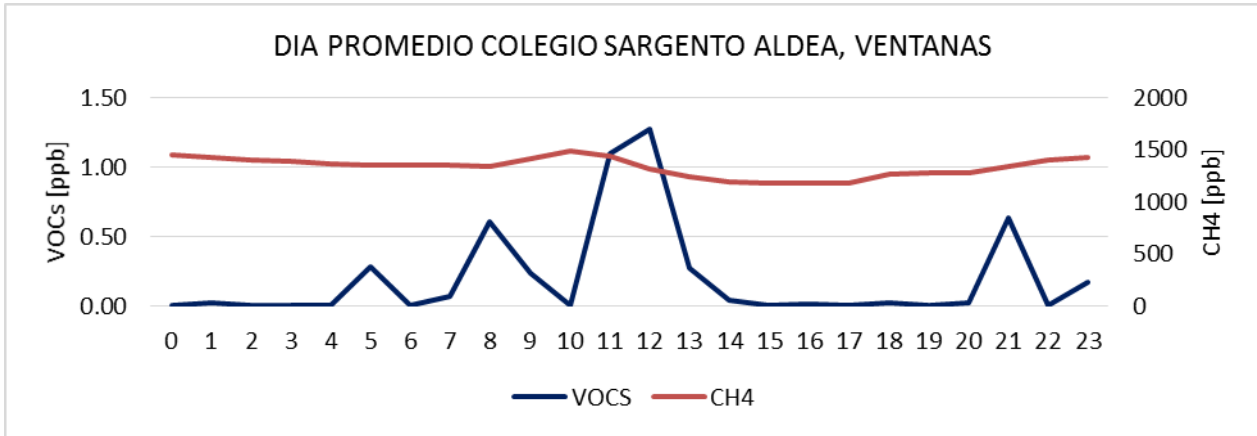


Figura 3.8. Día promedio de VOCs en comparación con CH₄, Ventanas 14 al 31 de agosto 2017

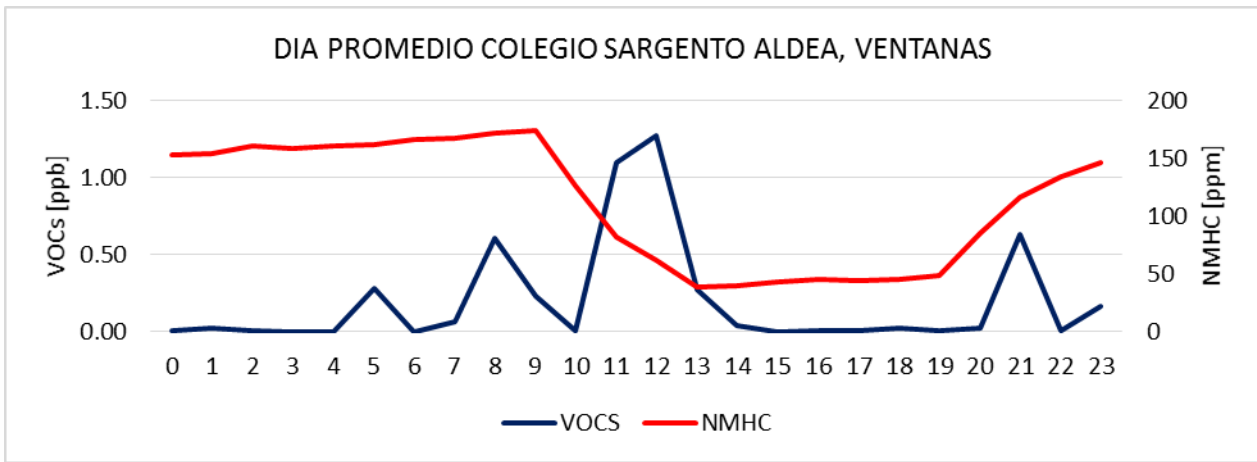


Figura 3.9. Día promedio de VOCs en comparación con NMHCs, Ventanas 14 al 31 de agosto 2017

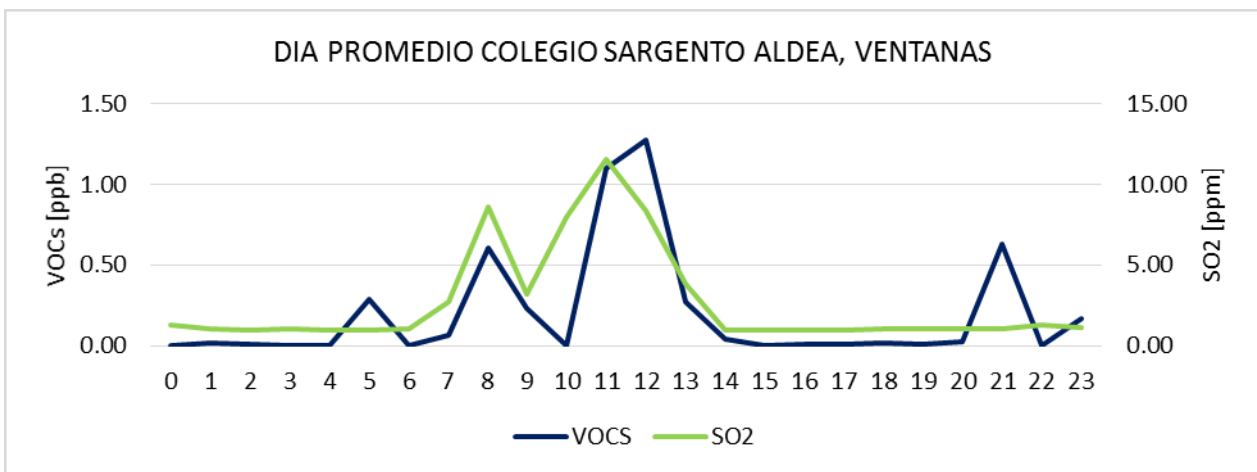


Figura 3.10. Día promedio de VOCs en comparación con SO₂, Ventanas 14 al 31 de agosto 2017

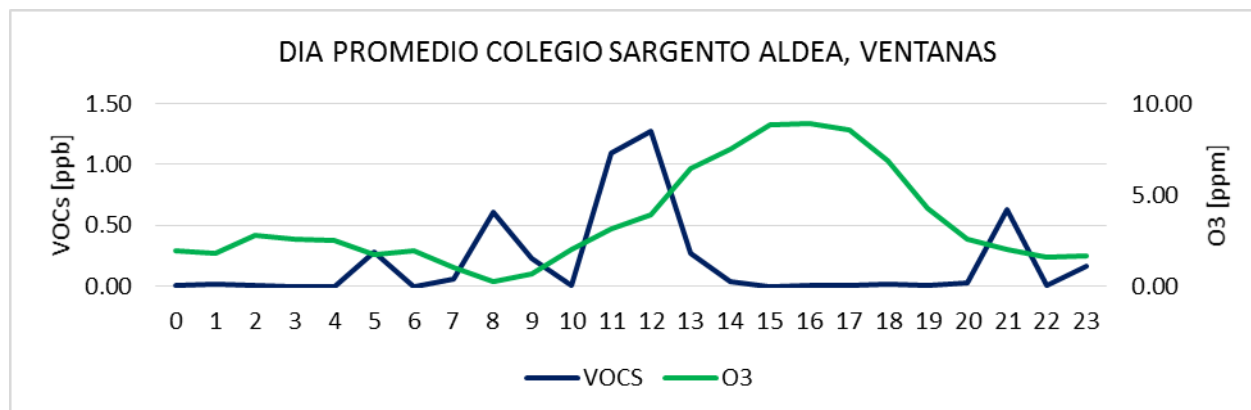


Figura 3.11. Día promedio de VOCs en comparación con O₃, Ventanas 14 al 31 de agosto 2017

En las figuras 3.7 a 3.11 se observa que la concentración de VOCs presenta su máximo valor a medio día y tiene también 2 alzas importantes a las 8 de la mañana y las 21 horas. Al compararlo con NH₃ (figura 3.8), ésta presenta sus máximos valores entre las 14 y 18 horas, indicando que no sigue el mismo comportamiento diario de los VOCs lo que hace presumible que sus orígenes sean distintos. Mismo caso se observa para CH₄ (figura 3.9) y NMHCs (figura 3.10). Adicionalmente, a pesar de que no se encuentra entre los contaminantes objeto del estudio, se realizó la medición de SO₂ con el fin de comparar los perfiles de concentración de éste trazador de la actividad industrial de la zona de Puchuncaví con los contaminantes objeto del estudio, en la figura 3.10 se puede apreciar que a las 8 de la mañana se observa un aumento coincidente de la concentración de VOCs y de SO₂, indicando que en ese horario los VOCs observados en ventanas provendrían del complejo industrial, sin ser posible determinar aún de que industria(s) en específico. Misma situación se observa en el máximo de las 11 de la mañana y no así a las 21:00 hrs. Cabe destacar de que a pesar de las coincidencias con SO₂ observadas, durante el período de monitoreo en Ventanas no se registraron eventos de olores perceptibles por la población.

Adicionalmente también se midió la concentración de Ozono troposférico debido a que los VOCs son precursores de este contaminante secundario, en la figura 3.11 se observa que su máximo de concentración se observa entre las 15 y 17 horas y sería formado fotoquímicamente a partir de los VOCs presentes en la atmosfera.

La figura 3.12 muestra el gráfico polar obtenido para el período de monitoreo 14 -31 de agosto de 2017 en Ventanas, este gráfico fue obtenido utilizando la herramienta "Open Air Project" y permite relacionar las concentraciones promedio de VOCs en función de la velocidad y dirección de vientos, para así establecer su procedencia.

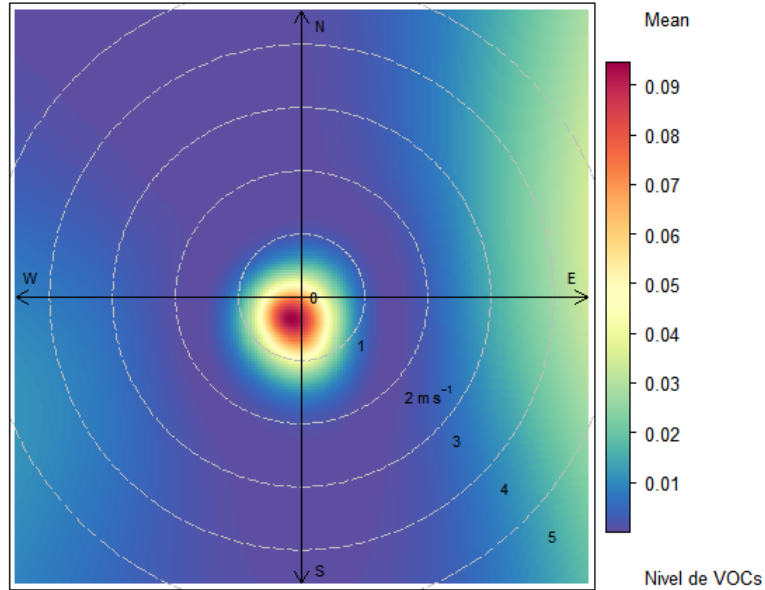


Figura 3.12. Gráfico polar de distribución de concentraciones promedio de VOCs en función del viento.

Como se observa en la figura 3.12, las mayores concentraciones promedio de VOCs provienen del cuadrante Oeste, Sur, Este y se dan a velocidades de viento entre 0 y 1 m/s, cabe destacar que al sur de Ventanas se encuentra el complejo industrial, con lo cual a partir del gráfico polar se podría decir que éste si impacta sobre la localidad, pero sin embargo desde el punto de vista de VOCs, este impacto no fué perceptible por la población en términos de olores durante el período de monitoreo.

3.2 Colegio Santa Filomena (Quintero)

Una vez finalizado el período de monitoreo en Ventanas, los equipos fueron trasladados al Colegio Santa Filomena de la localidad de Quintero (figura 3.13). Cabe destacar que el Colegio Santa Filomena fue escogido por ser el primer lugar en avisar los eventos de olores de la zona, por lo que se presume que es uno de los principales receptores de este tipo de contaminantes gaseosos. El monitoreo se realizó entre el 31 de agosto y el 17 de octubre de 2017.

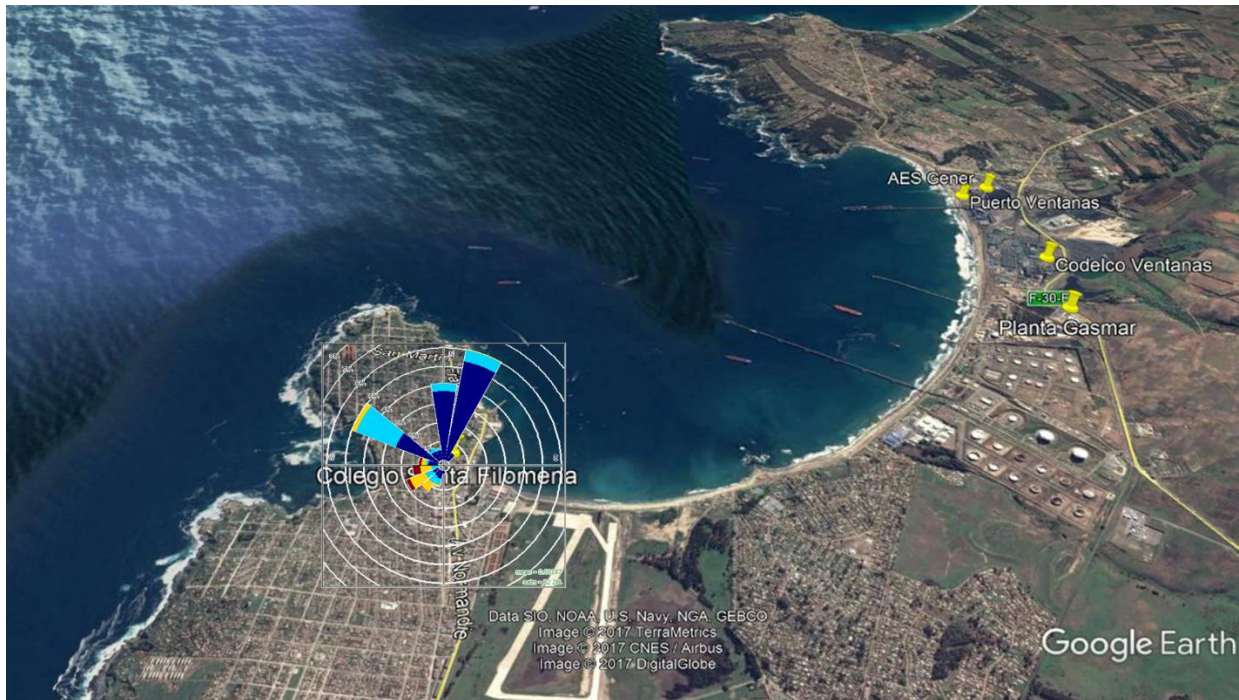


Figura 3.13. Ubicación de estación de monitoreo en Colegio Santa Filomena, Quintero y rosa de vientos período 31 de agosto - 17 de octubre de 2017.

Como se observa en la figura 3.13, la dirección predominante de los vientos en Quintero es Nor-Este, dirección en donde se encuentra el complejo industrial, sin embargo también hay componentes de viento provenientes del Norte, Nor-Oeste y Sur-Oeste, cuadrantes correspondientes a la ciudad de Quintero.

En la figura 3.14 se observa la concentración promedios horarios de VOCs obtenida en el colegio Santa Filomena, Quintero. Allí se puede apreciar que se observan máximos de concentración en los períodos 30-31 de agosto, 21 de septiembre al 6 de octubre y finalmente entre el 7 y 14 de octubre. Para intentar establecer el origen de esos máximos se graficaron las rosas de viento para los períodos mencionados y se superpusieron sobre el gráfico, donde se observa que para el período 30-31 de agosto el viento proviene del cuadrante Nor-Oeste – Sur-Oeste, por lo que esa alza es atribuible a la ciudad de Quintero, misma situación ocurre para el periodo 21 de septiembre – 6 de octubre. Sin embargo la mayor alza en las concentraciones de COVs se observa en el período 7 – 14 de octubre donde, adicionalmente a las componentes de viento provenientes de la ciudad de Quintero, aparece una importante componente de vientos provenientes del Nor-Este, dirección donde se encuentran las industrias.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIO DE VOCs [ppb], COLEGIO SANTA FILOMENA QUINTERO

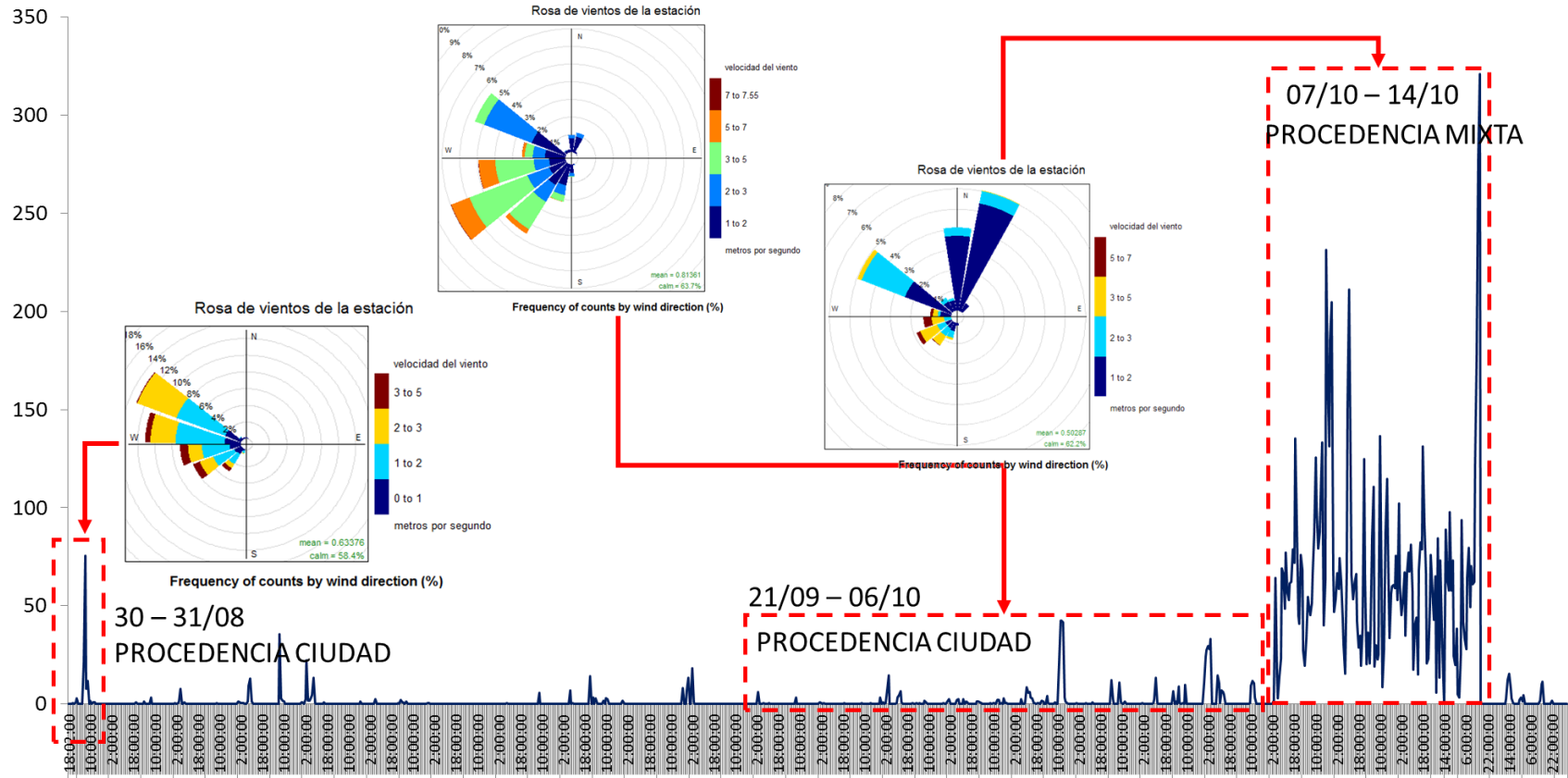


Figura 3.14. Concentración promedio horaria de VOCs en Colegio Santa Filomena, Quintero período 31 de agosto - 17 de octubre de 2017.

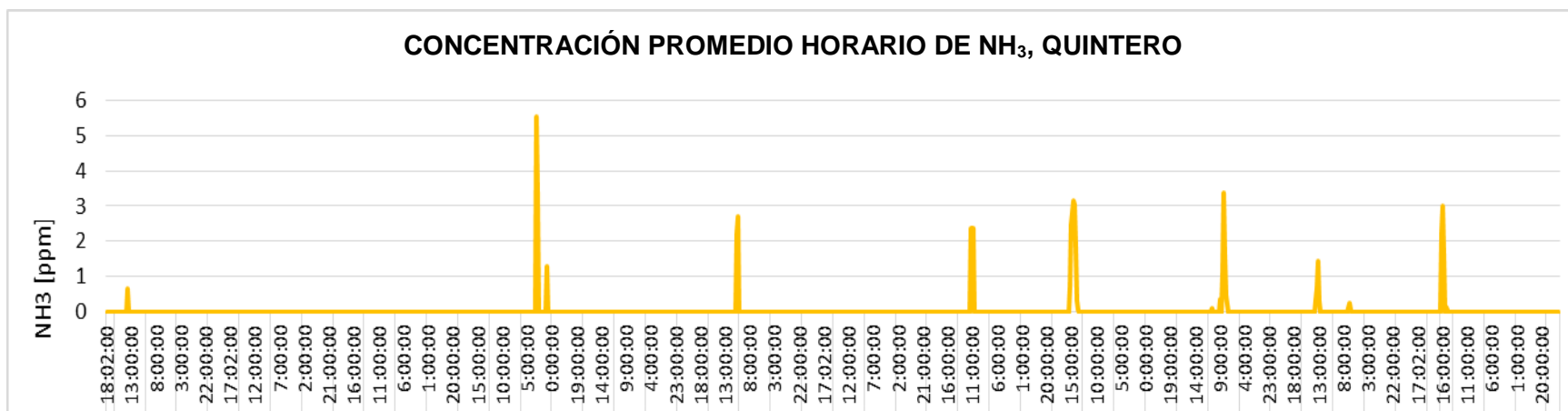


Figura 3.15. Concentración promedio horaria de NH₃ en Colegio Santa Filomena, Quintero período 31 de agosto - 17 de octubre de 2017.

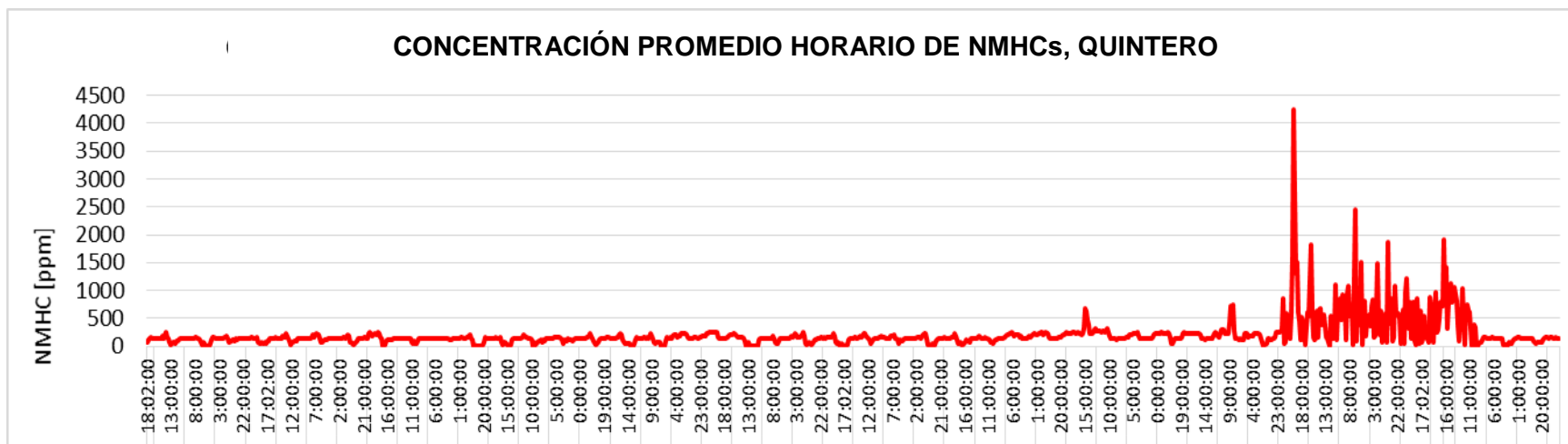


Figura 3.16. Concentración promedio horaria de NMHC en Colegio Santa Filomena, Quintero período 31 de agosto - 17 de octubre de 2017.

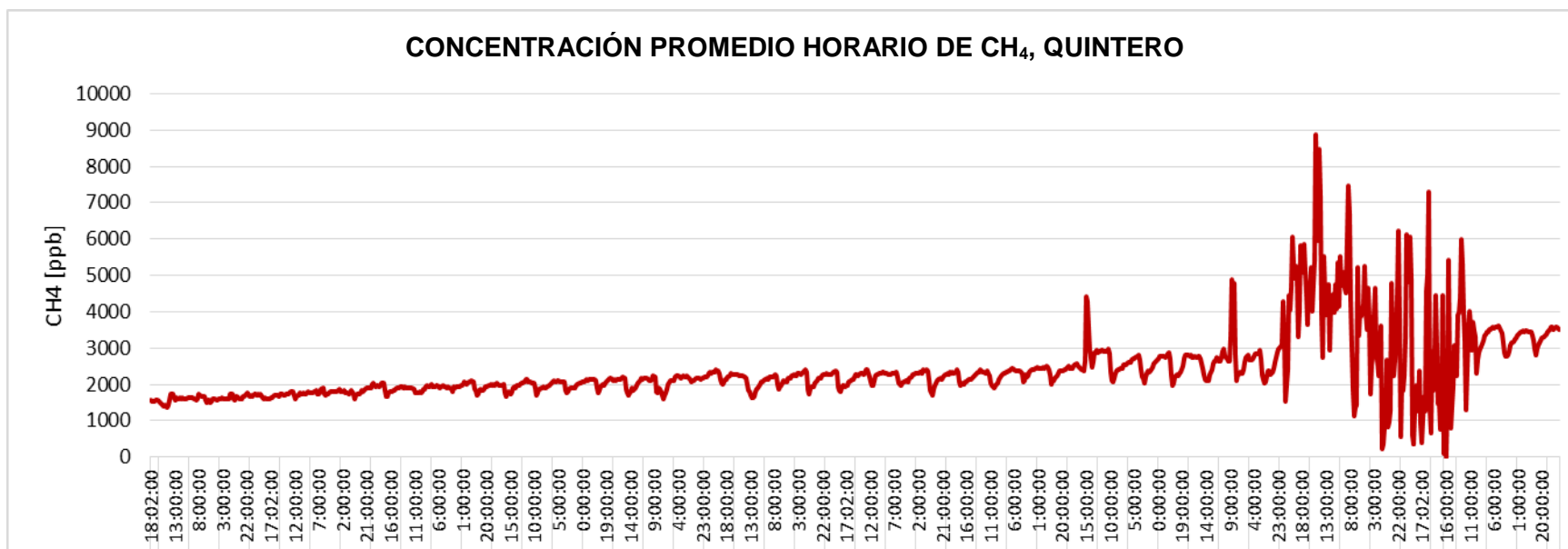


Figura 3.17. Concentración promedio horaria de CH₄ en Colegio Santa Filomena, Quintero período 31 de agosto - 17 de octubre de 2017.

En las figuras 3.15 a 3.17 se observan las oncentraciones promedio horario de NH₃, CH₄ y NMHCs, donde se observa un aumento de concentración en el período 7-14 de octubre, coincidente con el aumento de concentración de VOCs y el surgimiento del componente de vientos proveniente del sector industrial.

En las figuras 3.18 a la 3.22 se observa el día promedio para todos los contaminantes medidos, este analisis se realizó promediando las concentraciones de horarios similares para todos los días de monitoreo.

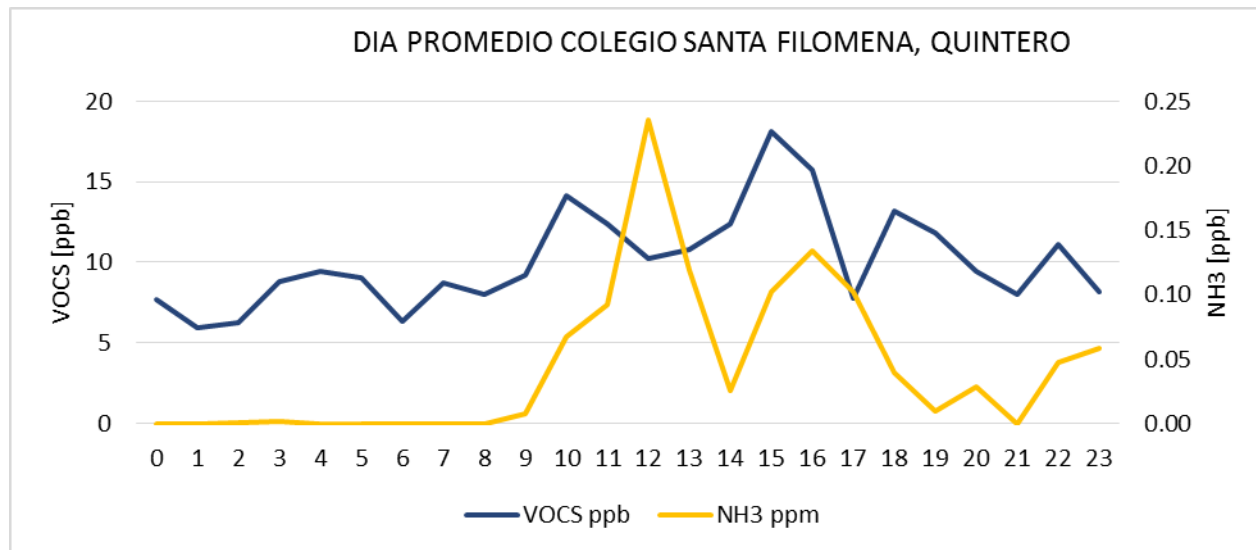


Figura 3.18. Día promedio de VOCs en comparación con CH₄, Quintero 31 de agosto - 17 de octubre de 2017

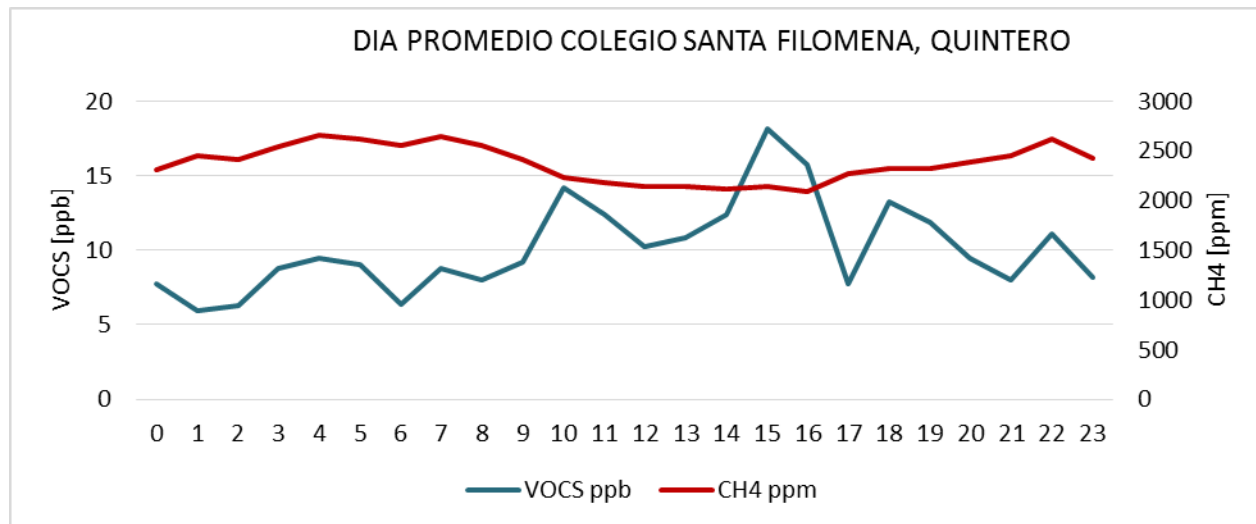


Figura 3.19. Día promedio de VOCs en comparación con CH₄, Quintero 31 de agosto - 17 de octubre de 2017

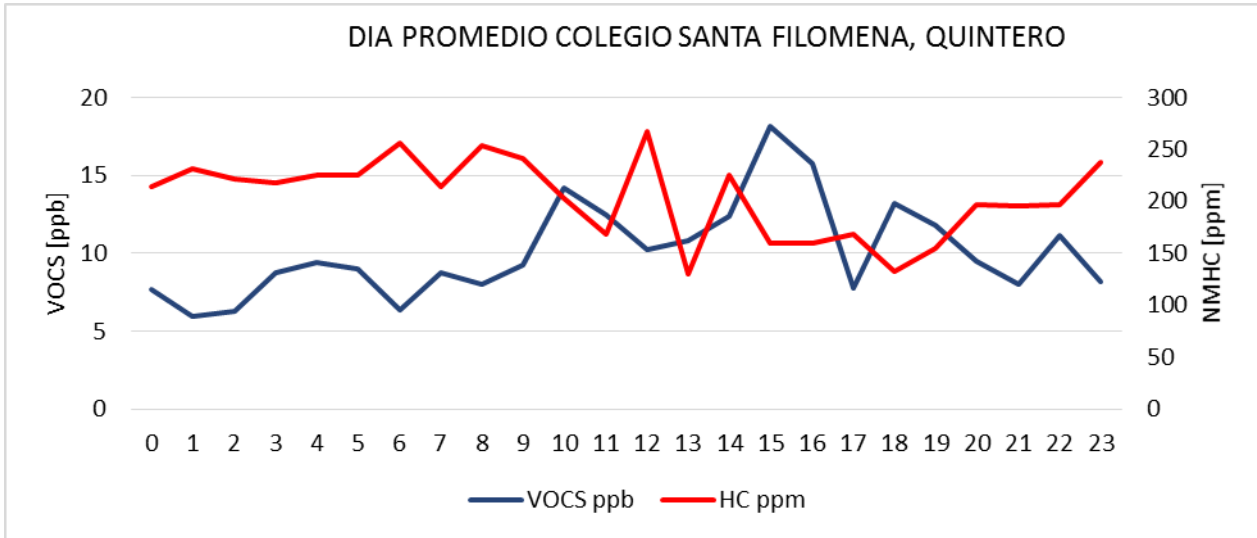


Figura 3.20. Día promedio de VOCs en comparación con NMHCs, Quintero 31 de agosto - 17 de octubre de 2017

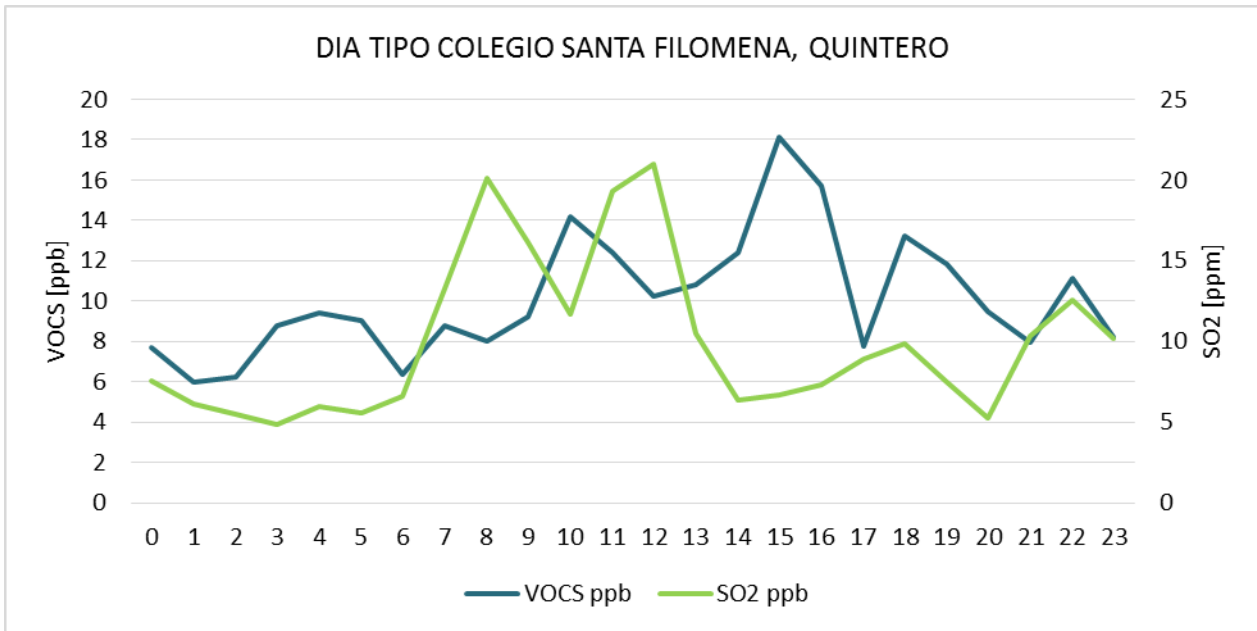


Figura 3.21. Día promedio de VOCs en comparación con SO₂, Quintero 31 de agosto - 17 de octubre de 2017

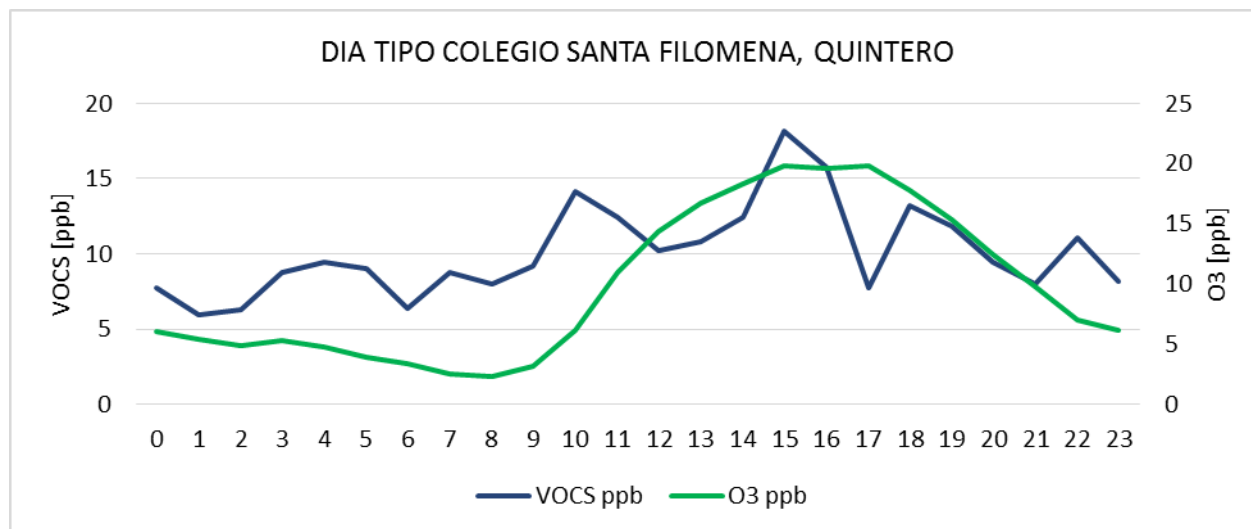


Figura 3.22. Día promedio de VOCs en comparación con O₃, Quintero 31 de agosto - 17 de octubre de 2017

En las figuras 3.18 a 3.22 se observa que la concentración de VOCs presenta su máximo valor a las 15 horas. Al compararlo con NH₃ (figura 3.18), ésta presenta sus máximos valores entre las 12 y 16 horas, indicando que no sigue el mismo comportamiento diario de los VOCs lo que hace presumible que sus orígenes sean distintos. Mismo caso se observa para CH₄ (figura 3.19) y NMHCs (figura 3.20). Adicionalmente, a pesar de que no se encuentra entre los contaminantes objeto del estudio, se realizó la medición de SO₂ con el fin de comparar los perfiles de concentración de éste trazador de la actividad industrial de la zona de Puchuncaví con los contaminantes objeto del estudio, en la figura 3.21 se puede apreciar que a las 8 de la mañana se observa un aumento coincidente de la concentración de SO₂, dato coincidente con las observaciones de la población que manifestaba picazon en la garganta en ese horario, por otro lado, se observa que también existe un aumento coincidente en la concentración de ambos contaminantes alrededor de las 22 horas, sin embargo no se tiene antecedentes sobre avisos de apreciación sensorial por parte de la ciudadanía. Si bien es cierto los máximos de VOCs y SO₂ no son coincidentes en horario, no se puede concluir que los VOCs provienen del sector industrial, esto se analizará mediante los ensayos estadísticos y los graficos polares, puesto que los gráficos de día promedio no pueden ser usados como una única herramienta para determinar el transporte y/u origen de los contaminantes, reflejan tendencias de comportamiento que deben ser complementadas con análisis estadísticos multivariados, modelamiento, retrotrayectorias, entre otros. Adicionalmente también se midió la concentración de Ozono troposférico debido a que los VOCs son precursores de este contaminante secundario, en la figura 3.22 se observa que su máximo de concentración se observa entre las 14 y 17 horas y sería formado fotoquímicamente a partir de los VOCs presentes en la atmósfera.

La figura 3.23 muestra el gráfico polar obtenido para el período de 31 de agosto - 17 de octubre de 2017 en Quintero, este gráfico fue obtenido utilizando la herramienta "Open Air Project" y permite relacionar las concentraciones promedio de VOCs en función de la velocidad y dirección de vientos, para así establecer su procedencia.

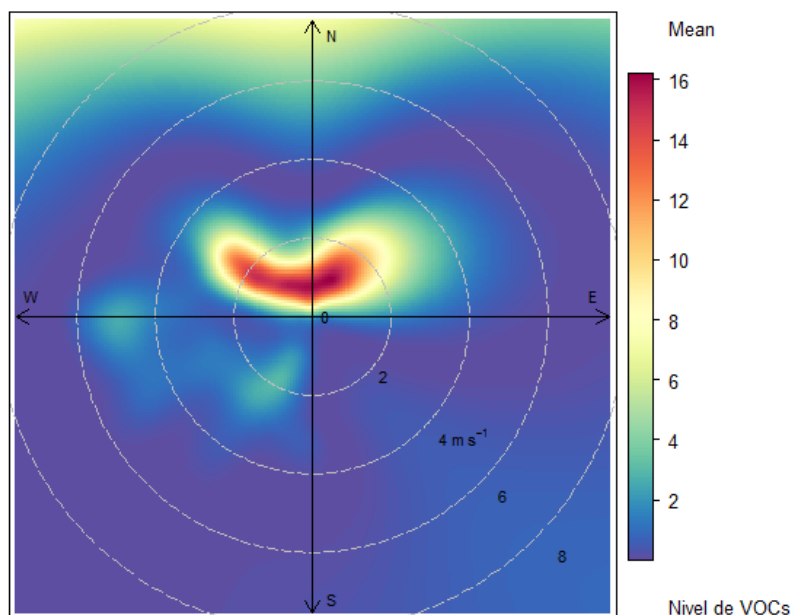


Figura 3.23. Gráfico polar de distribución de concentraciones promedio de VOCs en función del viento, Quintero 31 de agosto - 17 de octubre de 2017.

Como se observa en la figura 3.23, las mayores concentraciones promedio de VOCs provienen del cuadrante Nor-Este (dirección de las industrias) y Nor-Oeste (dirección de la ciudad) se dan a velocidades de viento entre 0 y 2 m/s. Esto indica que los VOCs que afectan la zona estudiada de Quintero tienen una componente mixta, sin embargo de acuerdo a los vientos predominantes cuando se observaron las mayores concentraciones (figura 3.14) la componente industrial podría ser de importancia. Este antecedente en conjunto con los antecedentes de la percepción de la población indican que el Colegio Santa Filomena de Quintero es un sitio receptor de contaminantes como los VOCs y debería ser monitoreado permanentemente.

3.3 ENAP Terminal Quintero

Terminado el periodo de monitoreo en el Colegio Santa Filomena de Quintero, los equipos de monitoreo fueron trasladados hasta el Terminal Quintero de ENAP en donde se monitoreó entre el 17 de octubre y el 4 de noviembre de 2017. La figura 3.24 muestra la ubicación de la estación de monitoreo en las instalaciones de ENAP.



Figura 3.24. Ubicación de estación de monitoreo en ENAP Terminal Quintero y rosa de vientos período 17 de octubre - 4 de noviembre de 2017.

Como se observa en la figura 3.24, para el periodo de monitoreo 17 de octubre – 4 de noviembre, los vientos predominantes registrados en ENAP terminal Quintero provienen del Sur-Oeste (dirección en la que se encuentra la planta de GNL Quintero), seguido del Nor-Oeste (dirección en la que se encuentra la planta industrial de ENAP Terminal Quintero) y en menor medida del Nor-Este (dirección en la que se encuentra la ruta F-30-E).

En las figuras 3.25 a 3.27 se observan las concentraciones promedio horario de los contaminantes objeto de estudio (VOCs, NMHCs y CH₄), cabe destacar que durante el período de monitoreo en ENAP Terminal Quintero, no se detectó la presencia de NH₃, por lo cual no se realizaron gráficos para este contaminante.

En la figura 3.25 se observa que la concentración promedio horaria de VOCs presenta valores máximos (17 ppb) el 19 de octubre, fecha en la que el viento predominante proviene del Sur-Oeste, dirección en la que se encuentra GNL Quintero y también un camino interior de intenso tráfico de camiones de alto tonelaje. También se observaron máximos de concentración de hasta 25 ppb entre el 21 y 23 de octubre, en ese período los vientos predominantes provienen del Sur-Oeste, Nor-Oeste y Nor-Este, por lo tanto la componente es mixta sumando GNL, camino interior de intenso tráfico de camiones de alto tonelaje, Planta de ENAP Terminal Quintero y ruta F-30-E. Por último se observó otro máximo de concentración promedio horaria (23 ppb) el día 1 de noviembre, día en el cual los vientos predominantes del Nor-Oeste dirección donde se encuentra la planta de ENAP Terminal Quintero. Cabe destacar que las concentraciones promedio horaria máximas observadas en ENAP (17-25 ppb) son menores a las observadas en el colegio Santa Filomena de Quintero donde alcanzaron valores de 231 ppb.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA DE VOCs EN ENAP TERMINALQUINTERO

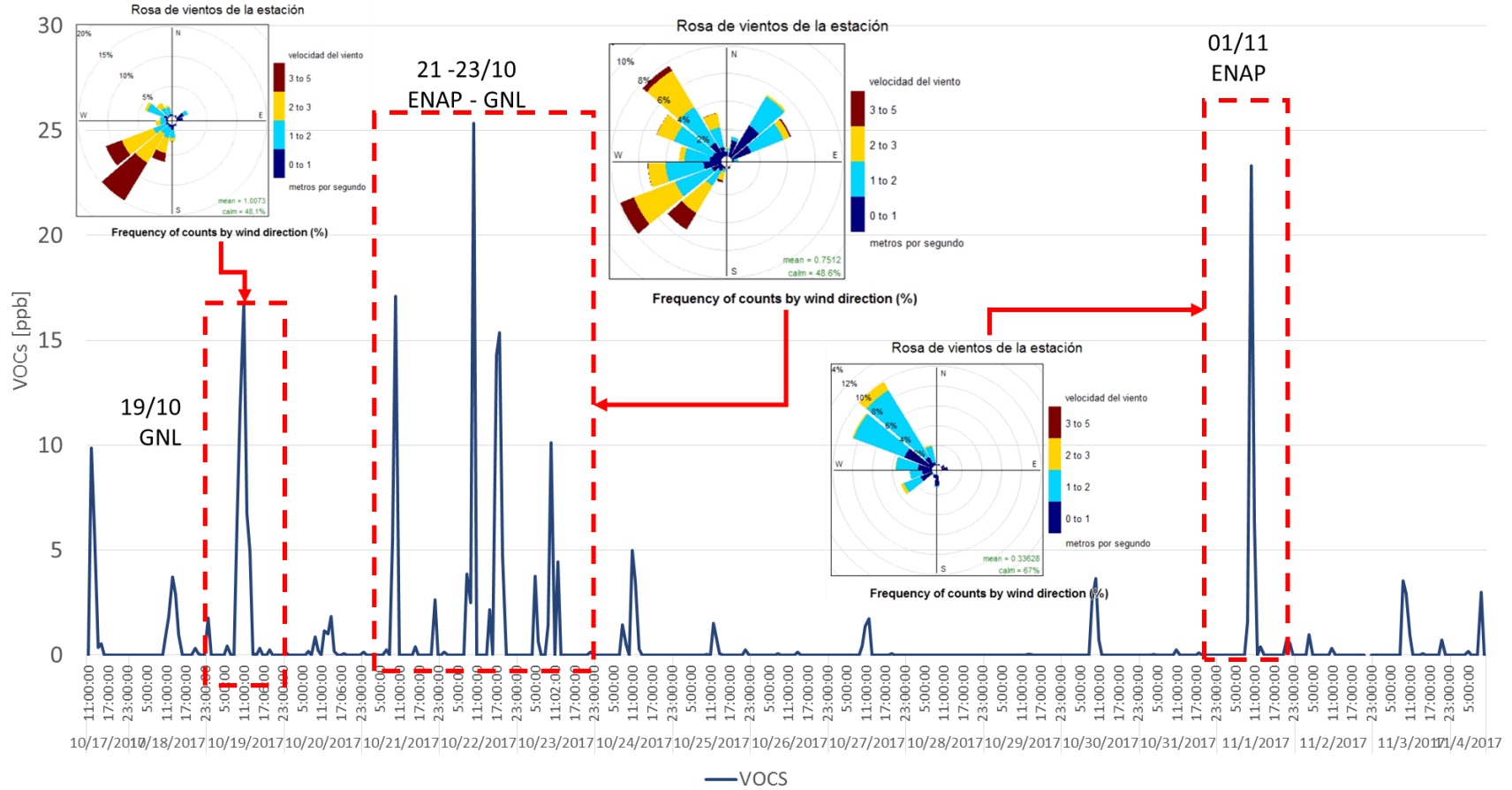


Figura 3.25. Concentración promedio horaria de VOCs en ENAP Terminal Quintero período 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

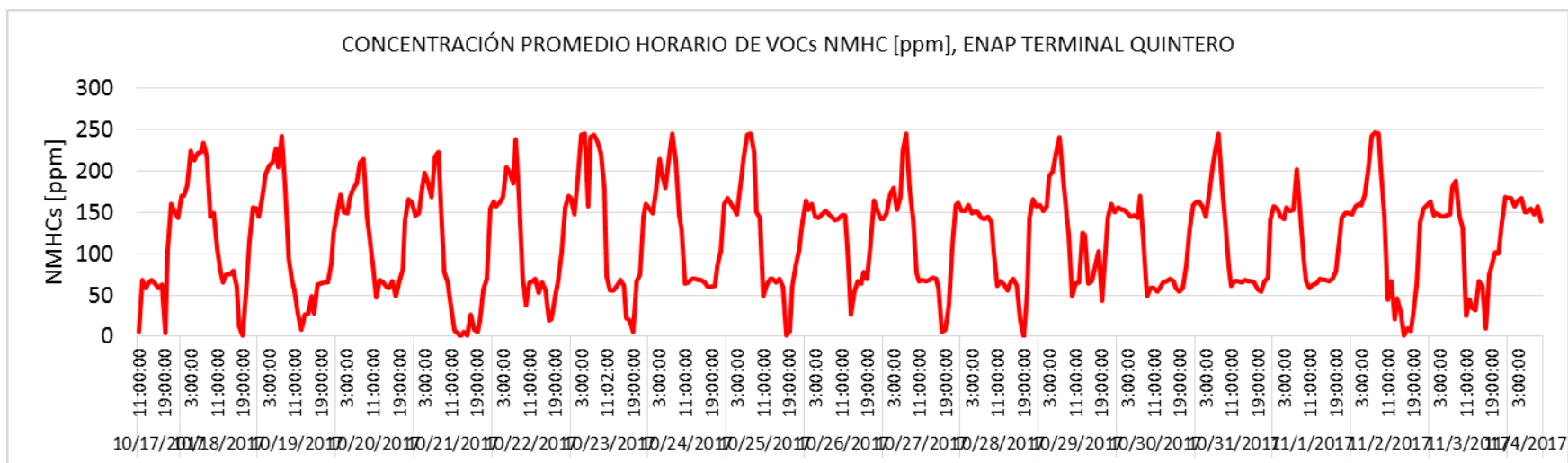


Figura 3.26. Concentración promedio horaria de NMHCs en ENAP Terminal Quintero período 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

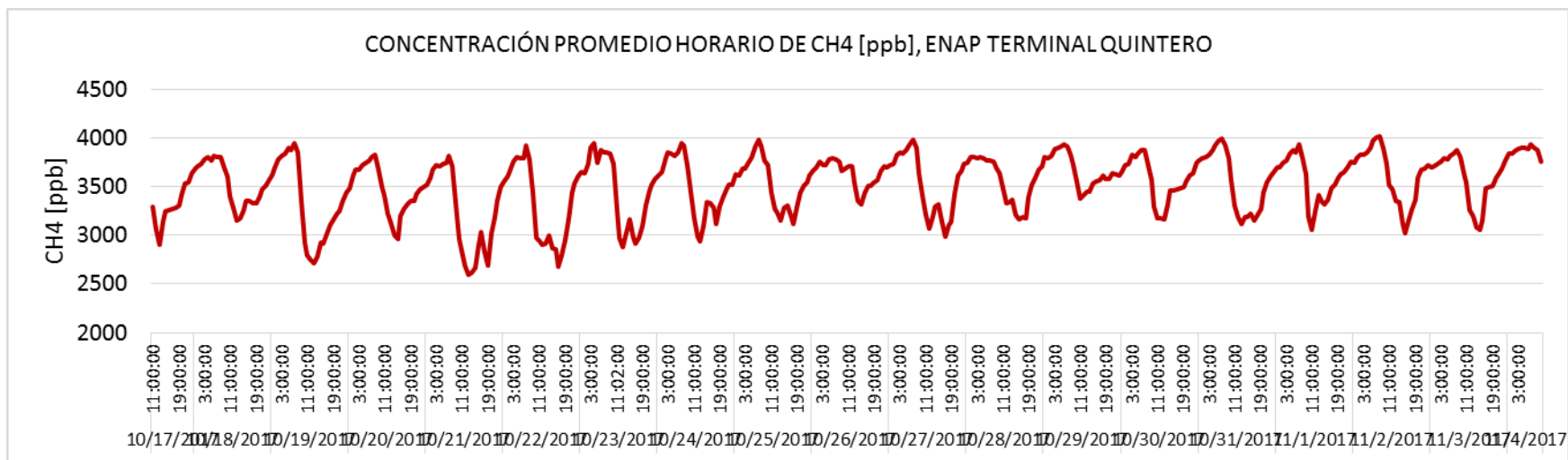


Figura 3.27. Concentración promedio horaria de CH₄ en ENAP Terminal Quintero período 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

Como se observa en las figuras 3.26 y 3.27, la concentración promedio de NMHCs y de CH₄, presentaron comportamientos marcadamente cíclicos con máximos de hasta 240 ppm entre las 5 y 8 de la mañana en el caso de los NMHCs, y máximos de hasta 4000 ppb entre las 6 y 8 de la mañana para el caso de CH₄.

En las figuras 3.28 a la 3.31 se observa el día promedio para todos los contaminantes medidos, este analisis se realizó promediando las concentraciones de horarios similares para todos los días de monitoreo.

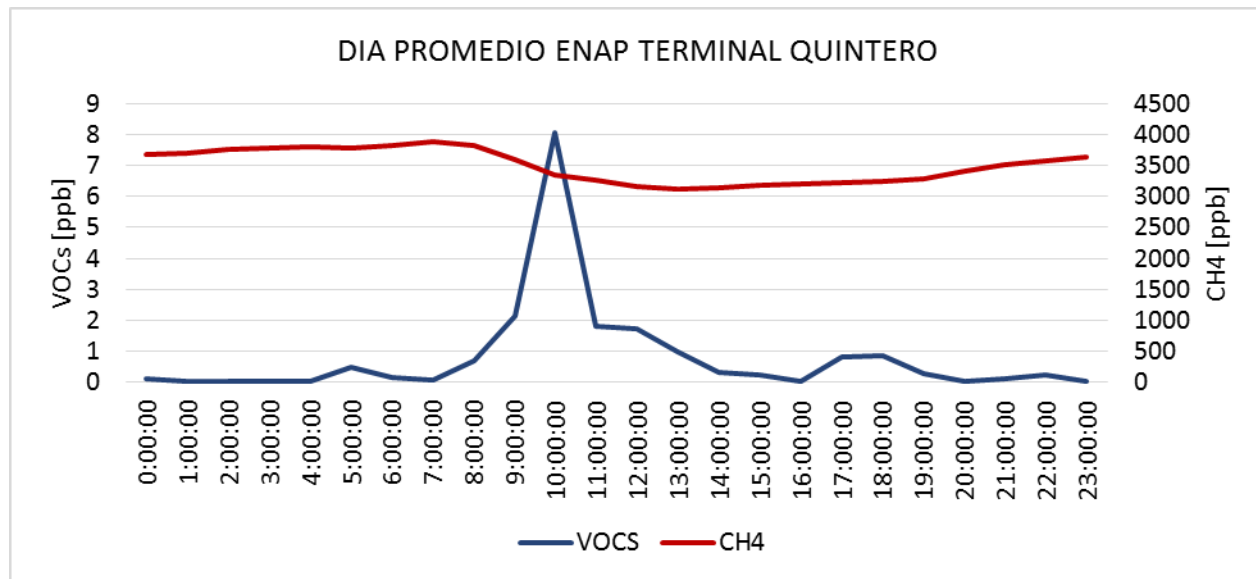


Figura 3.28. Día promedio de VOCs en comparación con CH₄ ENAP Terminal Quintero 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

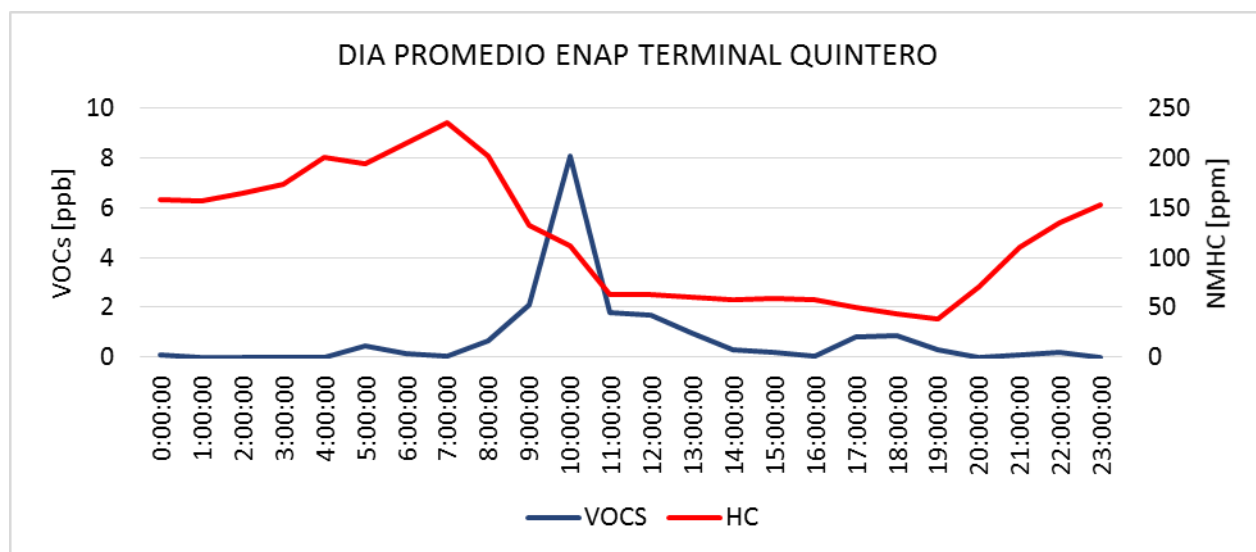


Figura 3.29. Día promedio de VOCs en comparación con NMHC ENAP Terminal Quintero 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

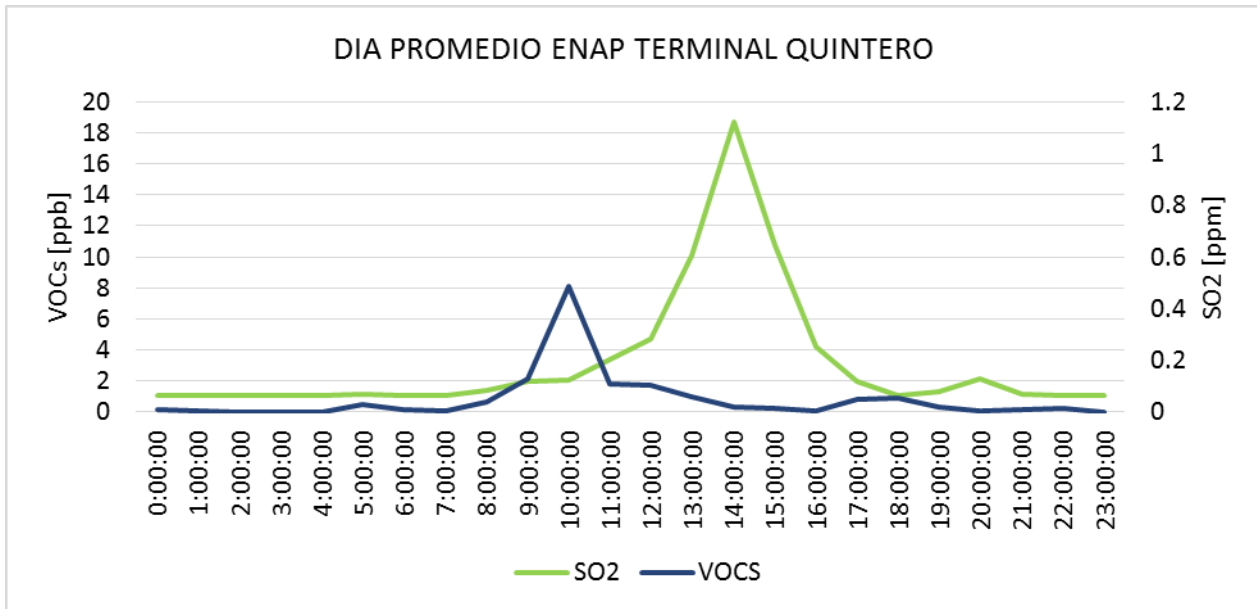


Figura 3.30. Día promedio de VOCs en comparación con SO₂ ENAP Terminal Quintero 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

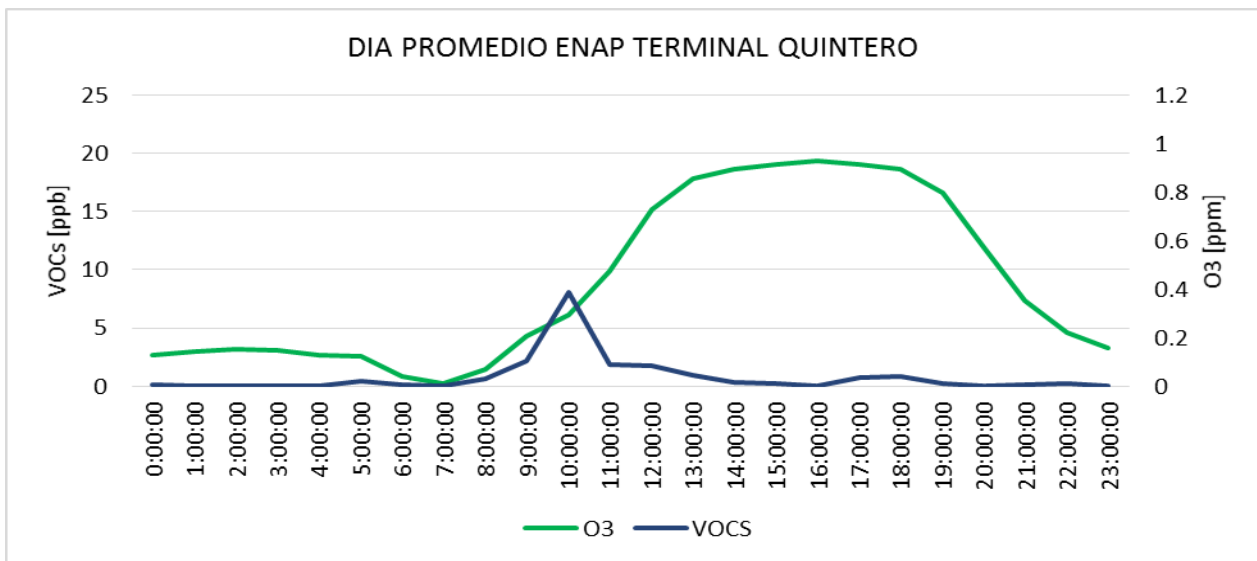


Figura 3.31. Día promedio de VOCs en comparación con O₃ ENAP Terminal Quintero 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

En las figuras 3.28 a 3.31 se observa que la concentración de VOCs presenta su máximo valor a las 10 horas alcanzando un valor de 8 ppb. El máximo observado para VOCs no es coincidente con ninguno de los demás contaminantes objeto de estudio, ni tampoco con SO₂ ni O₃

La figura 3.32 muestra el gráfico polar obtenido para el período de 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017 en ENAP Terminal Quintero, este gráfico fue obtenido utilizando la herramienta “Open Air Project” y permite relacionar las concentraciones promedio de VOCs en función de la velocidad y dirección de vientos, para así establecer su procedencia.

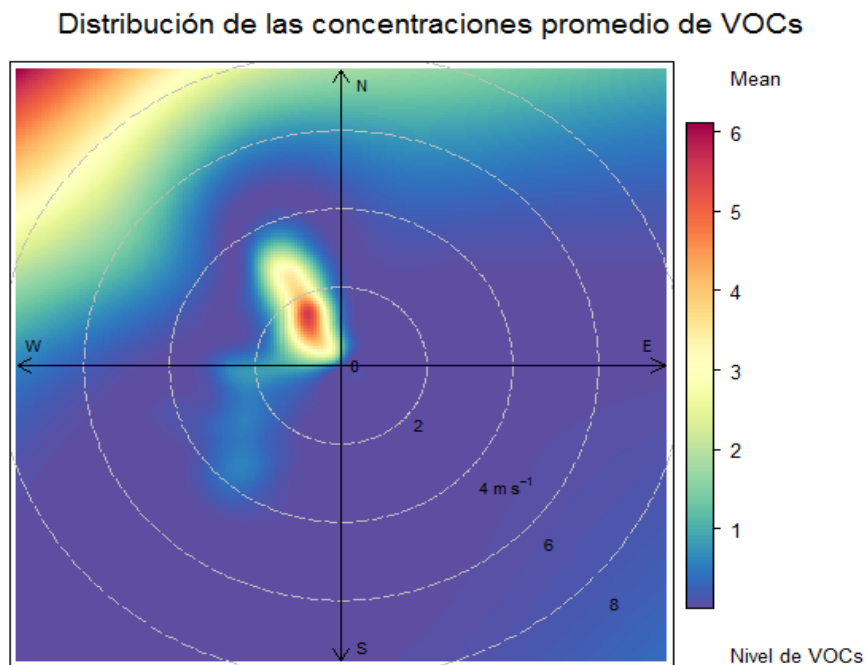


Figura 3.32. Gráfico polar de distribución de concentraciones promedio de VOCs en función del viento, ENAP Terminal Quintero 17 de octubre – 4 de noviembre de 2017.

La figura 3.32 muestra que las mayores concentraciones promedio de VOCs provienen del Nor-Oeste, dirección en la que se encuentra la planta de ENAP Terminal Quintero, con velocidades de viento bajas (0-2 m/s) y con velocidades de viento superiores a los 8 m/s. Sin embargo estas concentraciones promedio máximas (aproximadamente 6 ppb) son menores a las registradas en la ciudad de Quintero la cual bordea los 16 ppb. Para establecer si estas diferencias son o no significativas, los resultados obtenidos fueron sometidos a diversos análisis estadísticos cuyos resultados se muestran mas adelante.

3.4 Gasmar

Una vez terminado el periodo de monitoreo en ENAP Terminal Quintero, los equipos de monitoreo fueron trasladados hasta la planta de Gasmar Quintero (figura 3.33). Cabe destacar que durante los eventos de olores producidos en la zona, la población acusaba un fuerte “olor a gas”, el cual es característico de los compuestos odorantes que se adicionan al gas (propano – butano) y que corresponden a compuestos azufrados de la familia de los mercaptanos. En la zona de estudio hay sólo 2 empresas que tienen proceso de odoración de gas utilizando mercaptanos, una de ellas es Gasmar y la otra es Oxiquim y ambas fueron monitoreadas durante el desarrollo del presente estudio.

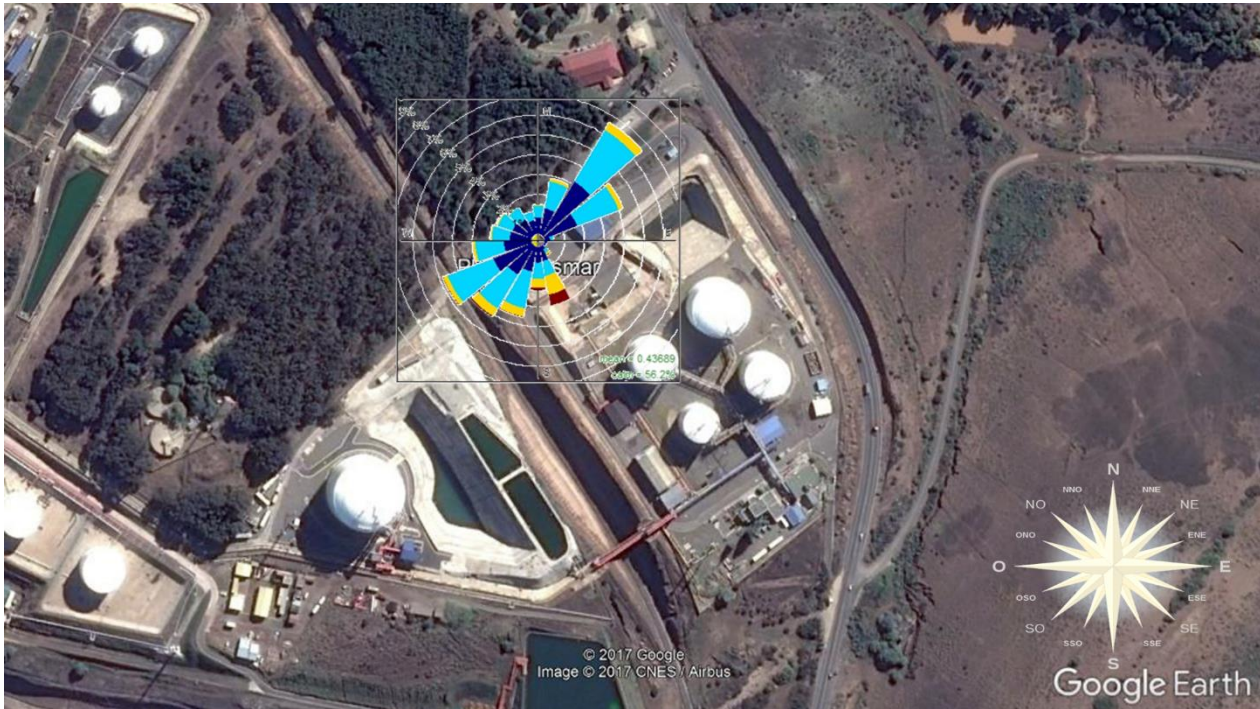


Figura 3.33. Ubicación de estación de monitoreo en Gasmar y rosa de vientos período 4 – 13 de noviembre de 2017.

Como se observa en la figura 3.33, para el periodo de monitoreo 4 – 13 de noviembre de 2017, los vientos predominantes registrados en Gasmar provienen del Sur-Oeste (dirección en la que se encuentra el estanque de almacenamiento de gas mas grande de la planta de Gasmar), seguido del Nor-Este (dirección en la que se encuentra la ruta F-30-E) y por último del Sur-Este, dirección en la cual se encuentra la planta de odorificación de Gasmar (figura 3.34).



Figura 3.34. Ubicación de estación de monitoreo y planta de odorificación en Gasmar.

La figura 3.35 muestra la concentración promedio horaria obtenida en Gasmar para el período de monitoreo 4 – 13 de noviembre de 2017, allí se pueden observar picos de concentración que alcanzan los 16 ppb durante los días 6 y 7 de noviembre, se graficó la rosa de los vientos para ese período y la dirección de vientos predominante proviene del Sur-Oeste, dirección en la que se encuentra el mayor estanque de almacenamiento de la planta, sin embargo también se observó una pequeña componente de viento proveniente del Sur-Este, dirección en la que se encuentra la planta de odorificación de Gasmar. Posteriormente el día 10 de noviembre se vió el mayor pico de concentración promedio horaria de VOCs que alcanzó los 36 ppb, se graficó la rosa de los vientos para ese día la cual presentó una dirección predominante marcadamente desde el Sur-Este, dirección en la que se encuentra la planta de odorificación. Finalmente a partir del día 11 de noviembre, la concentración promedio horaria de VOCs disminuyó hasta valores cercanos a 0 lo que fue coincidente con un cambio en la dirección de los vientos, los cuales dejaron de llegar desde el Sur-Este, sino que al contrario, predominaron los vientos provenientes del Nor-Este, dirección en donde se encuentra la ruta F-30-E.

En las figuras 3.36 y 3.37 se observa la concentración promedio horaria del resto de los contaminantes objeto de este estudio a excepción de amoníaco, ya que éste contaminante no fue detectado durante el período de monitoreo de Gasmar (4 – 13 de noviembre de 2017). En la figura 3.36 se observa que la concentración de CH_4 oscila entre 2300 y 4000 ppb sin presentar picos de concentración para todo el período de monitoreo. Misma situación presenta la concentración promedio horaria de NMHCs, que presenta marcados ciclos diarios que oscilan entre 2 y 300 ppm.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIO DE VOCs [ppb], GASMAR

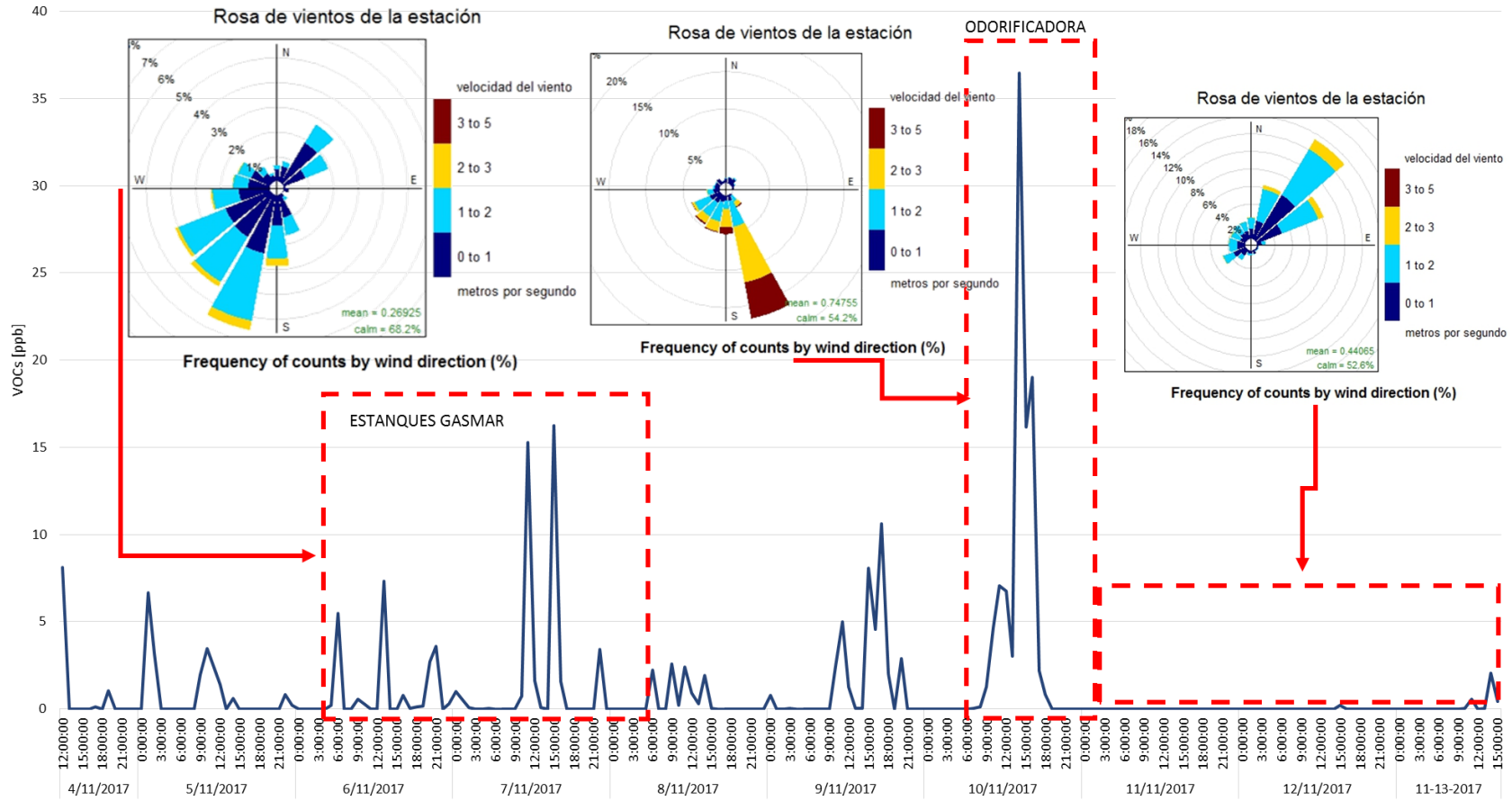


Figura 3.35. Concentración promedio horaria de VOCs en Gasmar Quintero período 4 – 13 de noviembre de 2017.

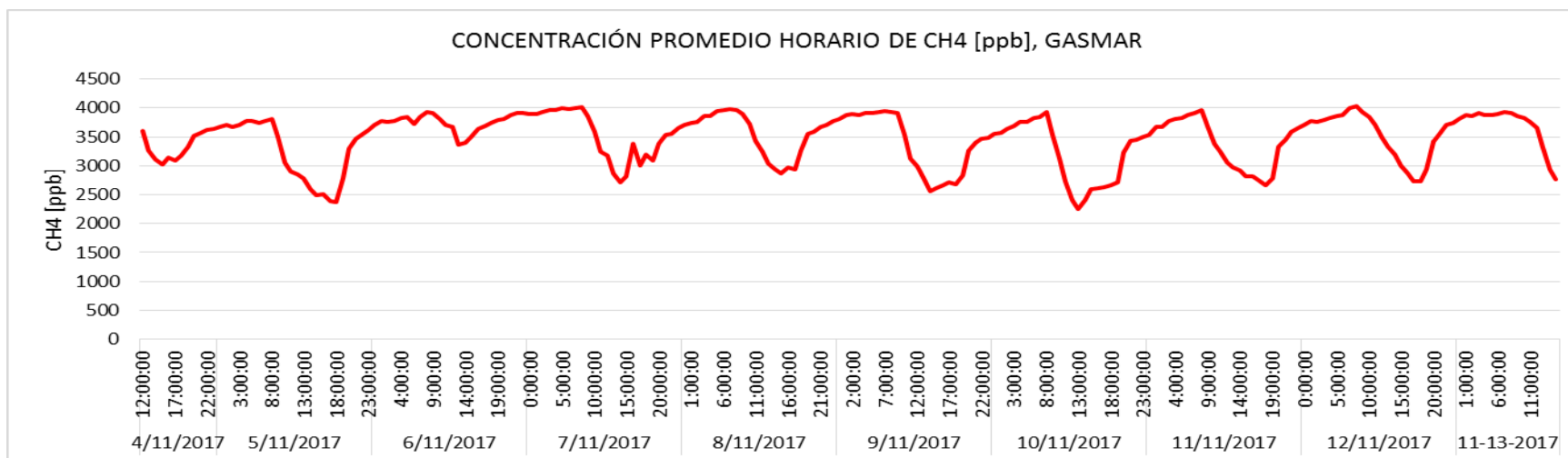


Figura 3.36. Concentración promedio horaria de CH₄ en Gasmar Quintero período 4 – 13 de noviembre de 2017.

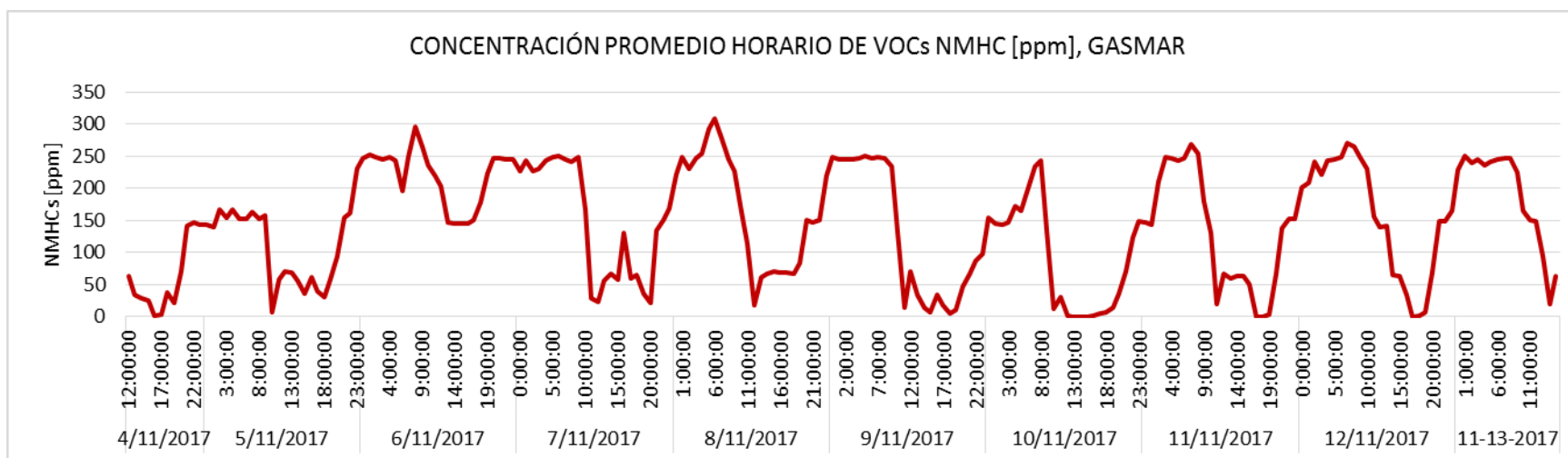


Figura 3.37. Concentración promedio horaria de NMHCs en Gasmar Quintero período 4 – 13 de noviembre de 2017.

En las figuras 3.38 a la 3.42 se observa el día promedio para todos los contaminantes medidos, este análisis se realizó promediando las concentraciones de horarios similares para todos los días de monitoreo.

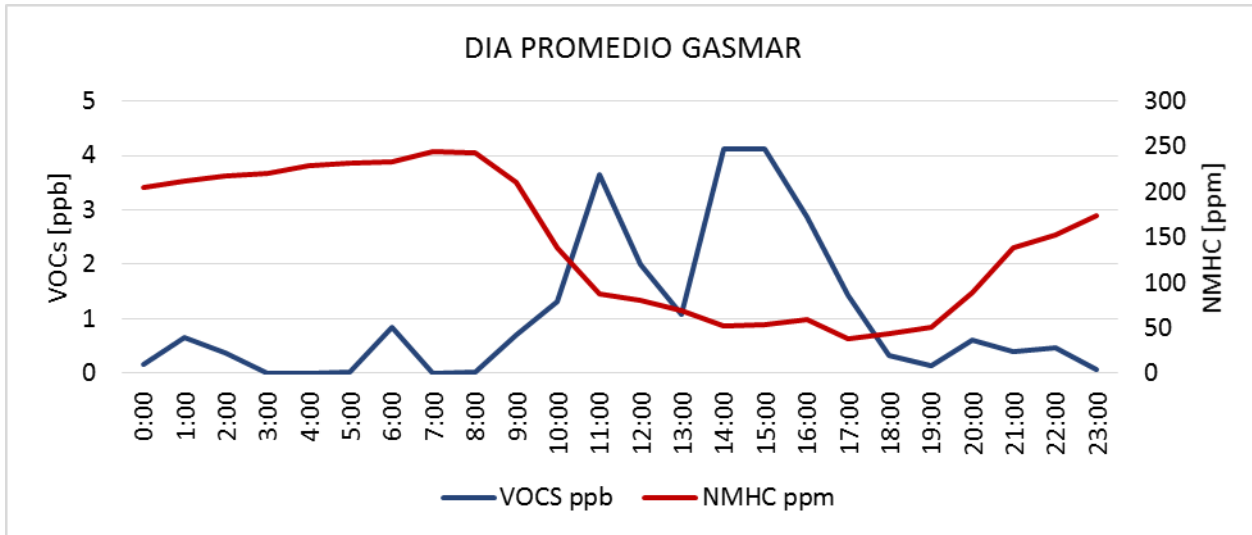


Figura 3.38. Día promedio de VOCs en comparación con NMHCs, Gasmar 4 – 13 de noviembre de 2017

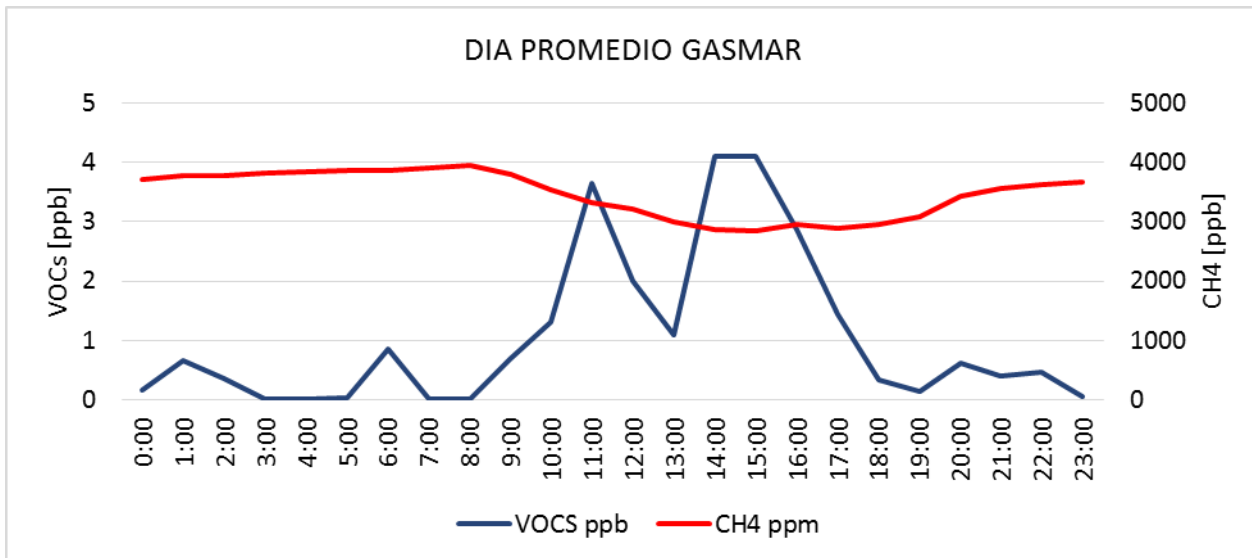


Figura 3.39. Día promedio de VOCs en comparación con CH₄, Gasmar 4 – 13 de noviembre de 2017

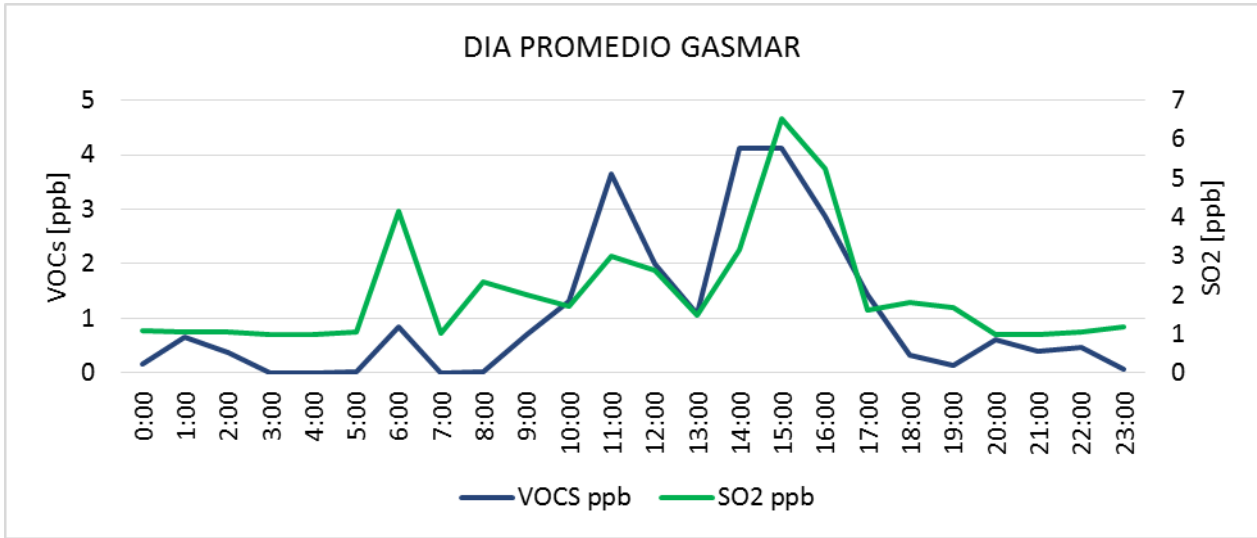


Figura 3.40. Día promedio de VOCs en comparación con SO₂, Gasmar 4 – 13 de noviembre de 2017

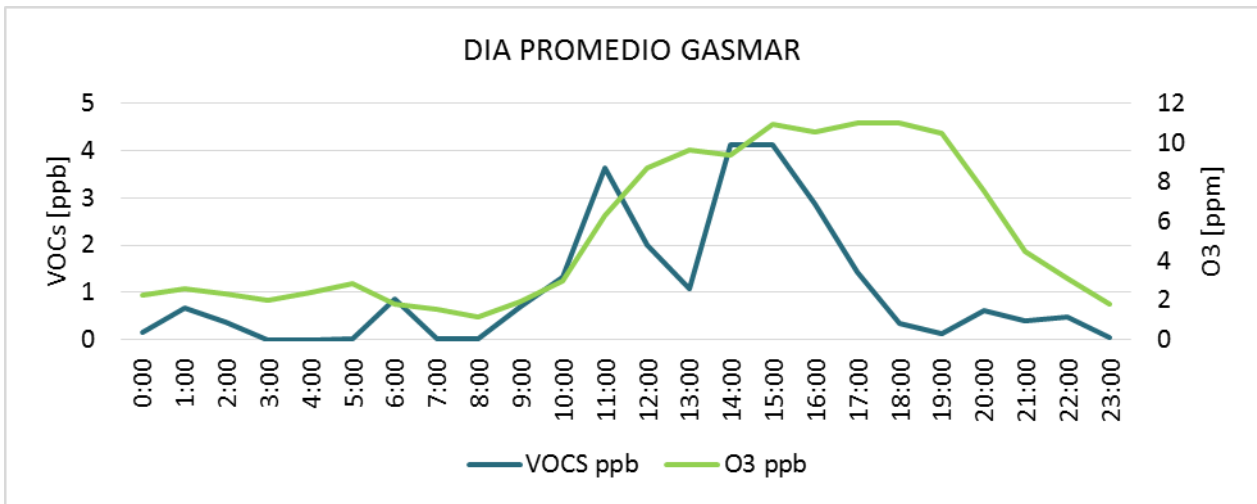


Figura 3.41. Día promedio de VOCs en comparación con O₃, Gasmar 4 – 13 de noviembre de 2017

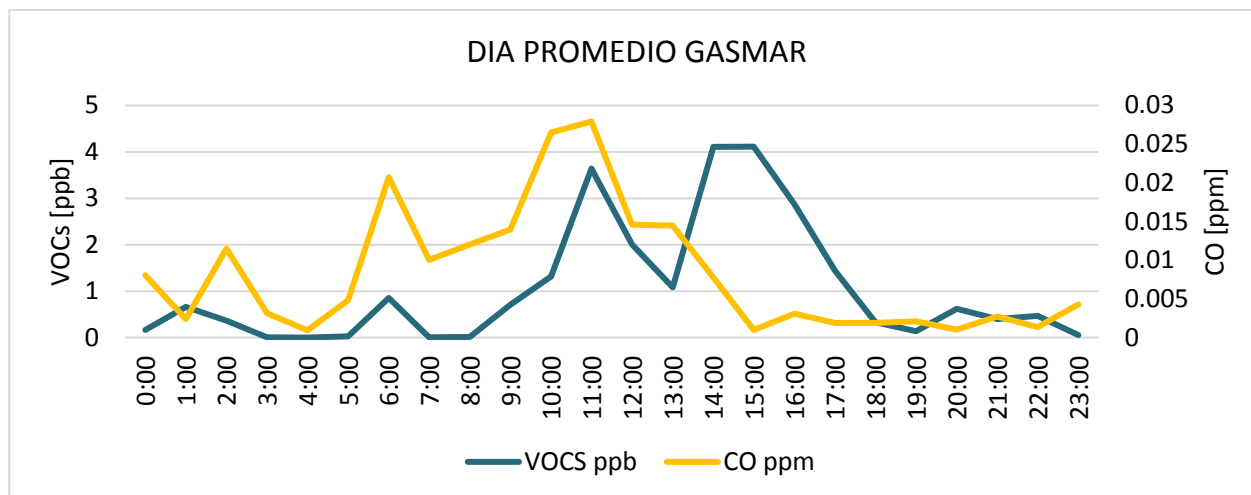


Figura 3.42. Día promedio de VOCs en comparación con CO, Gasmar 4 – 13 de noviembre de 2017

En las figuras 3.38 a 3.42 se observa que la concentración de VOCs presenta su máximo valor a las 11 horas alcanzando un valor de 3,6 ppb, seguido de 2 máximos a las 14 y 15 horas que alcanzan los 4,1 ppb. El máximo observado para VOCs no es coincidente con ninguno de los demás contaminantes objeto de estudio, sin embargo hay una coincidencia con SO_2 , indicador de actividad industrial en esta zona, a las 3 de la tarde y a las 6 de la mañana lo que indicaría que existe aporte de VOCs desde las fuentes de SO_2 cercanas. Adicionalmente, y a pesar de no estar incluido dentro de los contaminantes objeto de estudio, se realizó un cruce de la concentración día promedio de VOCs con CO, dado que CO es un trazador de tráfico vehicular y la estación de monitoreo estaba ubicada a un costado de la zona de carga de camiones de Gasmar. Se observó coincidencia entre el pico de VOCs con CO a las 6 y 11 de la mañana, indicando que el tráfico vehicular aporta VOCs.

La figura 3.43 muestra el gráfico polar obtenido para el período de 4 – 13 de noviembre de 2017 Gasmar, este gráfico fue obtenido utilizando la herramienta “Open Air Project” y permite relacionar las concentraciones promedio de VOCs en función de la velocidad y dirección de vientos, para así establecer su procedencia.

Distribución de las concentraciones promedio de VOCs

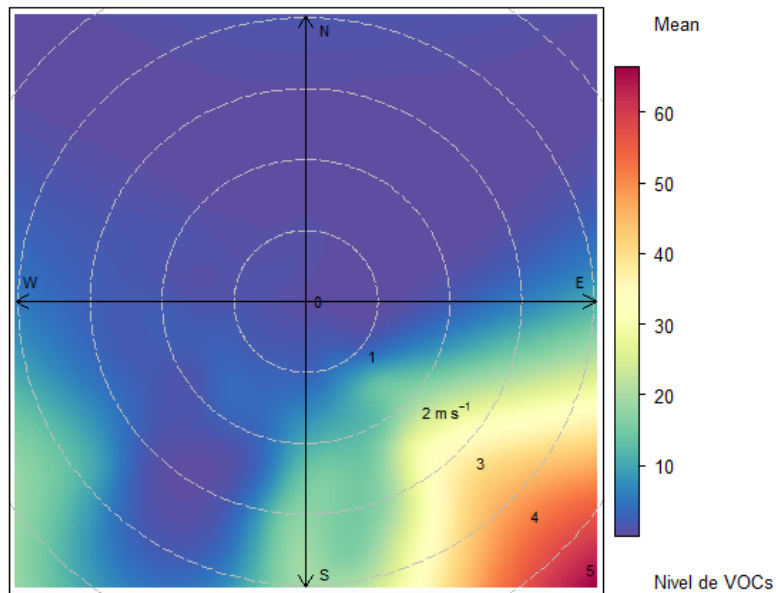


Figura 3.43. Gráfico polar de distribución de concentraciones promedio de VOCs en función del viento, Gasmar 4 – 13 de noviembre de 2017.

En la figura 3.43 se observa que las mayores concentraciones promedio de VOCs en Gasmar (~60 ppb) provienen del Sur-Este a velocidades de viento entre 3 y 5 m/s, en esa dirección se encuentra la planta de odorificación de Gasmar, indicando que ésta sería una importante fuente de VOCs.

3.5 Puerto Ventanas

Una vez terminado el periodo de monitoreo de Gasmar, los equipos fueron trasladados hasta las instalaciones de Puerto Ventanas, donde fueron instalados en el sitio 3 del muelle (figura 3.44). Allí se monitoreó entre los días 13 y 23 de noviembre, sin embargo el monitoreo se vio interrumpido los días 15-16 de noviembre y 18-22 de noviembre debido a fallas de suministro de energía.

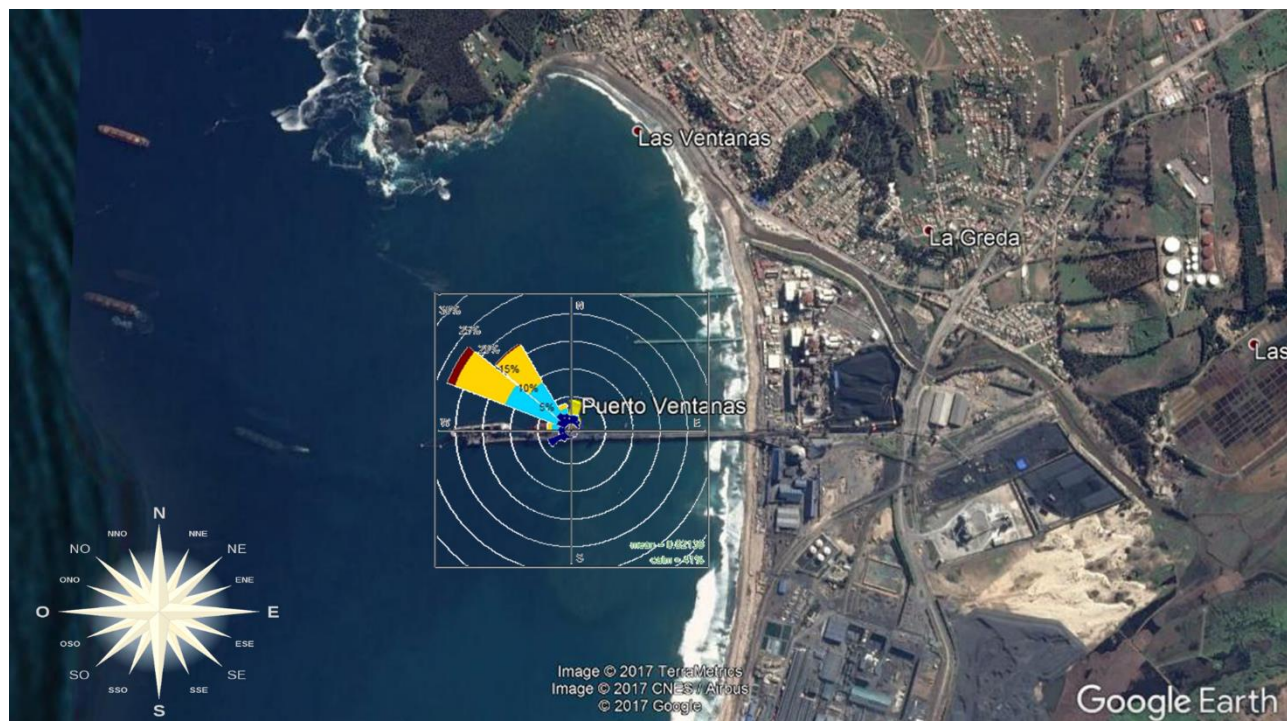


Figura 3.44. Ubicación de estación de monitoreo en Puerto Ventanas y rosa de vientos período 13 – 23 de noviembre de 2017.

Como se observa en la figura 3.44, la dirección predominante de los vientos en Puerto Ventanas Durante el período de monitoreo (13 – 23 de noviembre de 2017) proviene del Nor-Oeste dirección al mar.

En la figura 3.45 se observa la concentración promedio horario de VOCs observada en Puerto Ventanas donde se observan claramente 2 picos de concentración, el primero el día 14 de noviembre que alcanzó una concentración de 1,4 ppb, donde los vientos predominantes provinieron del Nor-Oeste (dirección del mar), y un segundo pico de concentración el día 18 de noviembre que alcanzó los 2,7 ppb y el viento predominante también provino del Nor-Oeste (dirección del mar). Cabe destacar que los picos de concentración observados son menores a los observados en Gasmar y Quintero, sin embargo, para establecer si estas diferencias son estadísticamente significativas, los resultados obtenidos serán sometidos a pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas.

Las figuras 3.46 a 3.48 muestran las concentraciones promedio horaria de los demás contaminantes objeto de estudio (NMHCs, CH₄ y NH₃).

CONCENTRACIÓN PROMEDIOS HORARIOS VOCs[ppb], PUERTO VENTANAS

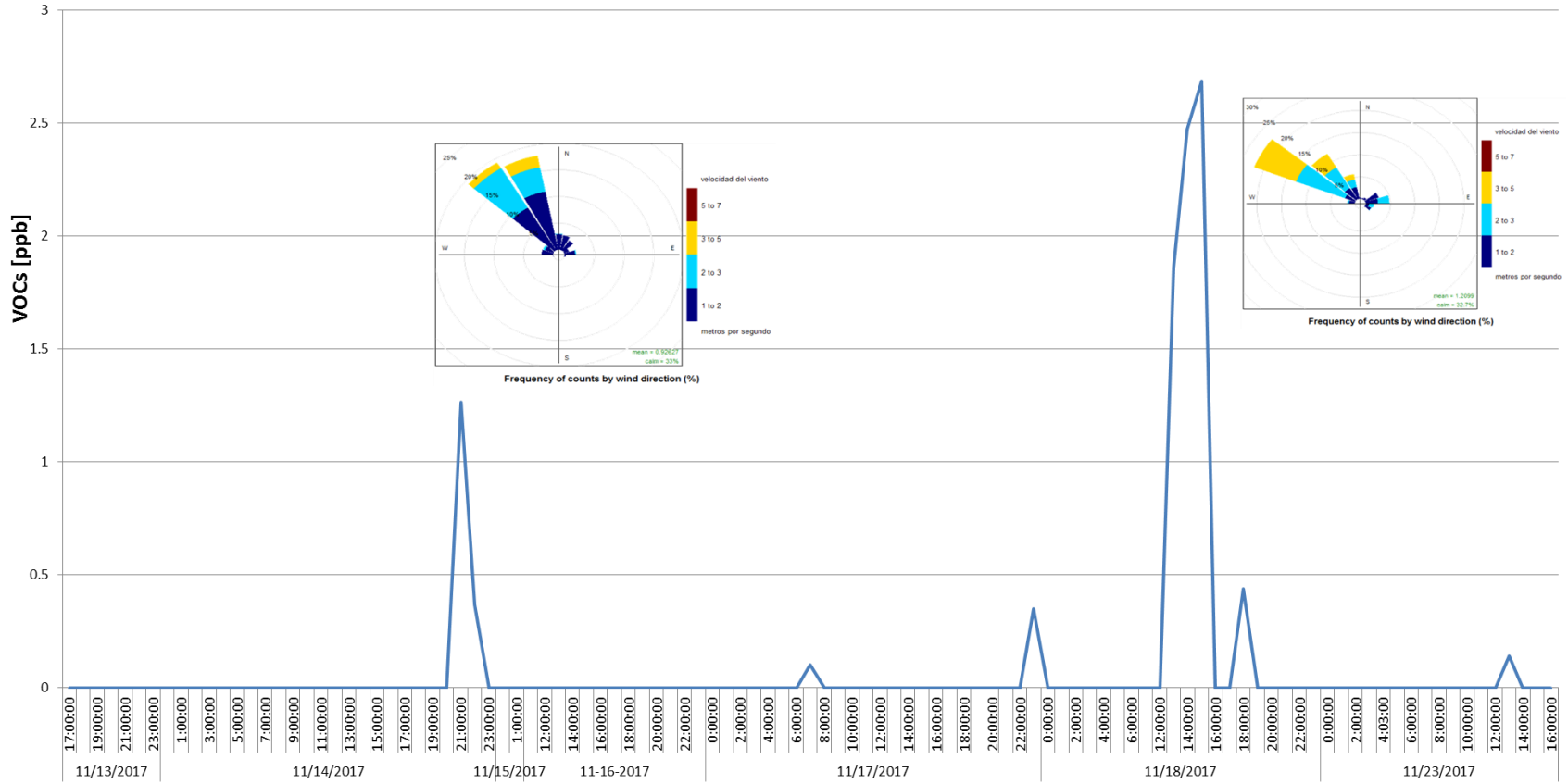


Figura 3.45. Concentración promedio horaria de VOCs en Puerto Ventanas período 13 – 23 de noviembre de 2017.

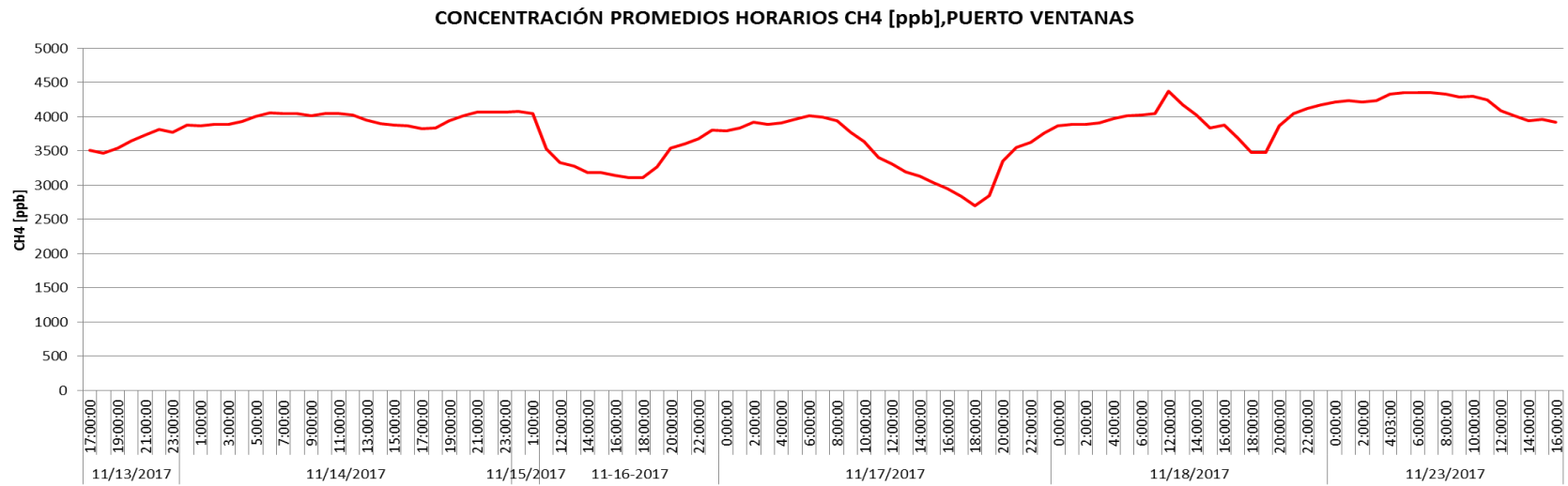


Figura 3.46. Concentración promedio horaria de CH₄ en Puerto Ventanas período 13 – 23 de noviembre de 2017.

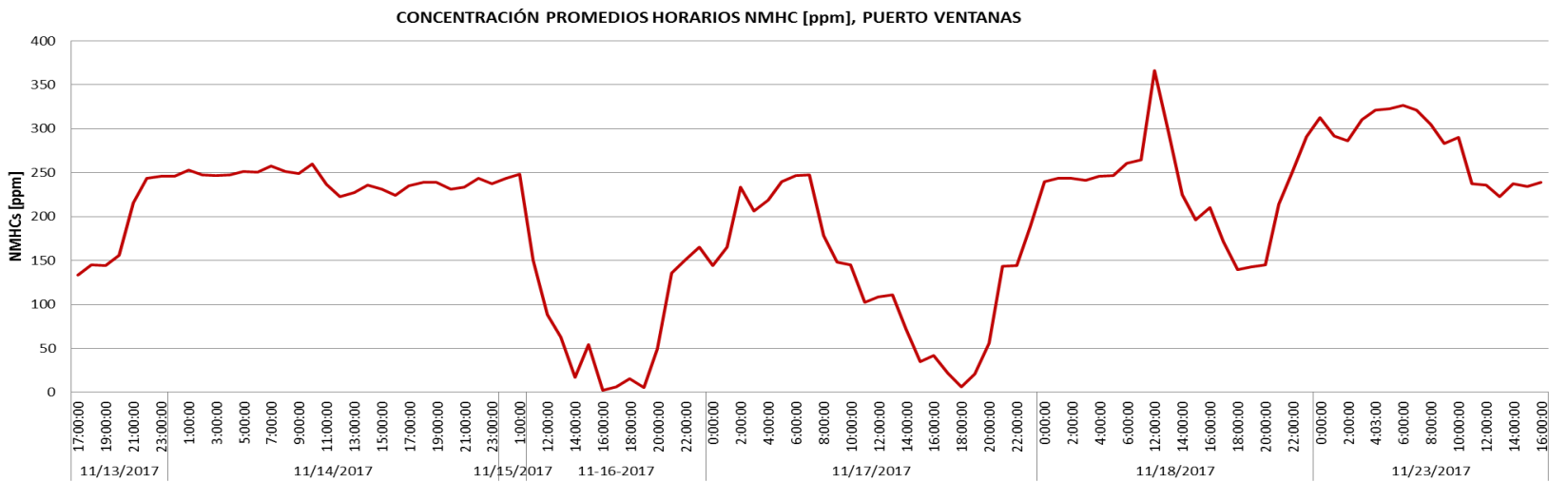


Figura 3.47. Concentración promedio horaria de NMHCs en Puerto Ventanas período 13 – 23 de noviembre de 2017.

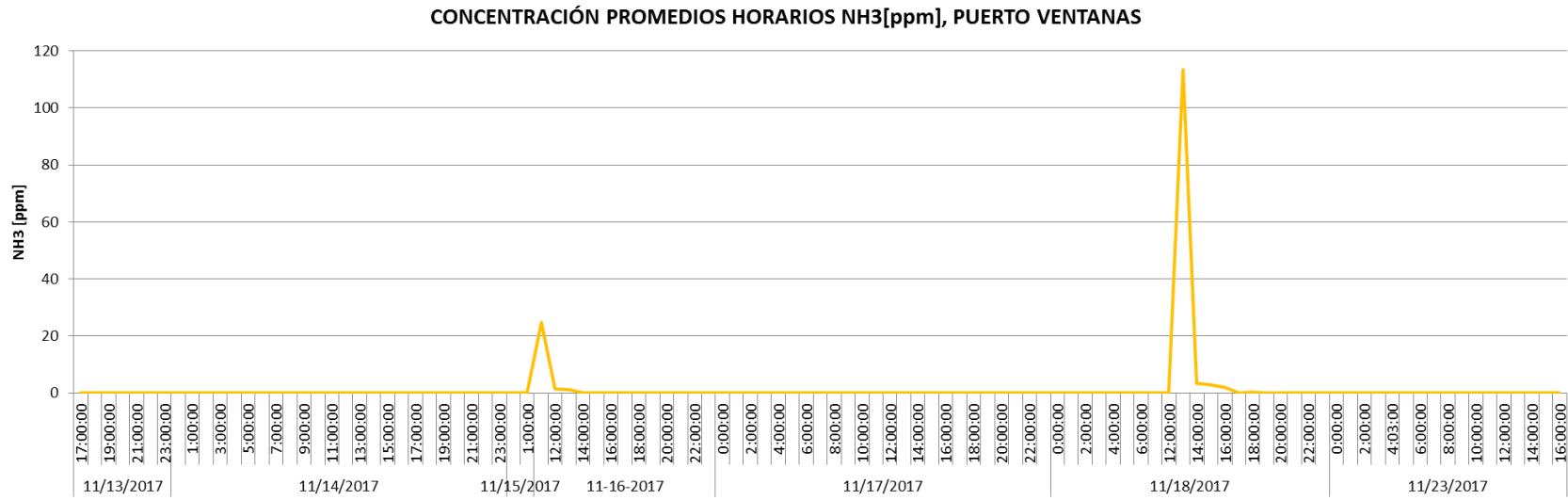


Figura 3.48. Concentración promedio horaria de NH₃ en Puerto Ventanas período 13 – 23 de noviembre de 2017.

La concentración promedio horaria de CH₄ (figura 3.46) muestra un comportamiento cíclico oscilando entre 2700 y 4300 ppb, mismo comportamiento cíclico se observa para la concentración promedio horaria de NMHCs (figura 3.47) que oscila entre 6 y 360 ppm a excepción del 14 de noviembre que se mantiene constante durante todo el día entre 220 y 240 ppm. Cabe destacar que durante el período de monitoreo de Puerto Ventanas, se estaban efectuando tareas de mantención y reparación del muelle con constante movimiento de vehículos, por lo tanto podría haber un importante aporte de dichas fuentes móviles en las concentraciones de contaminantes observados.

En las figuras 3.49 a la 3.52 se observa el día promedio para todos los contaminantes medidos, este analisis se realizó promediando las concentraciones de horarios similares para todos los días de monitoreo.

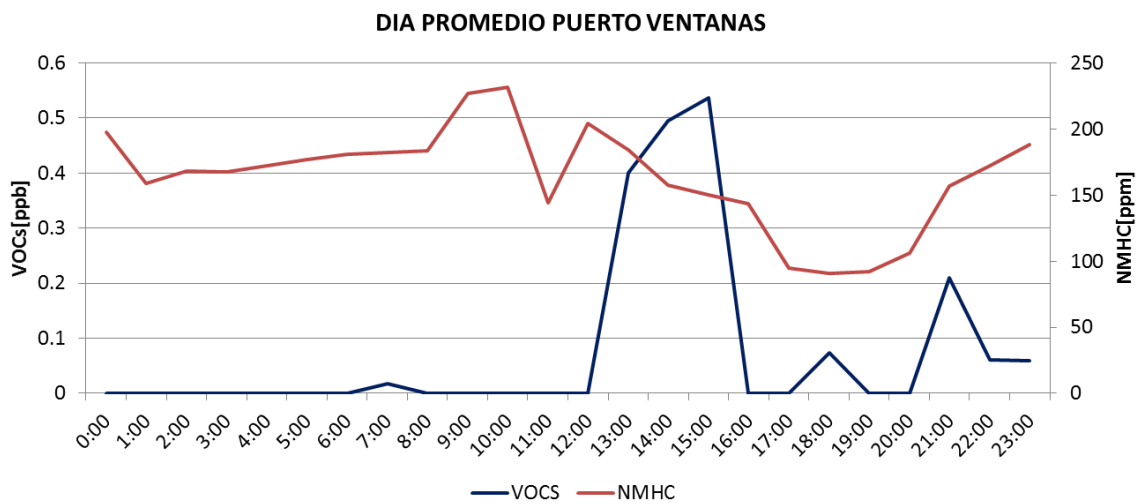


Figura 3.49. Día promedio de VOCs en comparación con NMHCs, Puerto Ventanas 13 – 23 de noviembre de 2017

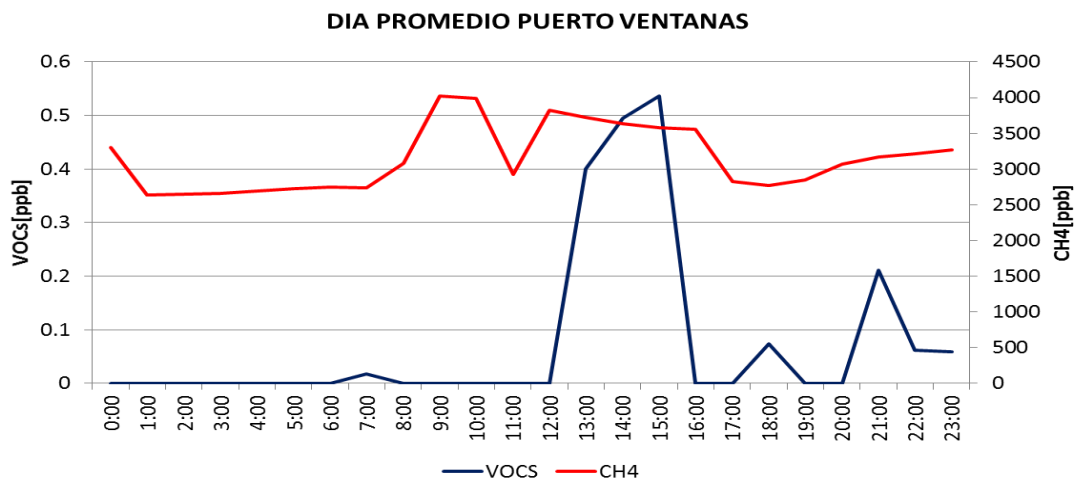


Figura 3.50. Día promedio de VOCs en comparación con CH₄, Puerto Ventanas 13 – 23 de noviembre de 2017

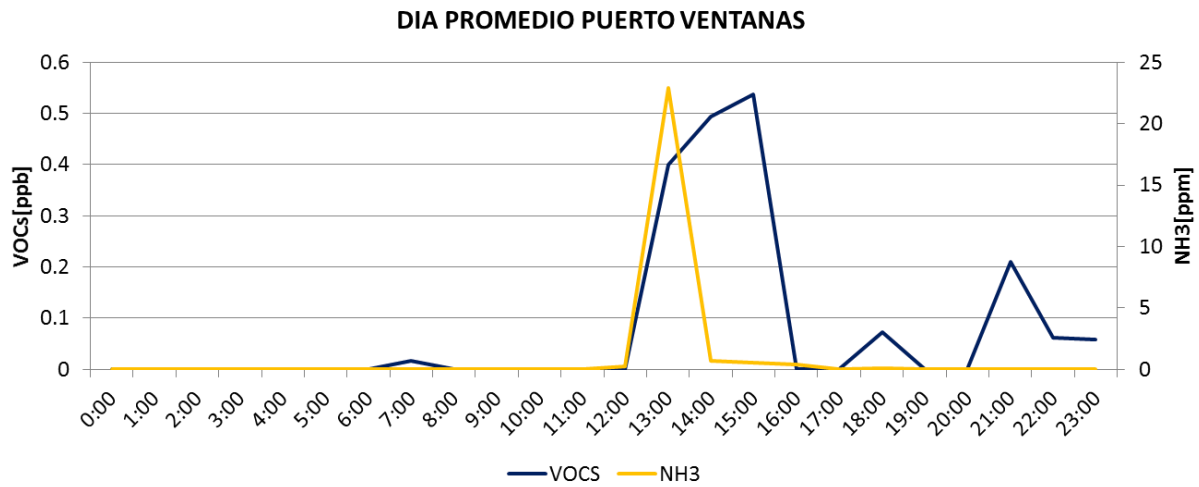


Figura 3.51. Día promedio de VOCs en comparación con NH₃, Puerto Ventanas 13 – 23 de noviembre de 2017

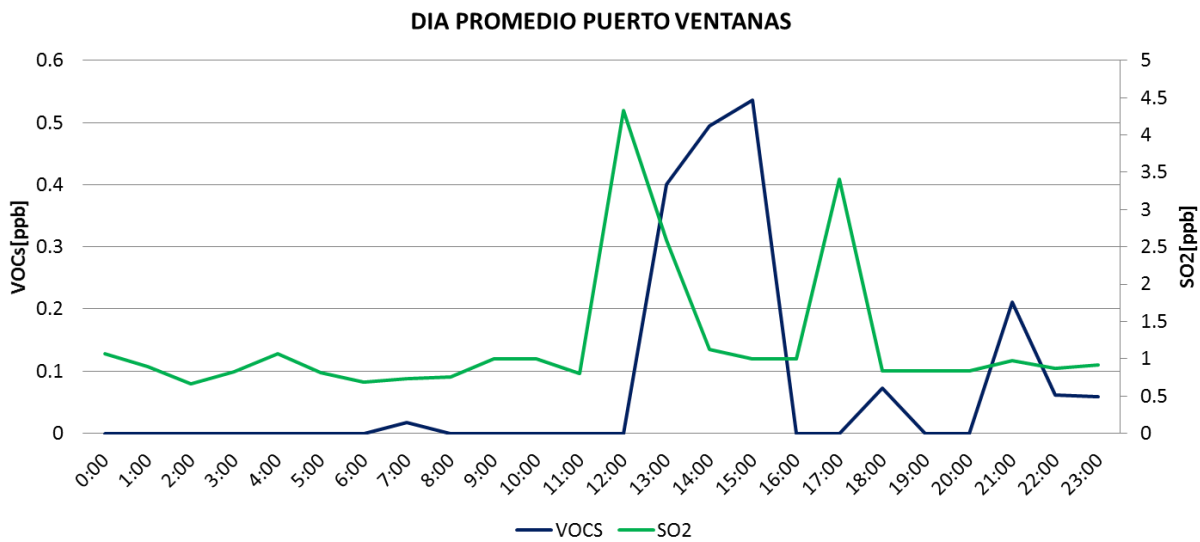


Figura 3.52. Día promedio de VOCs en comparación con SO₂, Puerto Ventanas 13 – 23 de noviembre de 2017

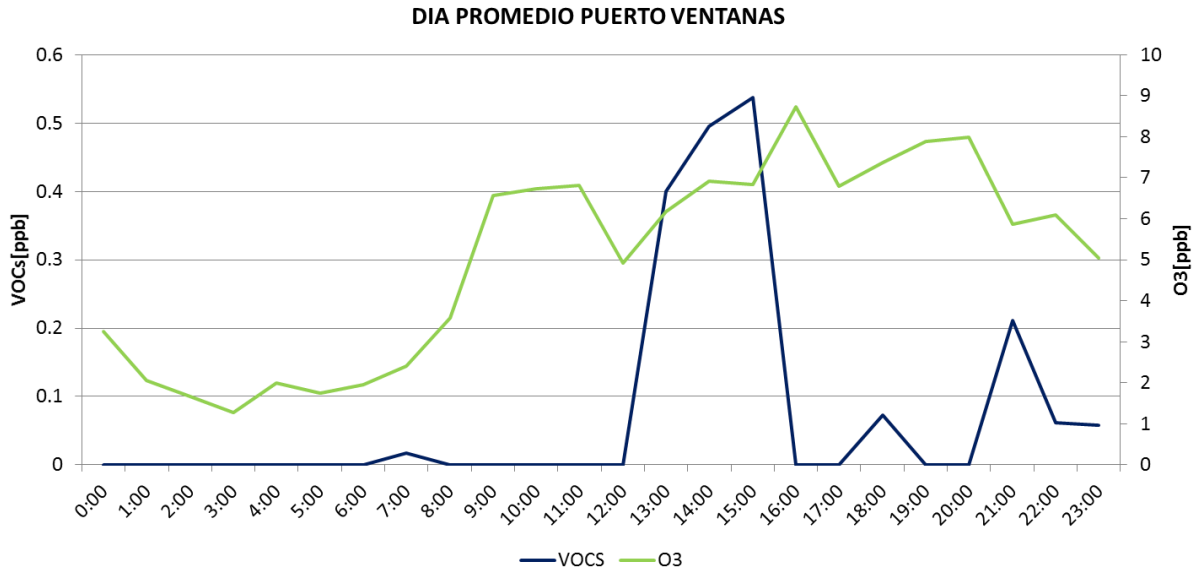


Figura 3.53. Día promedio de VOCs en comparación con O₃, Puerto Ventanas 13 – 23 de noviembre de 2017

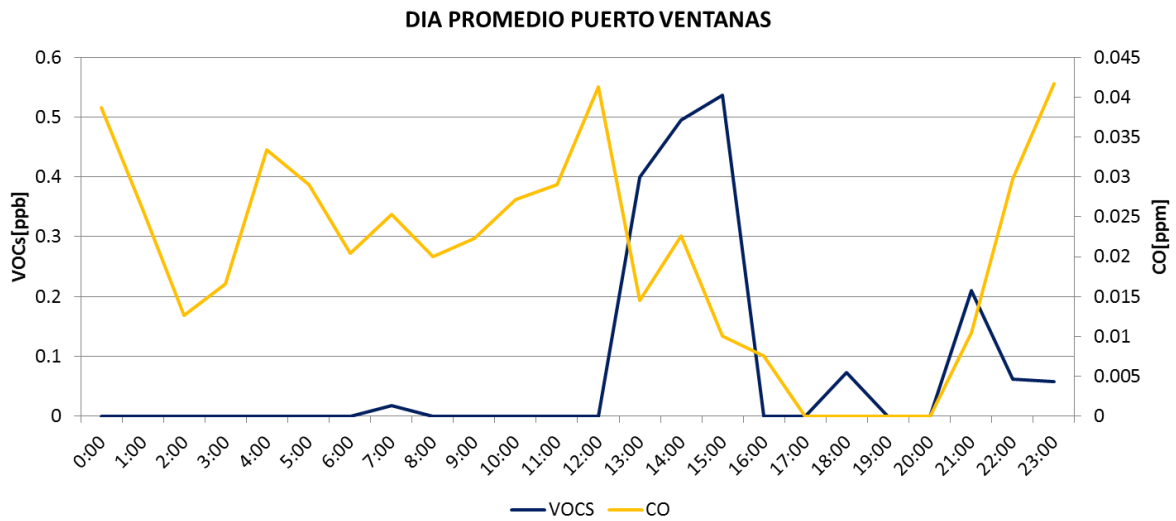


Figura 3.54. Día promedio de VOCs en comparación con CO, Puerto Ventanas 13 – 23 de noviembre de 2017

En las figuras 3.49 a 3.54 se observa que la concentración de VOCs presenta su máximo valor a las 15:00 horas alcanzando un valor de 0,5 ppb. El máximo observado para VOCs no es coincidente con ninguno de los demás contaminantes objeto de estudio ni tampoco con los contaminantes medidos adicionalmente como CO, SO₂ y O₃

La figura 3.55 muestra el gráfico polar obtenido para el período de 13 – 23 de noviembre de 2017 en Puerto Ventanas, este gráfico fue obtenido utilizando la herramienta “Open Air Project” y

permite relacionar las concentraciones promedio de VOCs en función de la velocidad y dirección de vientos, para así establecer su procedencia.

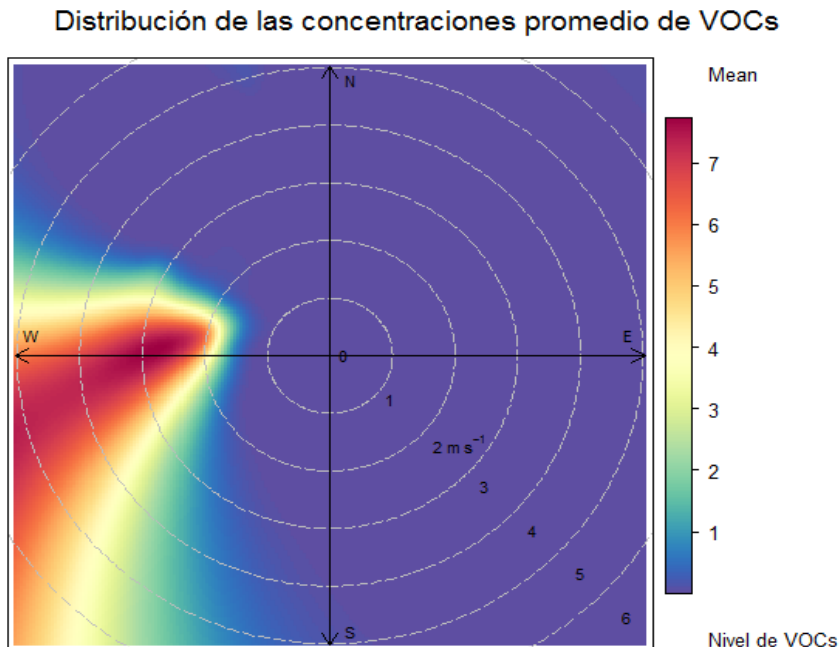


Figura 3.55. Gráfico polar de distribución de concentraciones promedio de VOCs en función del viento, Puerto Ventanas 13 – 23 de noviembre de 2017.

En la figura 3.55 se observa que las mayores concentraciones promedio de VOCs en Puerto Ventanas (~8 ppb) provienen del Oeste y Sur-Oeste a velocidades de viento entre 2 y 6 m/s. Hacia el Oeste se encuentra el Muelle de Puerto Ventanas, por lo que la concentración de VOCs observada puede ser atribuible a las actividades propias de Puerto Ventanas como por ejemplo la circulación de vehículos por el muelle. Cabe destacar que las concentraciones promedio máximas (aproximadamente 8 ppb) observadas en Puerto Ventanas son menores a las registradas en Gasmar la cual bordea los 60 ppb. Para establecer si estas diferencias son o no significativas, los resultados obtenidos fueron sometidos a diversos análisis estadísticos cuyos resultados se muestran mas adelante.

3.6 Oxiquim

Posterior a Puerto Ventanas, se realizó el monitoreo en instalaciones de Oxiquim (figura 3.56), donde se tomo mediciones durante el período comprendido entre el 24 de noviembre y 1 de diciembre de 2017. Cabe destacar que se decidió monitorear Oxiquim debido a que junto con Gasmar, son las únicas plantas industriales del sector que realizan odorificación de gas utilizando mercaptanos.



Figura 3.56. Ubicación de estación de monitoreo en Oxiquim y rosa de vientos período 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017

Como se aprecia en la figura 3.56, los vientos predominantes durante el periodo de monitoreo (24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017) provinieron del Nor-Oeste y Sur-Oeste, con una pequeña componente también proveniente del Nor-Este. Al Nor Oeste del sitio de monitoreo se encuentra el muelle del terminal marítimo de Oxiquim, mientras que al Sur-Oeste del punto de monitoreo se encuentra la planta de Oxiquim que incluye la zona de odorificación de gas.

La figura 3.57 muestra la concentración promedio horaria de VOCs observada en Oxiquim durante el periodo de monitoreo, allí se observa un máximo de concentración el día 25 de noviembre que alcanza los 4 ppb, durante ese día el viento predominante vino del Oeste (muelle de Oxiquim) y con una pequeña componente del Sur-Oeste, dirección en donde se encuentra la planta industrial de Oxiquim. Es importante destacar el máximo de concentración horaria observado es menor a los observados en Gasmar y Quintero, sin embargo, para establecer si estas diferencias son estadísticamente significativas, los resultados obtenidos fueron sometidos a pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas cuyos resultados se observan mas adelante en el informe.

Las figuras 3.58 y 3.59 presentan las concentraciones promedio horarias de CH₄ e NMHCs, no se detectó NH₃ durante el periodo de monitoreo en Oxiquim.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIO VOCs, OXIQUIM

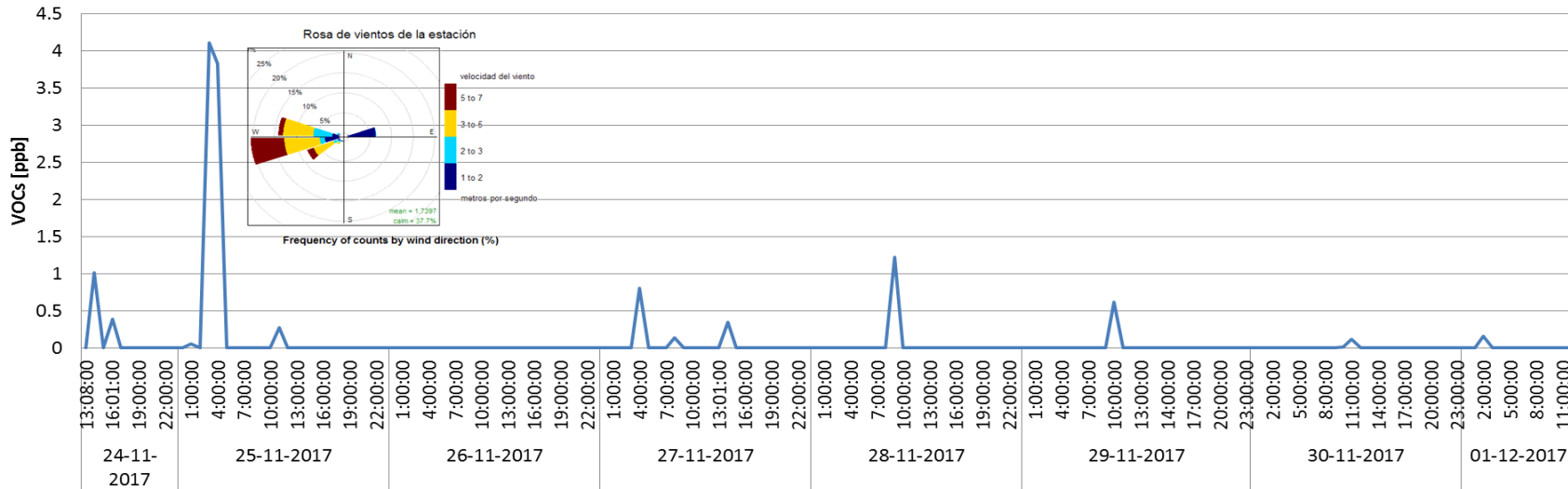


Figura 3.57. Concentración promedio horaria de VOCs, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIO CH4, OXIQUIM

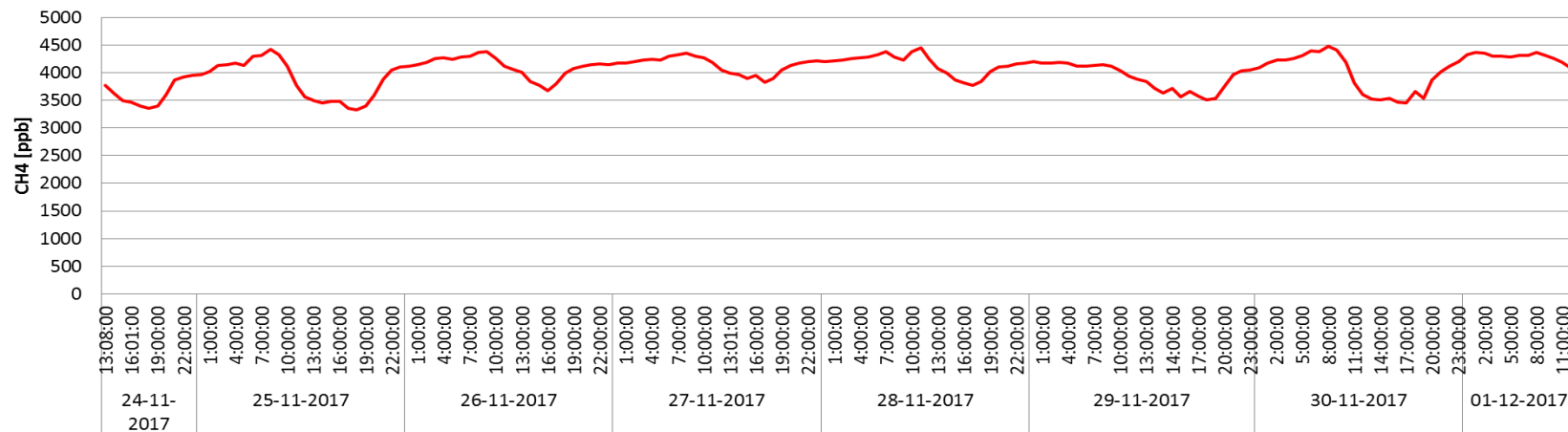


Figura 3.58. Concentración promedio horaria de CH4, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIO NMHC, OXIQUIM

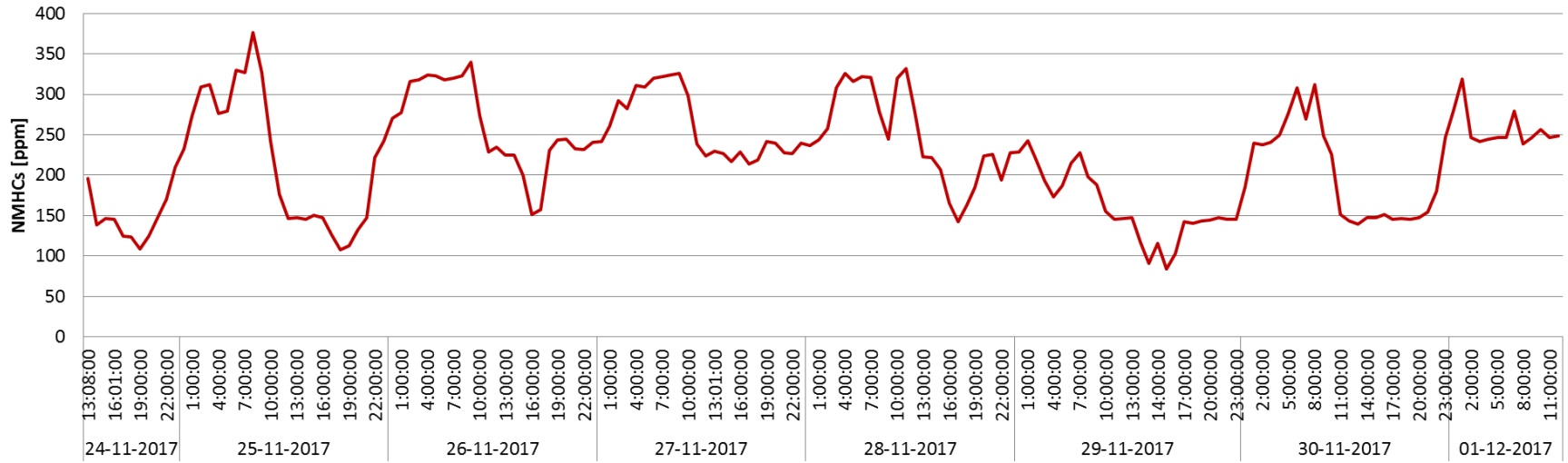


Figura 3.59. Concentración promedio horaria de NMHCs, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

Como se observa en la figura 3.58, la concentración de CH₄ presenta un comportamiento cíclico oscilando entre 3400 y 4500 ppb durante todo el período de monitoreo, por su parte los NMHCs también presentan un comportamiento cíclico variando entre 110 y 370 ppm.

En las figuras 3.60 a la 3.63 se observa el día promedio para todos los contaminantes medidos, este análisis se realizó promediando las concentraciones de horarios similares para todos los días de monitoreo.

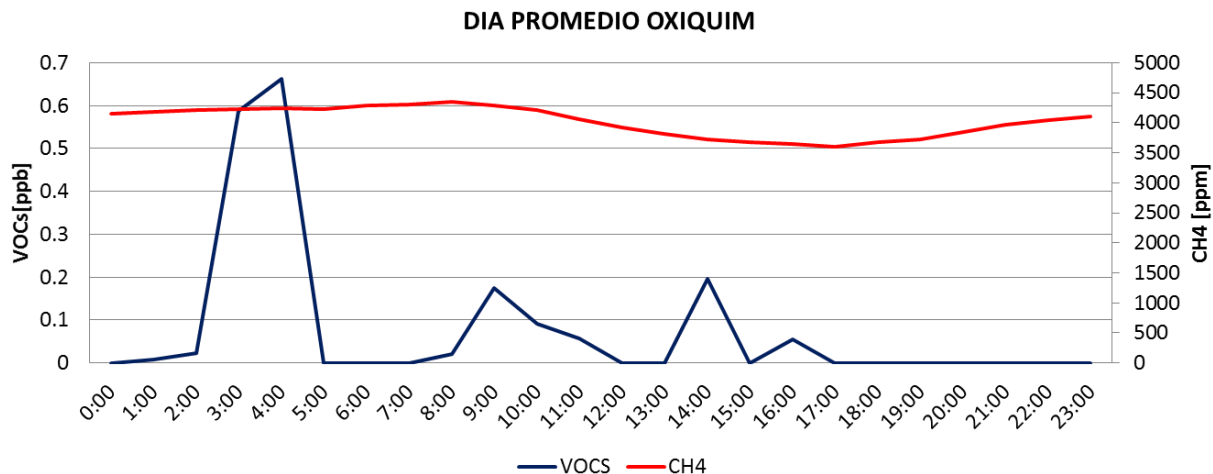


Figura 3.60. Día promedio de VOCs en comparación con CH₄, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

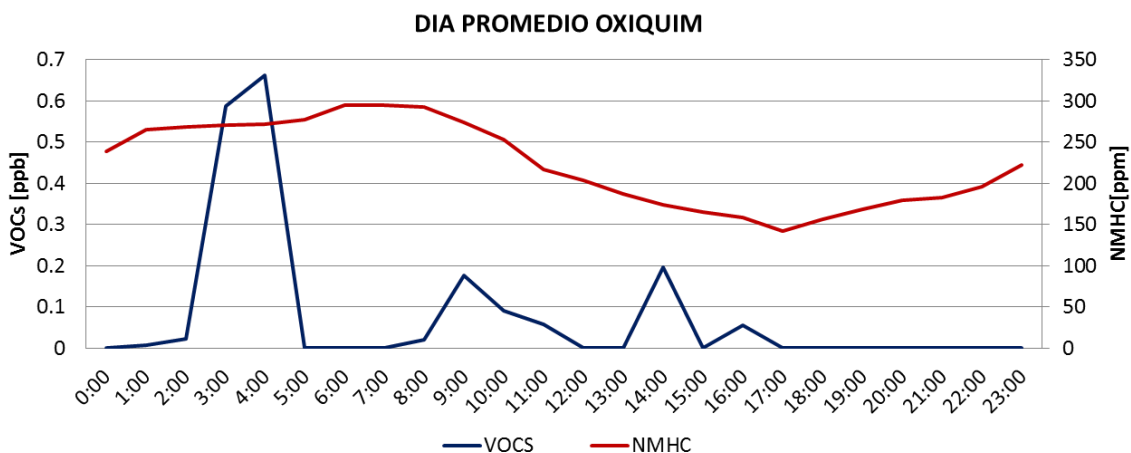


Figura 3.61. Día promedio de VOCs en comparación con NMHCs, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

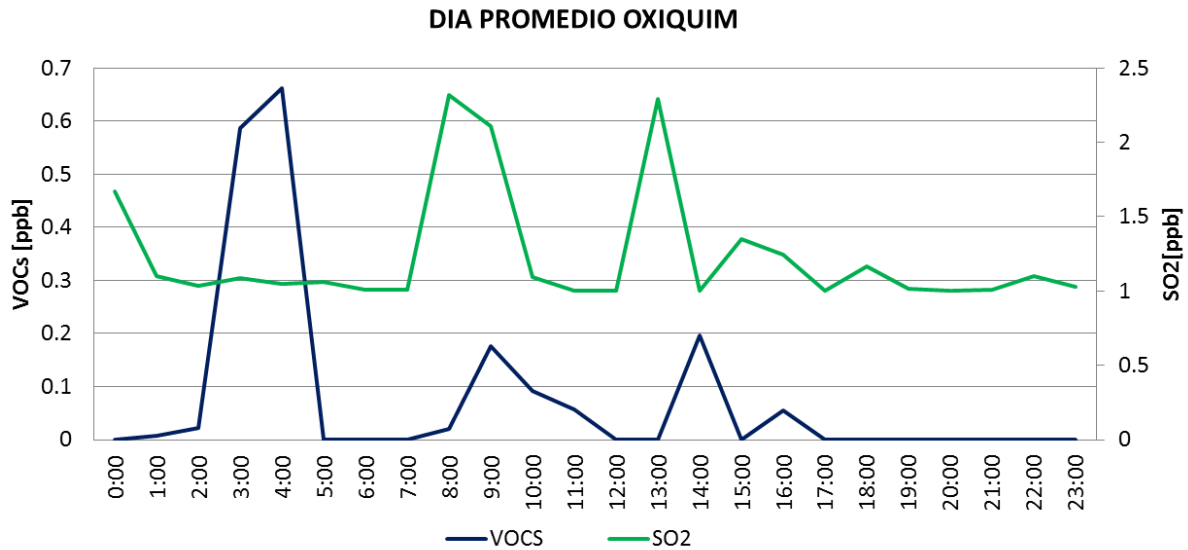


Figura 3.62. Día promedio de VOCs en comparación con SO₂, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

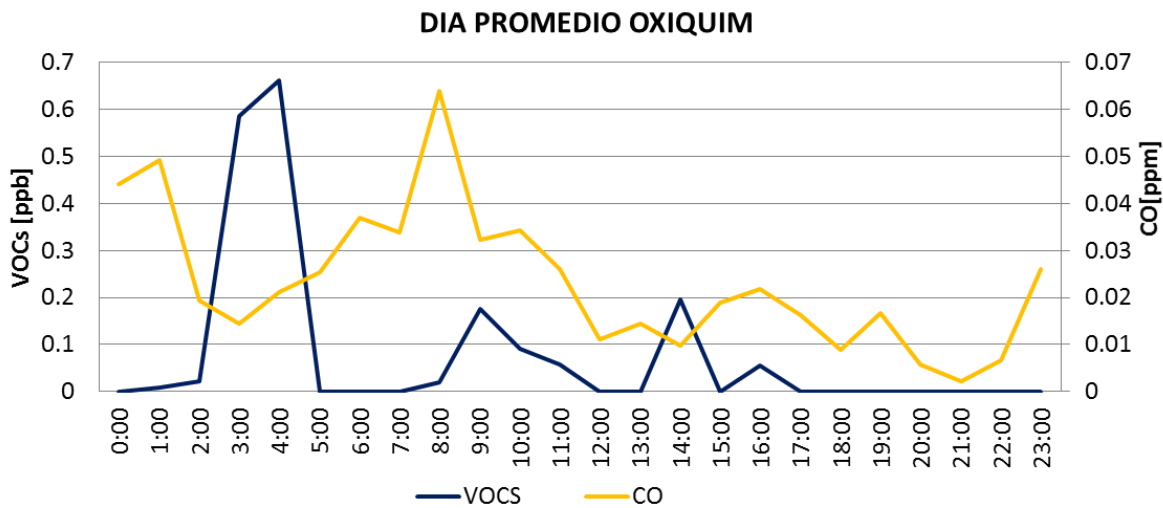


Figura 3.63. Día promedio de VOCs en comparación con CO, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

En las figuras 3.60 a 3.63 se observa que la concentración de VOCs presenta su máximo valor a las 04:00 horas alcanzando un valor de 0,7 ppb. El máximo observado para VOCs no es coincidente con ninguno de los demás contaminantes objeto de estudio ni tampoco con los contaminantes medidos adicionalmente como CO y SO₂.

La figura 3.64 muestra el gráfico polar obtenido para el período 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017 en Oxiquim, este gráfico fue obtenido utilizando la herramienta “Open Air Project” y permite relacionar las concentraciones promedio de VOCs en función de la velocidad y dirección de vientos, para así establecer su procedencia.

Distribución de las concentraciones promedio de VOCs

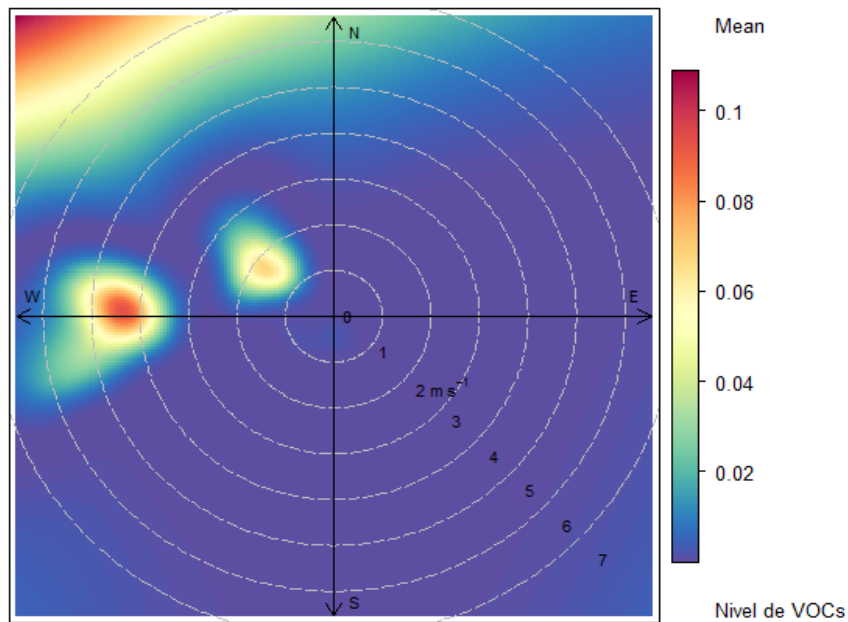


Figura 3.64. Gráfico polar de distribución de concentraciones promedio de VOCs en función del viento, Oxiquim 24 de noviembre – 1 de diciembre de 2017.

En la figura 3.64 se observa que las mayores concentraciones promedio de VOCs en Oxiquim (~0,1 ppb) provienen del Oeste y Nor-Oeste a velocidades de viento entre 4 y 7 m/s. Hacia el Oeste se encuentra el mar y hacia el Nor-Oeste el Muelle de Oxiquim, por lo que la concentración de VOCs observada puede ser atribuible a las actividades propias del muelle como por ejemplo la recalada de buques. Cabe destacar que las concentraciones promedio máximas (aproximadamente 0,1 ppb) observadas en Oxiquim son menores a las registradas en Gasmar la cual bordea los 60 ppb. Para establecer si estas diferencias son o no significativas, los resultados obtenidos fueron sometidos a diversos análisis estadísticos cuyos resultados se muestran mas adelante.

3.7 COMPARACIONES ENTRE SITIOS DE MONITOREO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

La figura 3.65 muestra una comparación de la concentración promedio período de VOCs para cada estación de monitoreo estudiada

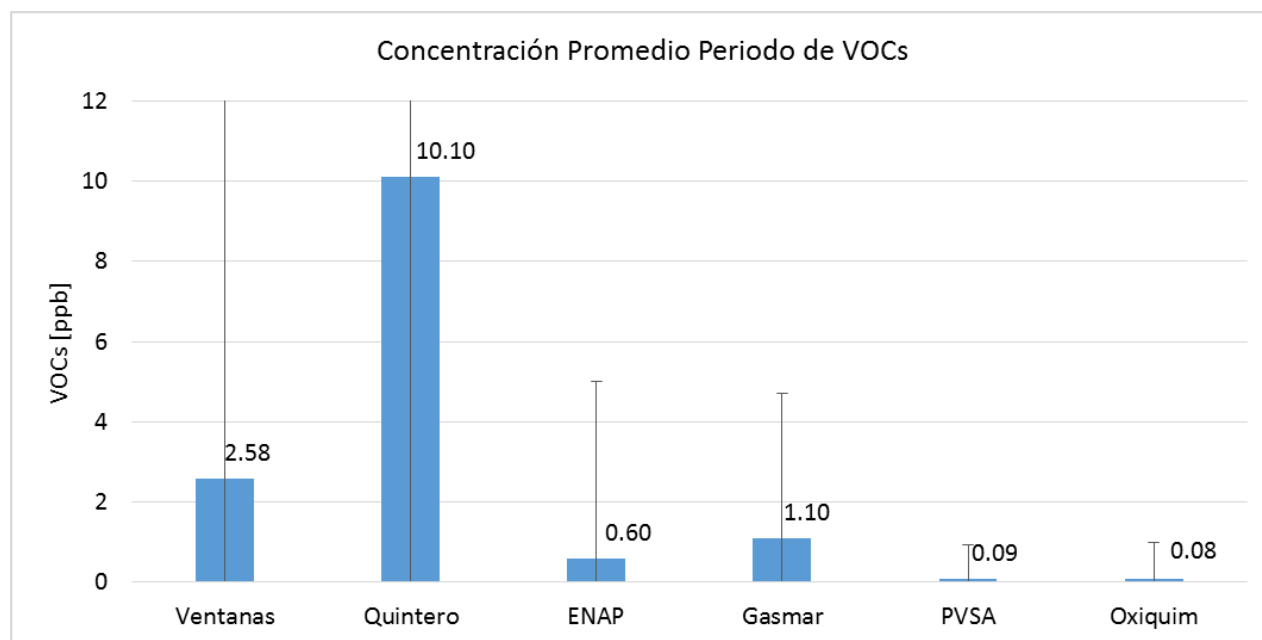


Figura 3.65. Concentración promedio período de VOCs para todas las estaciones de monitoreo estudiadas.

Como se observa en la figura 3.65, la mayor concentración promedio período de VOCs se observó en Quintero (Colegio Santa Filomena), seguida de Ventanas (Complejo Educacional Sargento Aldea), Gasmar, ENAP, Puerto Ventanas y Oxiquim. Para corroborar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas, los resultados obtenidos fueron sometidos a un ensayo estadístico de rangos múltiples cuyos resultados se observan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Prueba estadística de Rangos Múltiples para concentración de VOCs

Method: 95.0 percent LSD

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
VOCs Oxiquim	9602	0.0677928	X
VOCs PVSA	6039	0.0915035	X
VOCs Ventanas	22642	0.174023	X
VOCs ENAP	23674	0.598007	XX
VOCs Gasmar	12586	1.0921	X
VOCs Quintero	62828	9.68621	X

El test de rangos múltiples de la tabla 3.2 es un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué medias son significativamente diferentes de las otras con un nivel de confianza del 95.0%. Se identifican 3 grupos homogéneos usando columnas de X. Dentro de cada columna,

los niveles que contienen X forman un grupo de medias dentro del cual no hay diferencias estadísticamente significativas. El método que se usa actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Por lo tanto de la tabla se puede deducir que la concentración de VOCs observada en Quintero es significativamente distinta y mayor al resto de las estaciones estudiadas, seguida de Gasmar que es significativamente distinta y mayor que Ventanas, Puerto Ventanas y Oxiquim. Por último, ENAP no presenta diferencias estadísticamente significativas con Gasmar, Ventanas, Puerto Ventanas ni Oxiquim. De lo anterior se deduce entonces que el sitio mayormente afectado por VOCs corresponde a Quintero, convirtiéndolo en un sitio receptor por lo que se recomienda establecer un monitoreo permanente.

Una herramienta estadística multivariada de utilidad para establecer asociación entre sitios donde se mide un determinado contaminante atmosférico es el análisis factorial, esta herramienta permite formar grupos de características similares lo que se interpreta, por ejemplo, para un contaminante en específico como que su fuente de origen es similar en caso de ser asociados por este análisis. Por lo tanto para establecer el origen de la contaminación por VOCs observada en Quintero, los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis factorial cuyos resultados se observan en la figura 3.66.

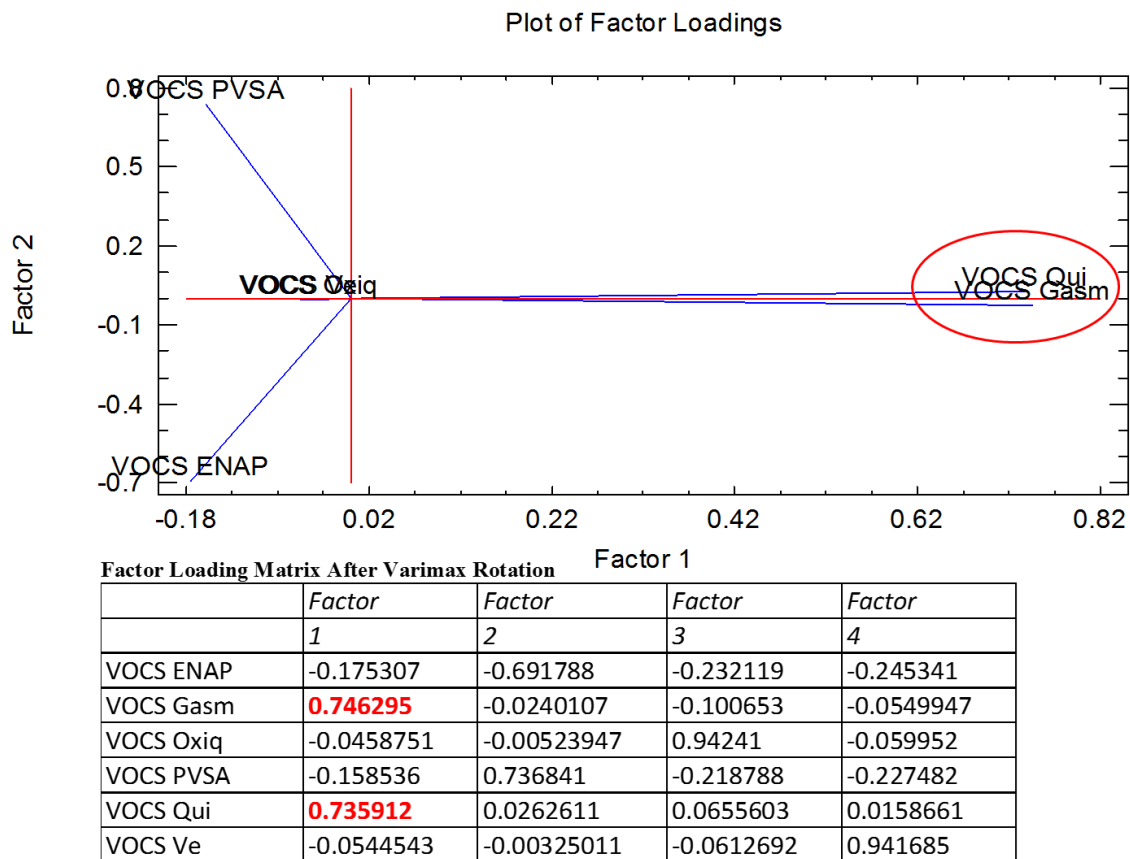


Figura 3.66. Análisis Factorial de concentración de VOCs en las estaciones estudiadas.

Este procedimiento realiza un análisis de factores. El objetivo del análisis es obtener un pequeño número de factores que representen la mayor parte de la variabilidad en las 6 estaciones de

monitoreo estudiadas. En este caso, se han extraído 4 factores, ya que 4 factores tenían valores propios mayores o iguales a 1.0. Juntos representan el 69.9319% de la variabilidad en los datos originales. Como ha seleccionado el método de componentes principales, las estimaciones iniciales de comunidad se han establecido para suponer que toda la variabilidad en los datos se debe a factores comunes. Esto significa que hay un factor que contiene las concentraciones de VOCs observadas en Gasmar y Quintero (Colegio Santa Filomena), con lo cual se podría asumir que poseen origen común, siendo lo más probable (95% de probabilidad) que la emisiones de VOCs de Gasmar estén afectando a Quintero que debiera ser considerado sitio receptor. Por otro lado los VOCs medidos en Puerto Ventanas y ENAP no se asocian con ninguna otra estación de monitoreo lo que indicaría fuentes locales. Por último se observa un factor que agrupa a Ventanas y Oxiquim, pero la probabilidad de origen común es muy baja debido al bajo valor de "Factor Loadings" que se observa en el factor de la tabla de la figura 3.66, presumiblemente debido a los bajos niveles de concentración observados en ambos sitios. La figura 3.67 muestra una comparación de la concentración promedio período de NMHCs para cada estación de monitoreo estudiada.

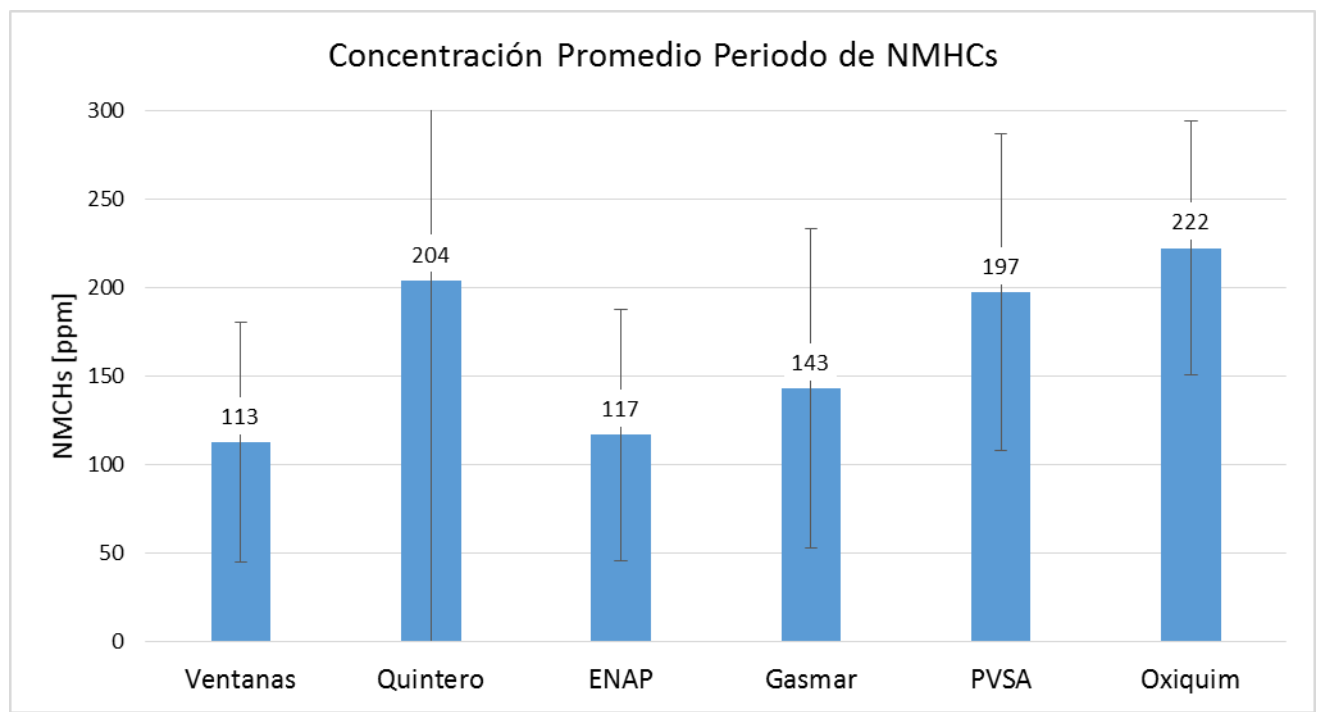


Figura 3.67. Concentración promedio período de NMHCs para todas las estaciones de monitoreo estudiadas.

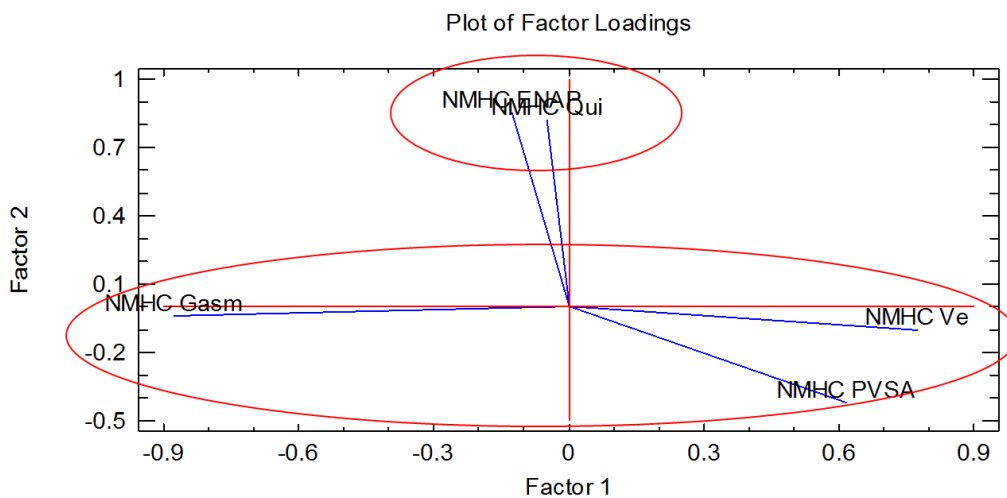
Como se observa en la figura 3.67, la mayor concentración promedio período de NMHCs se observó en Oxiquim, seguido de Quintero, Puerto Ventanas, Gasmar, ENAP y Ventanas, sin embargo, para establecer si las diferencias observadas son estadísticamente significativas, los resultados fueron sometidos a un test estadístico de rangos múltiples (tabla 3.3)

Tabla 3.3. Prueba estadística de Rangos Múltiples para concentración de NMHCs
Method: 95.0 percent LSD

	Count	Mean	Homogeneous Groups
NMHC Ventanas	22642	113.033	X
NMHC ENAP	23674	116.563	X
NMHC Gasmar	12586	142.877	X
NMHC Quintero	57800	193.672	X
NMHC PVSA	6039	196.936	X
NMHC Oxiquim	9602	223.527	X

De la tabla se desprende que la concentración de NMHCs observada en Oxiquim es significativamente distinta y mayor que el resto de las estaciones estudiadas, seguida de Quintero y Puerto Ventanas que no presentaron diferencias significativas entre sí. En tercer lugar en orden decreciente se encuentra Gasmar seguido de ENAP y Ventanas que presentaron las menores concentraciones de las estaciones de monitoreo estudiadas.

Para establecer asociaciones que intenten establecer el origen de la contaminación por NMHCs se realizó un análisis factorial que se observa en la figura 3.68.



Factor Loading Matrix After Varimax Rotation

	Factor 1	Factor 2
NMHC ENAP	-0.124857	0.851777
NMHC Gasm	-0.877206	-0.0379353
NMHC PVSA	0.617374	-0.423408
NMHC Qui	-0.0489378	0.821696
NMHC Ve	0.774489	-0.104244

Figura 3.68. Análisis Factorial de concentración de NMHCs en las estaciones estudiadas.

De la figura 3.68 se desprende que se forman 2 grupos o factores que explican el 67,21% de la variabilidad total de los datos, el primer factor asocia a los NMHCs de Gasmar, Puerto Ventanas y Ventanas, indicando que su origen es común si poder determinar específicamente cual es. El segundo factor asocia a ENAP Terminal Quintero con Quintero, indicando que el origen de los NMHCs es común. Sin embargo, a la luz de los análisis de vientos predominantes en la zona,

para obtener conclusiones definitivas al respecto se deberían hacer análisis de especiación química con el objetivo de encontrar NMHCs trazadores.

La figura 3.69 muestra la concentración promedio periodo de CH₄ para todas las estaciones de monitoreo estudiadas.

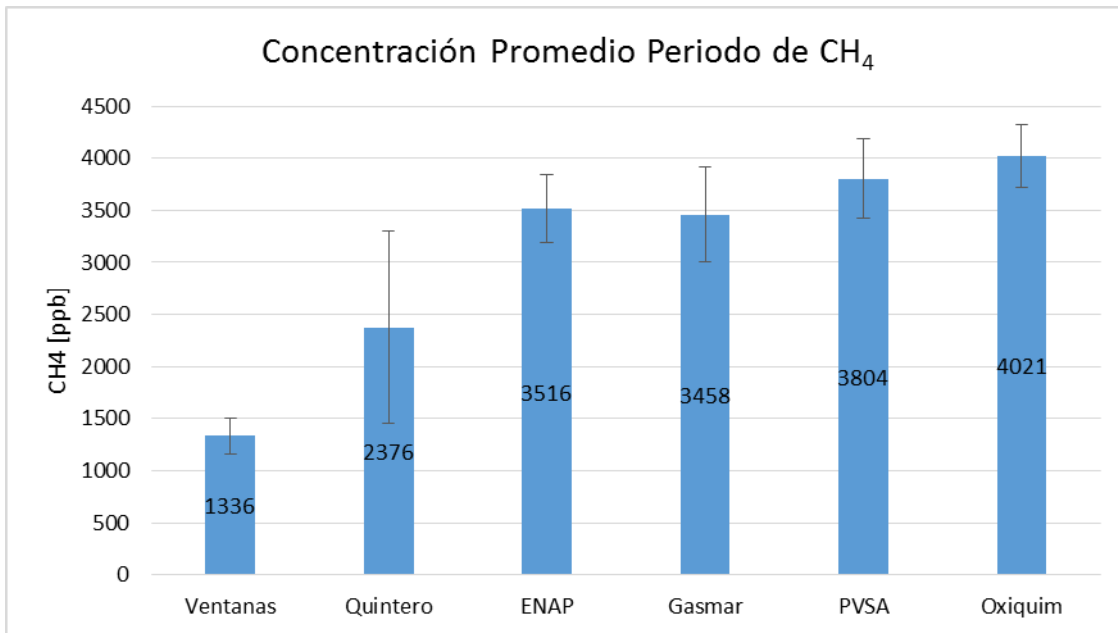


Figura 3.69 concentración promedio de CH₄ para las estaciones de monitoreo estudiadas.

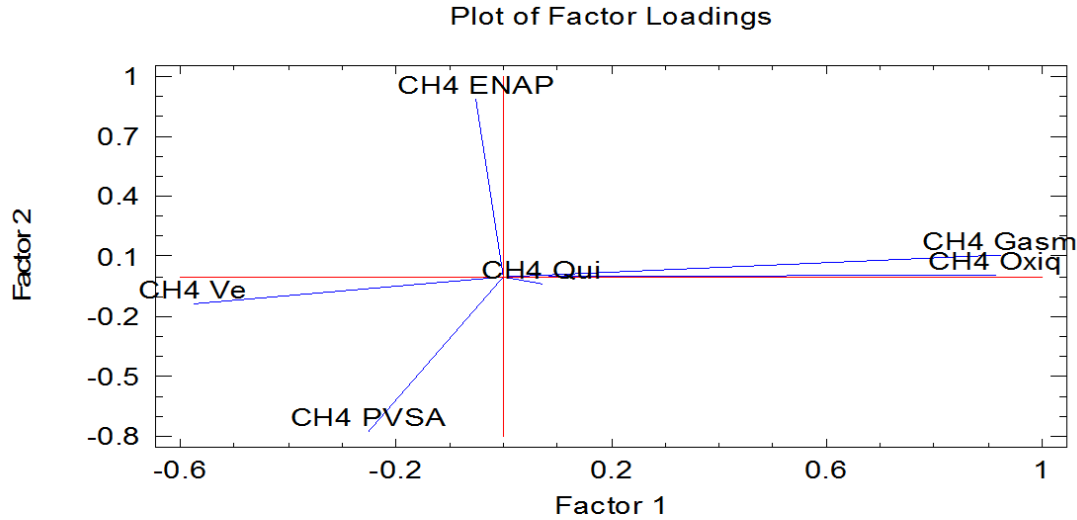
Como se observa en la figura 3.69 la mayor concentración promedio de CH₄ se observó en Oxiquim, seguido de Puerto Ventanas, ENAP, Gasmar, Quintero y Ventanas. Se sometieron los datos a un test estadístico de rangos múltiples para establecer si las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

Tabla 3.4 Prueba estadística de Rangos Múltiples para concentración de CH₄

Method: 95.0 percent LSD

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
CH ₄ Ventanas	22642	1337.28	X
CH ₄ Quintero	57800	2290.37	X
CH ₄ Gasmar	12586	3456.03	X
CH ₄ ENAP	23674	3516.1	X
CH ₄ PVSA	6039	3803.82	X
CH ₄ Oxiquim	9602	4024.91	X

De la tabla 3.4 se desprende que la concentración de CH₄ observada en Oxiquim es significativamente mayor que Puerto Ventanas, seguido de ENAP, Gasmar, Quintero y Ventanas. Para establecer asociaciones que intenten establecer el origen de la contaminación por CH₄ se realizó un análisis factorial, el cual se observa en la figura 3.70.



Factor Loading Matrix Before Rotation

	<i>Factor</i>	<i>Factor</i>	<i>Factor</i>
	1	2	3
CH4 ENAP	0.302386	-0.732673	0.44528
CH4 Gasm	0.859928	0.102886	-0.37594
CH4 Oxiq	0.872576	0.307614	-0.0996787
CH4 PVSA	-0.462933	0.713939	0.0888863
CH4 Qui	0.205208	0.369964	0.776264
CH4 Ve	-0.646415	-0.184472	-0.243597

Figura 3.70. Análisis Factorial de concentración de CH₄ en las estaciones estudiadas.

De la figura 3.70 se desprende que la concentración de Metano se asocia en 3 factores que explican el 76.8% de la variabilidad total de los datos, el primer factor asocia a Gasmar con Oxiquim, empresas que son contiguas y que por sus procesos no emiten Metano. El segundo factor asocia ENAP con puerto Ventanas y el tercer factor contiene a Quintero.

La figura 3.71 muestra la concentración promedio periodo de CH₄ para todas las estaciones de monitoreo estudiadas.

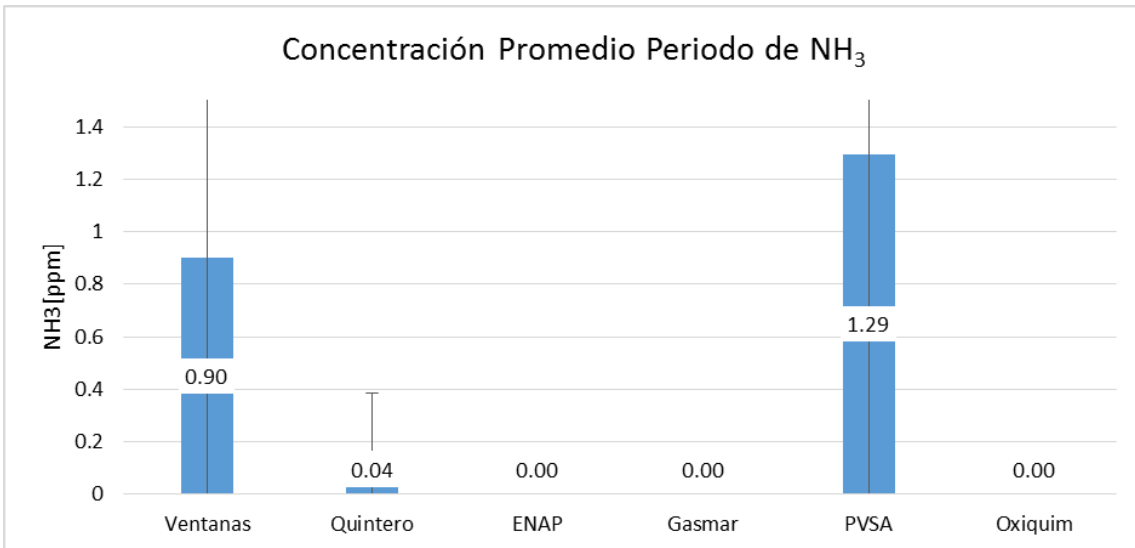


Figura 3.71 concentración promedio de NH₃ para las estaciones de monitoreo estudiadas.

Como se observa en la figura 3.71, la mayor concentración de NH₃ se observó en Puerto Ventanas, seguido de Ventanas y Quintero. Para establecer si las diferencias observadas son estadísticamente significativas, se sometieron los resultados a un test de rangos múltiples cuyos resultados se observan en la tabla 3.5.

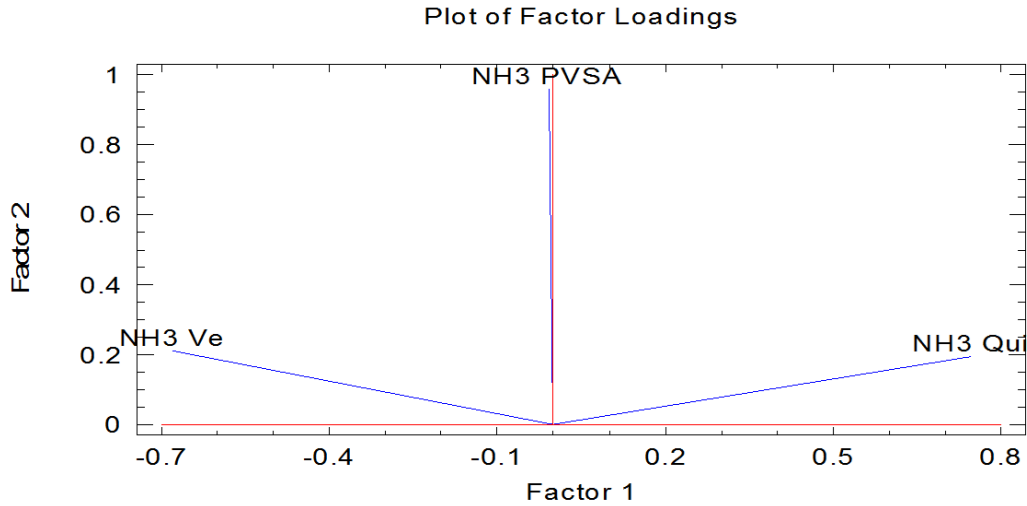
Tabla 3.5 Prueba estadística de Rangos Múltiples para concentración de NH₃

Method: 95.0 percent LSD

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
NH ₃ Gasmar	12586	0.0001	X
NH ₃ ENAP	23674	0.0001	X
NH ₃ Oxiquim	9602	0.000735263	X
NH ₃ Quintero	57800	0.0413515	X
NH ₃ Ventanas	22642	0.911493	X
NH ₃ PVSA	6039	1.29456	X

De la tabla 3.5 se desprende que Puerto Ventanas y Ventanas presentaron concentraciones de NH₃ estadísticamente distintas y mayores que el resto de las estaciones estudiadas.

Para establecer asociaciones que intenten establecer el origen de la contaminación por NH₃ se realizó un análisis factorial, el cual se observa en la figura 3.72.



Factor Loading Matrix After Varimax Rotation

	<i>Factor</i>	<i>Factor</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
NH3 Ve	-0.679895	0.210027
NH3 Qui	0.745865	0.194171
NH3 PVSA	-0.00864567	0.959127

Figura 3.72. Análisis Factorial de concentración de NH₃ en las estaciones estudiadas.

En la figura 3.72 se observa que los datos se agrupan en 2 factores que explican el 67,3% de la variabilidad total, el primer factor agrupa Ventanas y Quintero, y el segundo a Puerto Ventanas, por lo tanto con los datos obtenidos no es posible establecer el origen del NH₃ observado.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el presente estudio se logró monitorear la concentración de VOCs, CH₄, NH₃ y NMHCs en distintos puntos de la bahía de Quintero, con miras a tratar de dilucidar el origen de los eventos de malos olores que han afectado a la población en el último tiempo, pudiendo captar algunos eventos menores asociados aparentemente a malos olores, según la opinión de la población, identificados en nuestros instrumentos como aumentos significativos de algunos de los contaminantes medidos, en especial VOCs totales, CH₄ Y NMHCs.

Independientemente de lo anterior, los resultados obtenidos y posterior análisis de datos permiten obtener las siguientes conclusiones:

- El Colegio Santa Filomena de Quintero es el sitio que presentó mayores concentraciones de VOCs, esto junto con los análisis de vientos permiten definir a este sitio como receptor de VOCs, por lo que se recomienda su monitoreo permanente. Las concentraciones de VOCs medidas en los sitios supuestamente de emisión son menores a Quintero debido a que los monitoreos no fueron realizados en forma simultánea y paralela entre el sitio emisor y el sitio receptor por disponer de sólo una estación de monitoreo.
- El monitoreo realizado no permite identificar los compuestos específicos que generan los denominados malos olores, frecuentemente indentificados como “olor a gas”, el cual es reconocido de esta forma en los eventos ocurridos en la zona de estudio. Muy probablemente y según los antecedentes que se pudieron recopilar durante las visitas industriales a los lugares de muestreo de la zona de estudio, este olor debería corresponder en primera instancia a mercaptano, compuesto perteneciente a la familia de los VOCs, usado como odorificante para hacer perceptible mediante el olfato y por seguridad, la presencia de productos inodoros como gnl y otros combustibles gaseosos, los cuales son procesados en el sector industrial. A pesar de lo anterior, no se descarta la presencia de otros VOCs involucrados en los eventos de olores de la zona. Por lo tanto se recomienda realizar un monitoreo mucho más específico que incluya especiación química, el cual esté focalizado adicionalmente a la detección y cuantificación de mercaptanos en aire, para así ser usados como trazadores de las industrias que utilizan estos compuestos en sus procesos de odorificación, para posteriormente realizando un estudio de VOCs indentificar a los responsables de las emisiones en los eventos de olores de la zona.
- El análisis de vientos y concentraciones de VOCs realizado en la planta de Gasmar permitió establecer como fuente importante de estos VOCs aquellas emisiones asociadas a su planta de odorificación de gas.
- El análisis factorial realizado permitió asociar las concentraciones de VOCs observadas en Quintero con las aquellas observadas en Gasmar, indicando que su origen, muy probablemente, podría ser común. Esto implicaría que Quintero se encontraría afectado, muy probablemente por las emisiones de VOCs provenientes de Gasmar.