

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL Y MODELACIÓN DE  
LOS NIVELES DE SULFURO DE HIDRÓGENO, AMONIACO Y  
DIÓXIDO DE AZUFRE EN LOS EJIDOS ALEDAÑOS A LA PLANTA  
GEOTÉRMICA DE CERRO PRIETO, MEXICALI, B.C., MÉXICO

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA

**I.Q. LIZETH CAROLINA AGUILAR DODIER**

TIJUANA, B.C.

MAYO 2015

**Universidad Autónoma de Baja California**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**  
**COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FOLIO No. 141

Tijuana, B. C., a 19 de mayo de 2015

C. Lizeth Carolina Aguilar Dodier  
Pasante de: Maestro en Ciencias  
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la  
Opción TESIS

Es propuesto, por el C. Dr. Javier Emmanuel Castillo Quiñones

Quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente,  
referido al tema: “EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL Y MODELACIÓN DE LOS  
NIVELES DE SULFURO DE HIDROGENO, AMONIACO Y DIÓXIDO DE AZUFRE EN  
LOS EJIDOS ALEDAÑOS A LA PLANTA GEOTÉRMICA DE CERRO PRIETO.  
MEXICALI, B. C., MÉXICO”


el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- MARCO TEÓRICO
- III.- SITIO DE ESTUDIO
- IV.- PARTE EXPERIMENTAL
- V.- RESULTADOS Y DISCUSIONES
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- BIBLIOGRAFÍA

  
\_\_\_\_\_  
Q. Noemi Hernández Hernández  
**Secretario**



FACULTAD DE CIENCIAS  
QUÍMICAS E INGENIERÍA

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Javier Emmanuel Castillo Quiñones  
**Director de Tesis**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Enrique Palafox Maestre  
**Director**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mi director de tesis Dr. José Guillermo Rodríguez Ventura (Q.E.P.D.), por todas las enseñanzas y consejos en la realización de este proyecto. Por ser una guía y ejemplo a seguir en mi desarrollo profesional.

A mi amado esposo David Galante Prieto por ser mi apoyo incondicional en todo momento y ante cualquier situación, por acompañarme en el desarrollo de este proyecto y por hacerme sonreír en los momentos más críticos y estresantes.

A mis padres Leonor Angélica Dodier Acosta y José Alfredo Aguilar Soto, por todo el amor, sacrificio, esperanza y comprensión depositada en mí.

A Génesis Iliana Karina Gámez Meza y a José Alfredo Aguilar Dodier, por su valiosa ayuda incondicional en mis actividades rutinarias, la cual hizo más ameno el desarrollo del proyecto.

A mi abuelo Aristeo Dodier Contreras y mi abuela Rosa María Soto Meza (Q.E.P.D.), por ser mi fortaleza para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme estar con vida para poder presentar este proyecto.

A mi asesor Dr. José Guillermo Rodríguez Ventura (Q.E.P.D.) por su valiosa ayuda y disposición para resolver las dudas que presenté este proyecto. Por ser una guía en mi camino profesional y por sus valiosos consejos y oportunidades brindadas incondicionalmente. Muchas gracias por todo, este proyecto es por usted, mi gran maestro.

A mi esposo por su gran apoyo incondicional y paciencia.

A mi familia por todo el amor y comprensión que me han brindado en mi trayecto profesional.

A la Dra. Jenny Quintana por confiar en este proyecto ajeno a su país y proporcionarme ideas y recursos para hacer posible esta investigación.

A la Dra. Luisa Tan Molina por apoyar y mostrar un gran interés en este proyecto.

Al Dr. Miguel Zavala por transmitirme un poco de su conocimiento que sin duda alguna ayudaron a resolver los problemas presentados durante el desarrollo del proyecto.

A mis compañeros de posgrado por sus consejos y los buenos momentos que pasamos juntos, los cuales me hicieron ver que aun en situaciones difíciles se puede sonreír.

A la Universidad Autónoma de Baja California por los recursos económicos otorgados, sin los cuales el objetivo del proyecto no se hubiera cumplido.

A CONACYT por los recursos económicos otorgados para esta proyecto de investigación.

A los honorables miembros del comité de tesis por sus aportaciones en la revisión del trabajo final.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1. Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) y sus efectos en la salud .....	8
2.2. Estudios de H <sub>2</sub> S en zonas geotérmicas.....	11
2.2.1. Estudios regionales.....	11
2.3. Amoniacó (NH <sub>3</sub> ) y sus efectos en la salud .....	13
2.4. Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) y sus efectos en la salud .....	15
2.5. Modelos de dispersión de contaminantes .....	18
<b>3. SITIO DE ESTUDIO .....</b>	<b>27</b>
3.1. La región de Cerro Prieto .....	27
3.2. La planta geotérmica de Cerro Prieto.....	28
3.3. Proceso de generación de energía eléctrica en la planta geotérmica de Cerro Prieto.....	29
3.4. Estimación de las emisiones de H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> del campo geotérmico Cerro Prieto, Mexicali.....	31
3.5. Descripción de los sitios de muestreo de H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> y SO <sub>2</sub> .....	33
3.6. Meteorología en la región de Cerro Prieto .....	34
3.6.1. Temperatura .....	34

3.6.2. Humedad Relativa .....	34
3.6.3. Vientos.....	34
3.6.4. Estabilidad atmosférica.....	35
<b>4. PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>38</b>
4.1. Materiales, equipos y reactivos para el análisis de H <sub>2</sub> S .....	38
4.2. Muestreo y cuantificación de H <sub>2</sub> S.....	39
4.2.2. Muestreo y análisis cuantitativo de H <sub>2</sub> S .....	42
4.3. Materiales, equipos y reactivos para el análisis de SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> .....	44
4.4. Muestreo y cuantificación de SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> .....	44
4.4.1. Principio de un cartucho de adsorción pasiva marca Ogawa.....	44
4.4.2. Muestreo y análisis cuantitativo de SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> .....	45
4.5. Cálculo del índice ambiental.....	49
4.6. Modelado a escala local de H <sub>2</sub> S a través del software AERMOD.....	50
4.7. Modelado a escala regional de H <sub>2</sub> S a través del software Hysplit.....	51
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>54</b>
5.1. Variación espacial y temporal de H <sub>2</sub> S.....	54
5.2. Variación espacial y temporal de SO <sub>2</sub> .....	72
5.2.2. Variación espacial de SO <sub>2</sub> en el periodo primavera - verano 2014...	79
5.3. Variación espacial y temporal de NH <sub>3</sub> .....	89
5.4. Series de tiempo de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> por sitio .....	105
5.5. Análisis estadístico espacial y temporal de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> .....	108
5.6. Comparación estacional entre sitios de las concentraciones promedio de H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub> expresadas como S .....	113

5.7.	Evaluación espacial de los índices de calidad de aire de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub>	116
5.7.1.	Evaluación espacial del índice de calidad de aire de H <sub>2</sub> S.....	116
5.7.2.	Evaluación espacial del índice de calidad de aire de SO <sub>2</sub> .....	117
5.7.3.	Evaluación espacial del índice de calidad de aire de NH <sub>3</sub> .....	118
5.8.	Modelado local y regional de H <sub>2</sub> S en el campo geotérmico de Cerro Prieto.....	119
5.8.1.	Modelado a escala local de H <sub>2</sub> S a través del software AERMOD.....	119
5.8.2.	Modelado a escala regional de H <sub>2</sub> S a través del software Hysplit.....	123
5.8.2.1.	Modelos de dispersión de H <sub>2</sub> S del año 2012 .....	123
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>131</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>135</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 2.1.</b> Entrada de datos para un modelo de calidad de aire.	19
<b>Figura 2.2.</b> Representación esquemática de las coordenadas gaussianas.	21
<b>Figura 2.3.</b> Métodos de cálculos de advección y dispersión.	25
<b>Figura 3.1.</b> Localización de Cerro Prieto en la región noroeste de México.	27
<b>Figura 3.2.</b> Pozos geotérmicos de la planta geotérmica de Cerro Prieto.	29
<b>Figura 3.3.</b> Proceso de generación de energía eléctrica.	30
<b>Figura 3.4.</b> Sitios de muestreo alrededor de la planta geotérmica.	33
<b>Figura 3.5.</b> Rosa de los vientos de la región de Mexicali para el mes de a) enero, b) abril, c) julio y d) octubre 2005-2008. Fuente: Aeropuerto local, Windfinder.com.	35
<b>Figura 3.6.</b> Altura promedio mensual de la capa de mezcla en Mexicali.	36
<b>Figura 4.1.</b> Superficies difusora y adsorbente de un muestreador difuso.	39
<b>Figura 4.2.</b> Muestreador Radiello.	41
<b>Figura 4.3.</b> Formación de azul de metileno a partir de sulfuro de hidrógeno en contacto con la solución de cloruro férrico-amina.	42
<b>Figura 5.1.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto al tiempo del periodo otoño-invierno 2013.	55
<b>Figura 5.2.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H <sub>2</sub> S de otoño-invierno 2013.	56
<b>Figura 5.3.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto a la velocidad del viento del periodo otoño-invierno 2013.	58
<b>Figura 5.4.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto a la dirección del viento del periodo otoño-invierno 2013.	60
<b>Figura 5.5.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto a la temperatura del periodo otoño-invierno 2013.	62
<b>Figura 5.6.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto al tiempo del periodo primavera-verano 2014.	63
<b>Figura 5.7.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H <sub>2</sub> S de primavera-verano 2014.	64
<b>Figura 5.8.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto a la velocidad del viento del	66

periodo primavera-verano 2104.	
<b>Figura 5.9.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto a la dirección del viento del periodo primavera-verano 2014.	69
<b>Figura 5.10.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S con respecto a la temperatura del periodo primavera-verano 2014.	71
<b>Figura 5.11.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto al tiempo del periodo otoño-invierno 2013.	72
<b>Figura 5.12.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de SO <sub>2</sub> de otoño-invierno 2013.	73
<b>Figura 5.13.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto a la velocidad del viento del periodo otoño-invierno 2013.	75
<b>Figura 5.14.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto a la dirección del viento del periodo otoño-invierno 2013.	77
<b>Figura 5.15.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto a la temperatura del periodo otoño-invierno 2013.	78
<b>Figura 5.16.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto al tiempo del periodo primavera-verano 2014.	79
<b>Figura 5.17.</b> Gráfica de barra y bigotes de concentraciones de SO <sub>2</sub> de primavera-verano 2014.	80
<b>Figura 5.18.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto a la velocidad del viento del periodo primavera-verano 2104.	83
<b>Figura 5.19.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto a la dirección del viento del periodo primavera-verano 2104.	85
<b>Figura 5.20.</b> Concentración de SO <sub>2</sub> con respecto a la temperatura del periodo primavera-verano 2104.	88
<b>Figura 5.21.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto al tiempo del periodo otoño-invierno 2013.	89
<b>Figura 5.22.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de NH <sub>3</sub> de otoño-invierno 2013.	90
<b>Figura 5.23.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto a la velocidad del viento del periodo otoño-invierno 2013.	92
<b>Figura 5.24.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto a la dirección del viento del	94

periodo otoño-invierno 2013.	
<b>Figura 5.25.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto a la temperatura del periodo otoño-invierno 2013.	96
<b>Figura 5.26.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto al tiempo del periodo primavera-verano 2014.	97
<b>Figura 5.27.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de NH <sub>3</sub> de primavera-verano 2014.	98
<b>Figura 5.28.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto a la velocidad del viento del periodo primavera-verano 2014.	100
<b>Figura 5.29.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto a la dirección del viento del periodo primavera-verano 2014.	102
<b>Figura 5.30.</b> Concentración de NH <sub>3</sub> con respecto a la temperatura del periodo primavera-verano 2014.	104
<b>Figura 5.31.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> de los periodos otoño-invierno y primavera-verano en la Estación Delta.	105
<b>Figura 5.32.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> de los periodos otoño-invierno y primavera-verano en el Ejido Nuevo León.	106
<b>Figura 5.33.</b> Concentración de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> de los periodos otoño-invierno y primavera-verano en el Poblado El Chimi.	107
<b>Figura 5.34.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en la Estación Delta de los periodos otoño-invierno y primavera-verano.	108
<b>Figura 5.35.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León de los periodos Otoño-Invierno y Primavera-Verano.	110
<b>Figura 5.36.</b> Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en el Poblado El Chimi de los periodos Otoño-Invierno y Primavera-Verano.	112
<b>Figura 5.37.</b> Índice de calidad de aire en términos de H <sub>2</sub> S.	117
<b>Figura 5.38.</b> Índice de calidad de aire en términos de SO <sub>2</sub> .	118
<b>Figura 5.39.</b> Índice de calidad de aire en términos de NH <sub>3</sub> .	119
<b>Figura 5.40.</b> Modelo de dispersión de H <sub>2</sub> S correspondiente a la estación Otoño-Invierno (10/Dic/13 – 12/Dic/13).	120

<b>Figura 5.41.</b> Rosa de vientos representativa del periodo Otoño-Invierno.	121
<b>Figura 5.42.</b> Modelo de dispersión de H <sub>2</sub> S correspondiente a la estación Primavera-Verano (13/May/14 - 16/May/14).	122
<b>Figura 5.43.</b> Rosa de vientos representativa del periodo Primavera-Verano.	123
<b>Figura 5.44.</b> Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación invierno del periodo del 01/Ene/12 - 15/Ene/12.	124
<b>Figura 5.45.</b> Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación primavera del periodo del 01/Abr/12 - 15/Abr/12.	125
<b>Figura 5.46.</b> Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación verano del periodo del 01/Jul/12 - 15/Jul/12.	126
<b>Figura 5.47.</b> Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación otoño del periodo del 01/Oct/12 - 15/Oct/12.	127
<b>Figura 5.48.</b> Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación invierno del periodo del 01/Ene/13 - 15/Ene/13.	128
<b>Figura 5.49.</b> Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación primavera del periodo del 01/Abr/13 - 15/Abr/13.	129

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 2.1.</b> Solubilidad de H <sub>2</sub> S en agua.	08
<b>Tabla 2.2.</b> Efectos fisiológicos del H <sub>2</sub> S por exposición humana.	10
<b>Tabla 2.3.</b> Efectos de SO <sub>2</sub> a la salud.	17
<b>Tabla 2.4.</b> Concentraciones máximas en 24 h de SO <sub>2</sub> encontradas en Mexicali.	17
<b>Tabla 2.5.</b> Constantes para el cálculo de $\sigma_y$ y $\sigma_z$ .	22
<b>Tabla 2.6.</b> Condiciones metereológicas que definen la estabilidad de Pasquill.	23
<b>Tabla 3.1.</b> Parámetros de operación y dimensiones de las chimeneas de las centrales eléctricas en la planta geotérmica de Cerro Prieto.	28
<b>Tabla 3.2.</b> Características de los sitios de estudio.	33
<b>Tabla 3.3.</b> Valores promedio mensuales y anuales de la estación meteorológica de Cerro Prieto en el Ejido Hidalgo registrados de 1990 - 2005.	34
<b>Tabla 4.1.</b> Datos promedios de operación alimentados al software AERMOD.	51
<b>Tabla 5.1.</b> Estadística muestral de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en la Estación Delta durante el periodo otoño-invierno 2013.	109
<b>Tabla 5.2.</b> Estadística muestral de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en la Estación Delta durante el periodo primavera-verano 2014.	109
<b>Tabla 5.3.</b> Estadística muestral de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León durante el periodo otoño-invierno 2013.	110
<b>Tabla 5.4.</b> Estadística muestral de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León durante el periodo primavera-verano 2014.	111
<b>Tabla 5.5.</b> Estadística muestral de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en el Poblado El Chimi durante el periodo otoño-invierno 2013.	112
<b>Tabla 5.6.</b> Estadística muestral de H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> en el Poblado El Chimi durante el periodo primavera-verano 2014.	113
<b>Tabla 5.7.</b> Comparación estacional de las concentraciones promedio de H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub> expresadas como S en los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.	115

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación fue llevar a cabo un monitoreo de los niveles de concentración de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$  en las zonas aledañas al campo geotérmico de Cerro Prieto, Mexicali, B.C., México. Las concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$  se correlacionaron con la meteorología (velocidad y dirección del viento y temperatura) correspondiente para cada periodo de estudio. Además se obtuvieron los modelos de dispersión de  $\text{H}_2\text{S}$  locales y regionales a través de los programas AERMOD View Ver 6.2 y HYSPLIT4, respectivamente durante los periodos Otoño-Invierno de 2013 y Primavera-Verano de 2014. El muestreo de  $\text{H}_2\text{S}$  se llevó a cabo a través de la colocación de muestreadores de difusión pasiva marca Radiello en la Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi, los cuales se analizaron por espectrofotometría visible a partir del método de azul de metileno. El muestreo de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$  se llevó a cabo a través de la colocación de muestreadores de difusión marca Ogawa en la Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi los cuales se analizaron por espectrofotometría visible a través de los métodos de Sulfatos y Nitrógeno Amoniacal, respectivamente. Los resultados obtenidos mostraron que los sitios de estudio que se exponen a una alta concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  son la Estación Delta con valores de 172.6 y 257.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el periodo otoño-invierno 2013 y el Poblado El Chimi con un valor de 192.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el periodo primavera-verano 2014, sobrepasando el límite máximo permisible de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por la OMS, en un tiempo de 24 horas. En los tres sitios de estudio, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  sobrepasaron el límite de 288  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que establece la NOM-022, cuyo valor más alto se presentó en la Estación Delta con 2251.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el periodo otoño-invierno 2013. El Ejido Nuevo León fue el sitio de estudio que presentó mayores niveles de concentración de  $\text{NH}_3$ , cuyo valor más alto fue de 249.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el periodo otoño-invierno 2013, sobrepasando el límite máximo permisible de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por la OEHHA para exposiciones crónicas. Los altos niveles de concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{SO}_2$  se debe a un aumento en el flujo de emisión de la fuente y a la dirección predominante del viento en el intervalo de 90-180° y 180-270° N correspondientes a la ubicación del Poblado El Chimi y la Estación Delta con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Los modelos de dispersión de H<sub>2</sub>S local y regional presentaron una buena aproximación con las concentraciones obtenidas a través del muestreo en campo. En el periodo primavera-verano, mostraron que los ejidos que se encuentran expuestos a mayores concentraciones de H<sub>2</sub>S son la Estación Delta y el Poblado El Chimi con un 80 y 90 % de confianza respectivamente. Sin embargo en el Ejido Nuevo León, se obtuvo una relación del 4 %.

**Palabras clave:** H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, variación espacio-temporal y modelos de dispersión.

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

La planta geotérmica de Cerro Prieto ubicada en el Valle de Mexicali, durante su proceso de generación de energía eléctrica emite gases como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a la atmósfera (CFE, 2005).

La intensidad en la emisión de estos gases depende del sitio y la concentración en las rocas que se encuentran en los campos geotérmicos. El mayor impacto ambiental que genera la explotación de estos gases es la contaminación del aire y agua (Barbier, 2002).

La preocupación por los daños ambientales y fisiológicos que están ocasionando los gases a los poblados cercanos son los principales factores que conducen a investigaciones de contaminantes atmosféricos y su relación con las variables meteorológicas.

Es importante realizar estudios de evaluación espacio-temporal de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_2$  y generar una base de datos de concentración que se relacione con las variables meteorológicas.

Las bases de datos generadas se pueden representar a través de gráficos y modelos de dispersión a escala local y regional, los cuales son útiles para estudiar contaminantes gaseosos provenientes de plantas geotérmicas.

Los modelos proporcionan información acerca de la posible concentración a la que se expone una localidad en específico y como éstas concentraciones de gases varían a partir de su transporte y dispersión en el aire.

El monitoreo y modelos de dispersión nos arrojan resultados que nos permiten llevar a cabo análisis y predicciones del comportamiento de los gases provenientes del campo geotérmico. Además de conocer la influencia que tienen los parámetros meteorológicos como la temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, sobre los mismos.

Ante la problemática ambiental que presenta el campo geotérmico del Valle de Mexicali, se plantea como hipótesis que *los gases emitidos y/o producidos por el campo geotérmico de Cerro Prieto, presentan una importante variación espacio-*

*temporal, y que las concentraciones de los contaminantes de emisión primaria (H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub>) y secundaria (SO<sub>2</sub>) pueden representar un riesgo para la salud de los habitantes en los ejidos aledaños.*

El objetivo general de la presente investigación es evaluar la concentración de los contaminantes primarios (H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub>), secundarios (SO<sub>2</sub>) y las condiciones meteorológicas a diferentes distancias del campo geotérmico de Cerro Prieto, durante el periodo 2013-2014 para conocer los niveles de concentración a los que se expone la población de los ejidos aledaños.

Los objetivos específicos son:

- Seleccionar los sitios de muestreo y ejecutar un programa de monitoreo de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> en los ejidos aledaños al campo geotérmico de Cerro Prieto durante el periodo 2013-2014.
- Comparar las concentraciones obtenidas de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> con las ya establecidas por organizaciones y normas.
- Desarrollar modelos de dispersión de H<sub>2</sub>S a escala local y regional a través de los programas AERMOD View Ver 6.2 y HYSPLIT4 para conocer las áreas afectadas.

Metas:

- Contar con una base de datos de concentración de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> en las zonas cercanas al campo geotérmico de Cerro Prieto durante el periodo 2013-2014.
- Proporcionar información para que se propongan medidas de corrección en materia de emisión para las zonas que presentan altas concentraciones de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>.
- Contar con un modelo de dispersión que represente los escenarios en materia de exposición a H<sub>2</sub>S en las zonas cercanas al campo geotérmico de Cerro Prieto durante el periodo 2013-2014.

Alcances:

- Las bases de datos de concentración de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> generadas a partir de los muestreos y modelos de dispersión, serán útiles para generar nuevas ideas de investigación en el desarrollo de procesos que controlen la emisión de contaminantes en plantas geotérmicas.
- Proporcionar a la industria geotérmica la información obtenida de los niveles de concentración de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> en el sitio de estudio, para promover la iniciativa de mejoras en el proceso de generación de energía.
- Mejorar la calidad de vida de los poblados que se encuentran alrededor del campo geotérmico de Cerro Prieto así como también disminuir la contaminación del aire.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y sus efectos en la salud

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al H<sub>2</sub>S como un gas venenoso, incoloro, con olor a huevo podrido, soluble en agua y solventes orgánicos (Pineda, 2007).

Como se observa en la Tabla 2.1, la solubilidad de H<sub>2</sub>S en agua a una presión de 1 atmósfera disminuye al incrementar la temperatura y viceversa (Haynes, 2011).

**Tabla 2.1.** Solubilidad de H<sub>2</sub>S en agua.

Temperatura (°C)	Solubilidad (fracción mol)
15	2.3 x 10 <sup>-3</sup>
20	2.0 x 10 <sup>-3</sup>
25	1.8 x 10 <sup>-3</sup>
30	1.7 x 10 <sup>-3</sup>
35	1.5 x 10 <sup>-3</sup>

Cada año se liberan 2.21 teragramos de H<sub>2</sub>S provenientes de quema de biomasa, océanos, humedales, plantas, suelos y volcanes (Berresheim et al., 1995).

Hidrogeológicamente el H<sub>2</sub>S es un gas que se libera a través del vapor de las aguas subterráneas que utilizan las plantas geotérmicas para la generación de energía eléctrica. Durante este proceso, los vapores de este contaminante son liberados a través de equipos o procesos involucrados.

Cuando el H<sub>2</sub>S se emite a la atmósfera se oxida a través de la reacción con ozono y/o por el radical hidroxilo produciendo *dióxido de azufre*. El dióxido de azufre puede disolverse en agua y formar ácido sulfuroso o bien puede seguir oxidándose para convertirse en trióxido de azufre. Esta última ruta envuelve varias reacciones en serie, de lenta progresión (se requieren de horas o días). Una vez que se disuelve en agua, el trióxido de azufre se hidroliza en ácido sulfúrico (Fuentes et al. 2002).

En las reacciones 1-4, se muestra el mecanismo de fotooxidación de H<sub>2</sub>S con el radical OH y O<sub>3</sub>. En un inicio el H<sub>2</sub>S reacciona con el radical OH para formar HS y H<sub>2</sub>O (R1). Enseguida el HS reacciona con O<sub>3</sub> formando HSO y O<sub>2</sub> (R2) y HSO continua reaccionando con O<sub>3</sub> hasta formar HSO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> (R3). Finalmente el HSO<sub>2</sub> reacciona con O<sub>2</sub> y forma HO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> (R4) (Pham et al., 1995).



Existen dos maneras de oxidar al H<sub>2</sub>S en agua o suelo es a través de la reacción con Fe<sup>+3</sup>, como se muestra en las reacciones 5-6. La primera reacción sucede cuando el H<sub>2</sub>S reacciona con Fe<sup>+3</sup> para formar Fe<sup>+2</sup> y S<sup>0</sup> (R5). La segunda reacción sucede cuando el H<sub>2</sub>S reacciona con un exceso de Fe<sup>+3</sup> para formar Fe<sup>+2</sup> y SO<sub>2</sub> (R6).



Es probable que el H<sub>2</sub>S permanezca en la atmósfera hasta por 1 día en el verano y puede llegar a permanecer hasta 42 días en el invierno (Pineda, 2007).

Estudios de velocidad de deposición concluyeron que la deposición seca de H<sub>2</sub>S fue de 21.71 (±20.71) μg H<sub>2</sub>S-S/m<sup>2</sup>/min durante el verano de 2004 y -0.99 (±2.91) μg H<sub>2</sub>S-S/m<sup>2</sup>/min durante el invierno de 2003. La velocidad de deposición de H<sub>2</sub>S fue mayor durante el día, debido a las condiciones atmosféricas inestables y menor durante la noche debido a las condiciones atmosféricas estables (Baek et al., 2004).

La deposición seca de H<sub>2</sub>S depende del transporte aerodinámico de la capa superficial atmosférica a una capa muy delgada de aire cercana a la superficie, el transporte por difusión molecular a través de esta capa, llamada la subcapa cuasi-laminar a la propia superficie y la absorción en la superficie. Cada uno de estos pasos contribuye al valor de la velocidad de deposición v<sub>a</sub> (Seinfeld et al., 2006).

El transporte en la capa superficial ( $v_a$ ) y en la subcapa cuasi-laminar ( $v_b$ ) es afectado por la velocidad del viento, tamaño y forma de la vegetación y la estabilidad atmosférica. En general  $v_a$  y  $v_b$  incrementan cuando incrementa la velocidad vertical y horizontal de las masas de aire, el tamaño de la vegetación, condiciones inestables (primavera-verano) y disminuye bajo condiciones estables y neutras (otoño-invierno) (Seinfeld et al., 2006).

La solubilidad y la reactividad son los principales factores que afectan a la absorción de  $H_2S$  en la superficie y la velocidad de deposición global (Seinfeld et al., 2006).

Durante el día, la intensidad de la turbulencia es típicamente grande en una capa bien mezclada, con un depósito de material a la superficie. Durante la noche, la estratificación estable de la atmósfera cerca de la superficie a menudo reduce la intensidad y la extensión vertical de la turbulencia, disminuyendo efectivamente el flujo general de deposición seca (Seinfeld et al., 2006).

No existen estándares internacionales de  $H_2S$  a los cuales deban estar expuestas las personas, pero países como México, adoptan los niveles establecidos por la OMS para una concentración promedio de  $150 \mu g/m^3$  (0.1 ppm) para exposición en 24 horas (WHO, 2003).

Los efectos fisiológicos del  $H_2S$  por exposición humana son reportados en la Tabla 2.2 (D'Alessandro et al., 2008).

**Tabla 2.2.** Efectos fisiológicos del  $H_2S$  por exposición humana.

<b>Exposición en ppm (<math>\mu g/m^3</math>)</b>	<b>Efecto/Observación</b>
0.01-0.13 (15-195)	Molestia al respirar/mal olor
0.3 (450)	Olor distinto/olor penetrante
2 (3 000)	Constricción bronquial en personas asmáticas
3.5 (5 250)	Implicaciones en ojos
5-10 (7 500-15 000)	Aumenta la concentración de lactato en la sangre, decremento del músculo esquelético y disminución del consumo de oxígeno
3.5-20 (5 250-30 000)	Irritación de los ojos
20 (30 000)	Fatiga, pérdida del apetito, dolor de cabeza, irritabilidad y pérdida de la memoria
50 (75 000)	Irritación en el tracto y vías respiratorias
100-200 (150 000-300 000)	Parálisis del olfato
250 (375 000)	Edema pulmonar/ exposición prolongada
500-1000 (750 000- 1 500 000)	Muerte inmediata

## **2.2. Estudios de H<sub>2</sub>S en zonas geotérmicas**

### **2.2.1. Estudios regionales**

Con el objetivo de considerar el efecto de instalar una nueva planta de 100 MW y/o de 220 MW en el campo geotérmico de Cerro Prieto y en el Ejido Pátzcuaro o Ejido Hidalgo, respectivamente, se obtuvieron los niveles de H<sub>2</sub>S mediante el uso de la recopilación de datos de concentración existentes y la utilización de un modelo de dispersión gaussiano (Gallegos et al., 2000).

Para la planta de 100 MW se obtuvieron concentraciones anuales de H<sub>2</sub>S de 9 ppb (13.5 µg/m<sup>3</sup>) en los Ejidos Hidalgo y Oaxaca, mientras que las concentraciones de H<sub>2</sub>S dentro de la planta generadora fueron de 30 ppb (45 µg/m<sup>3</sup>). Para la planta de 220 MW, las concentraciones anuales de H<sub>2</sub>S no sobrepasaron las 30 ppb (45 µg/m<sup>3</sup>) en los Ejidos Nuevo León, Michoacán y Oaxaca, y dentro de las instalaciones de la planta generadora, las concentraciones de H<sub>2</sub>S fueron de 175 ppb (262.5 µg/m<sup>3</sup>) (Gallegos et al., 2000).

La comparación de los datos existentes con los obtenidos en los modelos de dispersión mostraron un sesgo de 0.63 y 0.9, sin y con tiempos promedios, respectivamente (Gallegos et al., 2000).

De acuerdo con el estudio de dispersión que realizó la planta geotérmica de Cerro Prieto a través del modelo estadístico gaussiano "Industrial Source Complex, (ISC3)", con el objetivo de estimar el efecto de la instalación de CP V, se obtuvieron concentraciones de H<sub>2</sub>S de 60 µg/m<sup>3</sup> (0.04 ppm) con un alcance aproximado de 10 km de las fuentes de emisión (CFE, 2005).

Estudios recientes de concentraciones de H<sub>2</sub>S obtenidas con el instrumento Jerome 631-X en Cerro Prieto en 2010 reportan concentraciones promedio en 24 horas en CP1, Ejido Hidalgo (1.2 km al este de la planta), Delta (6.7 km al sureste de la planta), Nuevo León (4.3 km al este de la planta) y Michoacán (9.8 km al noroeste de la planta) de 41 ± 86 µg/m<sup>3</sup>, 45 ± 67 µg/m<sup>3</sup>, 2 ± 2 µg/m<sup>3</sup>, 1 ± 1 µg/m<sup>3</sup> y 6 ± 15 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente (Peralta et al., 2013).

Las concentraciones mas altas de H<sub>2</sub>S fueron encontradas durante la noche, en CPI (750 µg/m<sup>3</sup>) y en Hidalgo (570 µg/m<sup>3</sup>) cuando la capa de mezcla se encontraba en su mínima altura (Peralta et al., 2013).

Los resultados de los modelos de dispersión con AERMOD mostraron concentraciones promedio durante la madrugada (00:00-05:59), mañana (06:00-11:59), atardecer (12:00-17:59) y noche (18:00-23:59) de 50 µg/m<sup>3</sup> para Michoacán y Nuevo León durante la noche y madrugada y 40 µg/m<sup>3</sup> para CP durante la mañana y el atardecer (Peralta et al., 2013).

### **2.2.2. Estudios en otras partes del mundo**

En la ciudad de Rotorua que se encuentra dentro de la Zona Volcánica de Taupo, Nueva Zelanda, se midió H<sub>2</sub>S con un muestreador que consistía en la reacción de H<sub>2</sub>S con haluro de plata contenido en papel fotográfico tratado. El papel mostraba un cambio de color blanco al marrón oscuro al aumentar las concentraciones de H<sub>2</sub>S (Horwell, 2004).

Al final del estudio, se concluyó que Rotorua se divide en tres regiones: un área de concentraciones bajas; 0, 30 y 40 ppb (0, 45 y 60 µg/m<sup>3</sup>), un área de altas concentraciones; 320-800 ppb (480-1200 µg/m<sup>3</sup>) y un área de concentración media; 500 ppb (750 µg/m<sup>3</sup>) (Horwell, 2004).

En el campo geotérmico de Miravalles localizado en la provincia de Guanacaste, Costa Rica, se llevó a cabo una medición de H<sub>2</sub>S a partir de seis estaciones de monitoreo localizadas alrededor del campo geotérmico. Las concentraciones encontradas durante el periodo de 1999 a 2004 en zonas cercanas al campo sobrepasan los 400 µg/m<sup>3</sup> en un día, mientras que en las zonas habitadas no sobrepasan los 45 µg/m<sup>3</sup> (Sequeira, 2005).

Debido a la construcción de una planta de energía en la planta geotérmica de Hellisheidi en Reykjavík, Islandia se llevó a cabo un monitoreo de H<sub>2</sub>S. Los equipos utilizados fueron Jerome 631 XE y la estación HORIBA APSA-360A en el área de Hellisheidi y Reykjavík respectivamente. Los resultados mostraron que las concentraciones se duplicaron de 0.007 ppm (10.5 µg/m<sup>3</sup>) a 0.014 ppm (21 µg/m<sup>3</sup>), después de la construcción de la nueva planta de energía en Hellisheidi. Mientras que en

Reykjavík las concentraciones aumentaron de 0.09 ppm ( $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 0.11 ppm ( $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Pineda, 2007).

En la región volcánica de Sousaki en Corintia, Grecia se evaluaron las concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$  a través de medidores pasivos marca Radiello. La concentración más baja y alta que se encontró fue de 0.1 ppb ( $0.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y 2050 ppb ( $3075 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a una distancia de 1700 m y 11 m del punto de emisión, respectivamente ( D'Alessandro et al., 2008).

En Kenya, África se realizaron modelos de dispersión de  $\text{H}_2\text{S}$  con el objetivo de conocer el impacto de construir una nueva planta de energía (Olkaria IV). Los resultados obtenidos para Olkaria I, II y IV en 24 horas mostraron la mas alta concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  de 0.291 ppm ( $410 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dentro del campo geotérmico (Ndetei, 2010).

Otro estudio realizado en Islandia, en la zona volcánica de Hengill donde se encuentran las plantas de energía Hellisheidi y Nesjavellir, mostró que las altas concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$  se correlacionaron con la baja velocidad del aire y la ausencia de la precipitación. En los veinte eventos distintos que se presentaron y durante las mediciones instantáneas el umbral de olor ( $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y el límite nacional promedio de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, se superó (Olafsdottir et al., 2014).

### **2.3. Amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) y sus efectos en la salud**

En condiciones de temperatura y presión ambiente el  $\text{NH}_3$  es un gas incoloro, sofocante y de olor irritante. Es el gas más soluble de los gases geotérmicos y se forma por la alteración de la materia orgánica en las rocas sedimentarias o en la superficie. Este es acarreado como un gas en la corriente de vapor de agua, pero es altamente soluble en agua a temperaturas bajas (Barbier, 2002).

La fuente más grande de las emisiones de  $\text{NH}_3$  es la cría de animales y el uso fertilizantes. Otras fuentes incluyen procesos industriales, emisiones vehiculares y volatilización en suelos y océanos (Puchalski et al., 2011).

Cuando el NH<sub>3</sub> se libera a la atmósfera, puede reaccionar de dos maneras. En la reacción 7 el NH<sub>3</sub> reacciona en presencia de H<sub>2</sub>O, en la cual se genera NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que regresa a la superficie a través de la deposición (Seinfeld et al., 2006).



En las reacciones 8-11 se muestra el proceso de la segunda reacción que el NH<sub>3</sub> tiene en la atmósfera con el radical OH para generar el radical NO (R8) que reacciona con O<sub>3</sub> para producir NO<sub>2</sub>. Esta reacción es reversible cuando NO<sub>2</sub> reacciona con el flujo fotónico para regresar a NO (R9). El NO<sub>2</sub> producido reacciona con el radical OH y forma HNO<sub>3</sub> (R10) que reacciona con H<sub>2</sub>O para formar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (R11) el cual forma sales que regresan a la superficie por deposición seca o húmeda (Seinfeld et al., 2006).



Esencialmente todo el NH<sub>3</sub> en la atmósfera es regresado a la superficie por deposición, el cual, desde 1980, se sabe que es uno de los causantes de la acidificación del suelo (Adon et al., 2010).

Estudios de velocidad de la deposición para NH<sub>3</sub> concluyeron que la deposición seca de NH<sub>3</sub> fue aproximadamente de 3671 (±2.624) µg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup>/min durante el verano de 2004 y 317 (±209) µg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup>/min durante el invierno de 2003. La velocidad de deposición de NH<sub>3</sub> fue mayor durante el día, debido a las condiciones atmosféricas inestables y menor durante la noche debido a las condiciones atmosféricas estables (Baek et al., 2004).

Los niveles atmosféricos de amoníaco también muestran una variación estacional, en donde los niveles más altos se encuentran en el invierno y los más bajos en el verano (IPCS INCHEM , 1886).

La Oficina de Evaluación de Riesgos de Salud Ambiental establece un límite de exposición para NH<sub>3</sub> de 100 µg/m<sup>3</sup> para exposiciones crónicas (OEHHA, 2003).

## 2.4. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y sus efectos en la salud

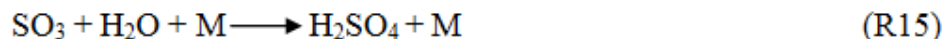
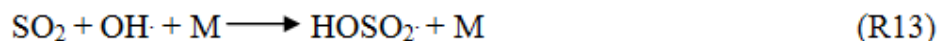
El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro con olor a acre, el cual es formado naturalmente y antropogénicamente. A escala mundial el flujo atmosférico anual de azufre ha sido estimado a 140-350 millones de toneladas (de las cuales menos del 30% es azufre antropogénico) en forma de dióxido de azufre, ácido sulfúrico y sulfatos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1998).

Fuentes naturales de SO<sub>2</sub> incluyen volcanes y respiraderos volcánicos, materia orgánica en descomposición, la acción solar en el agua de mar y la oxidación de sulfuro de dimetilo emitida desde los océanos. La descomposición de la materia orgánica en la tierra, los pantanos y en los océanos, resulta en la liberación de H<sub>2</sub>S, que se oxida rápidamente a SO<sub>2</sub> en pocas horas (WBK et al., 2003).

Como se observa en la reacción 12, el SO<sub>2</sub> reacciona con O<sub>2</sub> en el aire. En fase gaseosa, la velocidad de esta reacción es tan lenta en condiciones libres de catalizador, por lo tanto, no es considerada como una fuente de SO<sub>3</sub> atmosférico (Seinfeld et al., 2006).



En las reacciones 13-15, el SO<sub>2</sub> reacciona bajo condiciones troposféricas; en fase gaseosa y acuosa, y es removido por deposición seca y húmeda. En fase gaseosa, la reacción que predomina se lleva a cabo con el radical OH (R13), seguido por la reacción que regenera al radical HO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> (R14), el cual en presencia de vapor de agua, es convertido a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (R15) (Seinfeld et al., 2006).



La deposición húmeda de  $\text{SO}_2$  consiste en dos procesos, remoción dentro de las nubes (washout) y remoción por precipitación (rainout). En la remoción de  $\text{SO}_2$  dentro de las nubes, se incluye la formación de partículas de sulfatos, coagulación y captura por difusión. La remoción por precipitación incluye la intercepción de partículas en la caída de las gotas de la lluvia y la absorción por difusión de  $\text{SO}_2$  (WBK et al., 2003).

La deposición seca de partículas puede ocurrir directamente sobre las plantas, por asentamiento gravitacional o por la captura física y química de sulfatos en las superficies húmedas. Este tipo de deposición, se considera más importante en áreas cercanas a la fuente (WBK et al., 2003).

En una atmósfera donde existe la presencia del radical  $\text{OH} \cdot$ , el tiempo de vida del  $\text{SO}_2$  es de una semana. A una velocidad de 1 cm/s y a 1 km de altura de la capa de mezcla, la deposición seca del  $\text{SO}_2$  es alrededor de un día. Cuando hay presencia de nubes, la remoción de  $\text{SO}_2$  es mayor que en la deposición seca (Seinfeld et al., 2006).

La normatividad mexicana establece que la concentración de  $\text{SO}_2$  como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo de  $288 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.110 ppm) promedio en 24 horas, una vez al año, para protección a la salud de la población (NOM-022-SSA1-2010, 2010).

La Tabla 2.3 resume los efectos de SO<sub>2</sub> a la salud (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1998).

**Tabla 2.3.** Efectos de SO<sub>2</sub> a la salud.

Concentración en ppm (µg/m <sup>3</sup> )	Efecto
≥0.1 (261.8)	Broncoconstricción en asmáticos sensibles al ejercicio
0.3-1 (785.5 - 2618.2)	Detección posible por sabor u olor
1-2 (2618.2 - 5236.4)	Cambios en la función pulmonar
2 (5236.4)	Concentración recomendada por la ACGIH <sup>a</sup> para 8 horas en un día de trabajo
3 (7854.5)	Fácilmente detectable por el olor
5 (13090.9)	Máxima concentración a la que debe ser expuesta un trabajador en 15 minutos. Recomendada por la NIOSH <sup>b</sup>
6-12 (15709.1 - 31418.2)	Puede causar irritación nasal y de garganta
10 (26181.8)	Irritación de las vías respiratorias superiores, algunas hemorragias nasales
20 (52363.6)	Irritación de los ojos y desarrollo de síntomas crónicos respiratorios
50-100 (130909.1 – 261818.2)	Exposición máxima tolerable para 30-60 minutos
≥100 (261818.2)	NIOSH recomienda que es peligroso para la vida

<sup>a</sup> ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

<sup>b</sup> NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health).

#### 2.4.1. Estudios regionales

La presencia de SO<sub>2</sub> en la región de Mexicali puede estar relacionada con la oxidación de combustibles fósiles y la oxidación de H<sub>2</sub>S a SO<sub>2</sub>.

Las concentraciones más altas de SO<sub>2</sub> en 24 h encontradas en Mexicali en la estación de monitoreo que se encuentra en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) se muestran en la Tabla 2.4 (SPABC, 2011).

**Tabla 2.4.** Concentraciones máximas en 24 h de SO<sub>2</sub> encontradas en Mexicali.

Día/mes/año	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )*	Día/mes/año	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )*
29/Enero/2011	1780	02/Noviembre/2011	1571
30/Enero/2011	1283	11/Noviembre/2011	1361
05/Febrero/2011	1440	12/Noviembre/2011	1388
06/Febrero/2011	1440	17/Noviembre/2011	1257
01/Noviembre/2011	1780	18/Noviembre/2011	1676

\* Límite máximo permisible de SO<sub>2</sub> en 24 h es de 288 µg/m<sup>3</sup>.

#### **2.4.2. Estudios en otras partes del mundo**

Un caso muy especial y mencionado, es lo sucedido en Londres en tres ocasiones, cada uno en diciembre de 1952, 1962 y 1972 cuando una niebla de humo y SO<sub>2</sub> proveniente de las chimeneas domésticas, permaneció inmóvil sobre la ciudad. Las concentraciones máximas promedio diarias alcanzadas para cada año fueron de 3500, 3500 y 1200 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente (Fisher, 1999).

En el área geotérmica donde se encuentra la ciudad de Taipei en Taiwán se monitoreó SO<sub>2</sub> en el sitio Ti-je Ku. Las concentraciones promedio obtenidas durante la noche y el día fueron de 5.5 ppb ± 2.1 ppb (14.4 µg/m<sup>3</sup> ± 5.5 µg/m<sup>3</sup>) y 5.5 ppb ± 1.7 ppb (14.4 µg/m<sup>3</sup> ± 4.5 µg/m<sup>3</sup>), respectivamente (Chen et al., 2003).

En el periodo de 1999 - 2001 se monitoreó SO<sub>2</sub> en las regiones de Asia, África y Sudamérica usando medidores pasivos, donde las concentraciones promedio de SO<sub>2</sub> variaron desde 13 ppb (34 µg/m<sup>3</sup>) en las ciudades de Linan, China mientras que las concentraciones promedio en cuatro estaciones de monitoreo fueron de 0.03 ppb (0.1 µg/m<sup>3</sup>) (Gregory et al., 2003).

En las zonas urbanas de Canadá se presentan concentraciones promedios anuales SO<sub>2</sub> de 3 µg/m<sup>3</sup> en Winnipeg, Regina y Saskatoon, con concentraciones máximas de 26 µg/m<sup>3</sup>. Concentraciones mayores de SO<sub>2</sub> en el este de Canadá son atribuidas a la industria local y al transporte de Estados Unidos (WBK et al., 2003).

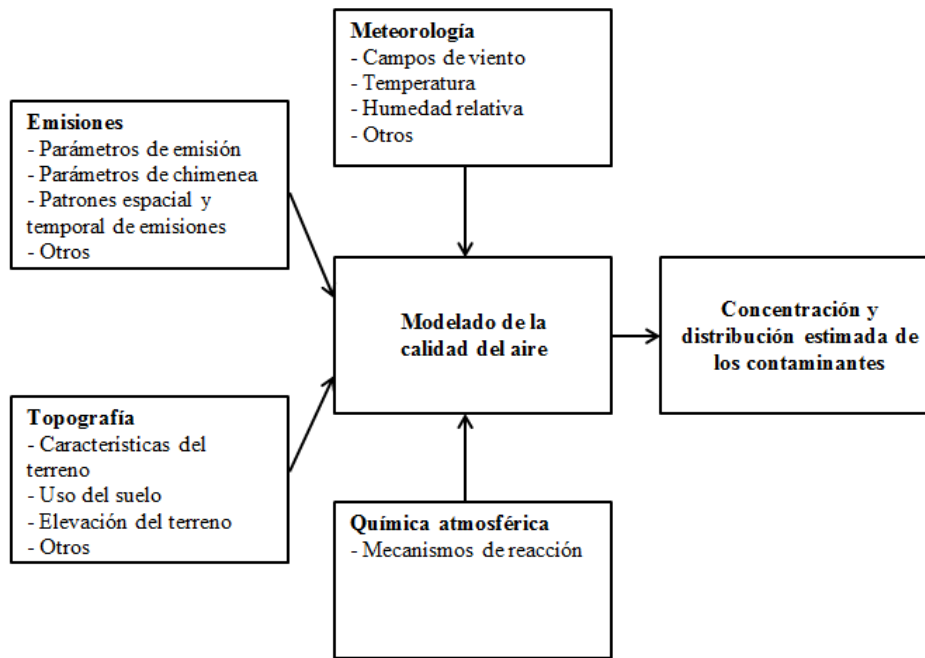
Otros estudios de concentraciones horarias anuales de SO<sub>2</sub> en un periodo de cinco años, en Montreal, Toronto y Vancouver mostraron concentraciones de 13 a 21, 13 a 16 y 11 a 12 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente (WBK et al., 2003).

#### **2.5. Modelos de dispersión de contaminantes**

La preocupación por los daños que ocasionan los contaminantes a los poblados cercanos de las plantas geotérmicas ha conducido a la creación de programas para calcular la dispersión de estos en el aire, los cuales reciben el nombre de "Modelos de dispersión del aire" (Pineda, 2007).

Éstos modelos son una herramienta de análisis que permiten simular a través de expresiones matemáticas, los procesos atmosféricos que intervienen en el transporte, dispersión, deposición y en algunos casos, la transformación química de los compuestos (González , 2009).

Existen distintos tipos de modelos de calidad de aire, pero en general, todos operan con un conjunto de datos de entrada que caracterizan las emisiones, la topografía y la meteorología de una región, y producen salidas, que describen la calidad de aire de dicha región, tal como se aprecia en la Figura 2.1. (González , 2009).



**Figura 2.1.** Entrada de datos para un modelo de calidad de aire.

Por la forma en que se plantean las ecuaciones que describen el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera se les puede clasificar como modelos eulerianos y modelos lagrangianos. Los modelos eulerianos usan un sistema de coordenadas fijas a la tierra, ideal para simulaciones locales, y los modelos lagrangianos usan un sistema de coordenadas que sigue el movimiento de la atmósfera, ideal para simulaciones regionales (González , 2009).

En un modelo lagrangiano tanto las emisiones y reacciones, como la deposición y el mezclado de los contaminantes, se analizan para un volumen de aire que va cambiando su posición de acuerdo a la velocidad y dirección del viento (y no para una región entera como en los eulerianos). Con este esquema en general, los modelos

lagrangianos se pueden clasificar en modelos de trayectoria y modelos gaussianos, de acuerdo con la geometría del sistema de modelación (González , 2009).

En los modelos de trayectoria se define una columna hipotética de aire que se desplaza bajo la influencia de los vientos dominantes, y se asume que no hay intercambio de masa entre la columna y sus alrededores. Su aplicación es recomendable en evaluaciones de calidad de aire que consideran el transporte a grandes distancias, para modelar el comportamiento de masas individuales de aire, incluso para evaluar la calidad del aire en casos donde se está limitado de información para caracterizar las emisiones y la meteorología de una región completa (González , 2009).

Finalmente, en los modelos gaussianos se describe el transporte y la mezcla de los contaminantes asumiendo que las emisiones presentan, en la dirección horizontal y vertical, una distribución normal o curva gaussiana, con una concentración máxima en el centro de la pluma. Generalmente estos modelos se aplican para evaluar la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes puntuales (González , 2009).

### **2.5.1. Modelo de dispersión Gaussiano**

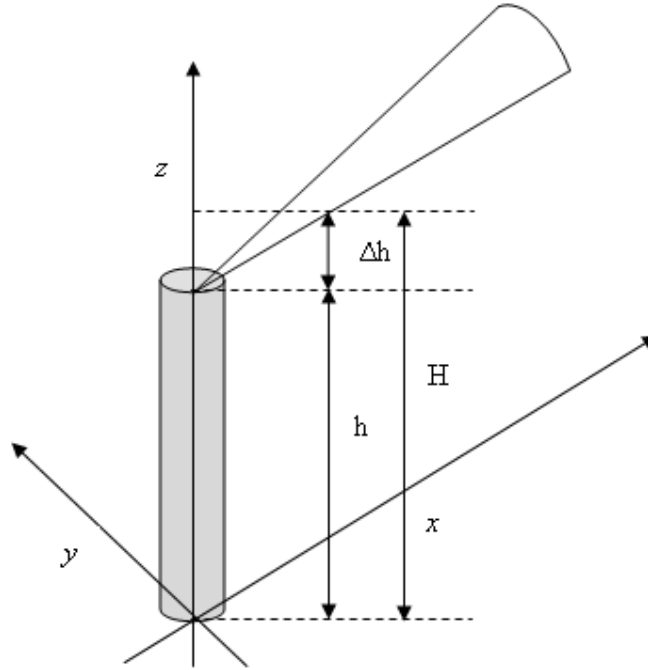
El modelo gaussiano para una columna de humo se basa en la siguiente hipótesis (Seinfeld et al., 2006):

1.- La columna emitida por la chimenea se eleva hasta cierta altura efectiva (H), que es la suma de la altura de la chimenea (h) más el ascenso ( $\Delta h$ ), debido al momento inicial del humo y a la diferencia de temperaturas en el gas saliente y el aire que le rodea.

2.- A partir de H la columna de humo se mueve horizontalmente en dirección al viento (dirección  $x$ ) con una velocidad  $u$ , y se dispersa en las direcciones  $y$ ,  $z$  ( $y$  = horizontal,  $z$  = vertical). La dispersión en  $y$ ,  $z$  se debe a la turbulencia atmosférica y se calcula como una distribución gaussiana a través de la Ec. 1:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $C(x, y, z)$  es la concentración,  $Q$  es la cantidad de contaminante emitido por unidad de tiempo (ej. g/s) y  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  son los coeficientes de dispersión turbulenta que depende de la clase de estabilidad y de la distancia al foco en dirección del viento. En la ecuación anterior se asume que el suelo es una superficie plana que no absorbe el contaminante. El significado de las variables se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2.** Representación esquemática de las coordenadas gaussianas.

Para el cálculo del ascenso vertical de la columna de humo ( $\Delta h$ ), se utiliza la expresión empírica de Briggs, la cual se representa por la Ec. 2:

$$\Delta h = \frac{114CF^{1/3}}{u} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde  $C$  es un parámetro que depende del gradiente de temperatura,  $u$  es la velocidad del viento a la altura geométrica de la chimenea ( $h$ ) y  $F$  es el flujo de flotación que se obtiene a partir de la Ec. 3:

$$F = \frac{gv_s D_s^2 (T_f T_a)}{4T_a} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $v_s$  es la velocidad del gas a la salida de la chimenea,  $D_s$  es el diámetro interno de la chimenea y  $T_f$  y  $T_a$  son las temperaturas de salida del gas y ambiente en grados kelvin, respectivamente.

Los coeficientes de dispersión  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  se pueden calcular gráficamente; si se conoce la distancia al foco de emisión y la clase de estabilidad atmosférica (Ver Anexo 6), o con la Ec. 4 y 5, respetivamente (Seinfeld et al., 2006):

$$\sigma_y = ax^b \quad \text{Ec. 4}$$

$$\sigma_z = cx^d + f \quad \text{Ec. 5}$$

Donde  $b = 0.894$  y  $x$  es la distancia al foco de emisión en kilómetros. El resto de las constantes dependen de la distancia al foco y al tipo de estabilidad atmosférica, lo cuales se muestran en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5.** Constantes para el cálculo de  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ .

Estabilidad	$x < 1\text{km}$				$x > 1\text{km}$		
	A	C	D	F	C	D	f
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104	61.0	0.911	0	61.0	0.911	0
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6

Estas fórmulas suelen ser implementadas en los programas informáticos de modelos de dispersión y están en función de la clase de estabilidad atmosférica. Esta se representa por un código alfabético que va desde la letra A (más inestable) hasta la letra F (más estable).

La clase de estabilidad atmosférica se puede deducir para cada condición meteorológica a partir de las tablas de Pasquill, la cual se muestra en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6.** Condiciones metereológicas que definen la estabilidad de Pasquill.

$u_{10}$ (m/s)	Día, radiación solar			Noche	
	Fuerte	Moderada	Débil	Nubes >1/2	Nubes < 3/8
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	D	D	E
5-6	C		D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Las ecuaciones para el cálculo de los coeficientes de dispersión y  $\Delta h$  ya suelen estar incluidas en los modelos informáticos, lo cual no es excusa para ignorar como influyen cada uno de ellos en el ascenso de la columna de humo.

El modelo gaussiano para una columna de humo asume (Turner, 1969):

- 1.- El flujo de emisión es constante.
- 2.- La dispersión (difusión) es despreciable en el eje  $x$  cuando la dirección es viento abajo.
- 3.- Las condiciones meteorológicas horizontales son homogéneas sobre el espacio que está siendo modelado. Para cada hora modelada:
  - Se usa una velocidad promedio.
  - La temperatura, dirección del viento, estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla es constante.
- 4.- No hay viento puro en el eje horizontal y vertical.
- 5.- La pluma es infinita (cada hora que es modelada es independiente de las horas previas).
- 6.- Los contaminantes son gases no reactivos o aerosoles que permanecen suspendidos en el aire y que siguen el movimiento de la atmósfera.
- 7.- La pluma es reflejada en la superficie sin deposición o reacción.

8.- La dispersión en dirección  $z$  y dirección  $y$  toman la forma de una distribución gaussiana sobre la línea central de la pluma.

### **2.5.2. Software AERMOD**

Los modelos de dispersión del software AERMOD son una herramienta útil que se puede usar en el medio ambiente y social para evaluar el impacto de los desarrollos de la energía geotérmica y en auditorías ambientales en plantas, además de que se pueden emplear en la toma de decisiones basadas en fundamentos teóricos existentes. La exactitud de los modelos está basada en la calidad de los datos de entrada, especialmente en la meteorología utilizada. Por lo tanto las estaciones meteorológicas automáticas deben de estar bien equipadas y operando correctamente para obtener modelos de dispersión eficaces (Ndetei, 2010).

AERMOD es un modelo de estado estacionario, diseñado para correr con un mínimo de datos meteorológicos. Solo se requieren simples parámetros de superficie como la velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente y nubosidad observada (Pineda, 2007).

El software consiste de un programa principal y de dos preprocesadores; AERMET y AERMAP (Pineda, 2007).

AERMET es la interface meteorológica de AERMOD, usada para calcular los parámetros de la capa límite planetaria, como la velocidad, longitud de Monin-Obukhov, velocidad convectiva a escala, altura de mezcla y el flujo de calor en la superficie. Estos parámetros pasan a ser interface en donde son usados para obtener los perfiles verticales de la velocidad del viento, fluctuaciones turbulentas verticales y laterales del viento, gradientes de temperatura y temperatura potencial (Pineda, 2007).

AERMAP es el preprocesador del terreno que se utiliza para calcular la escala de la altura del terreno. También se utiliza para crear una cuadrícula de receptores que incluyen la ubicación del receptor, la altura sobre el nivel del mar y la altura del terreno en específico a nivel escala (Pineda, 2007).

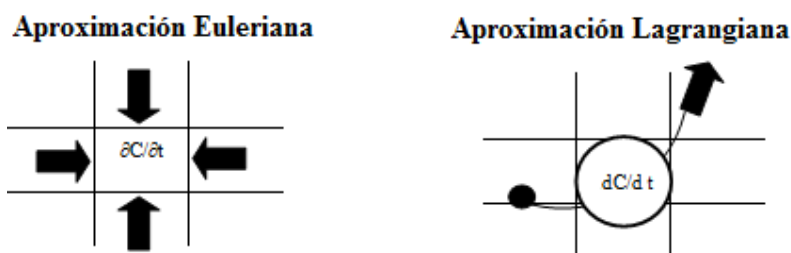
### 2.5.3. Software Hysplit

El software Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (Hysplit) es una herramienta para determinar la emisión, transporte, dispersión y deposición de partículas. Ha sido desarrollado conjuntamente por el Bureau of Meteorology of Australia y el Air Resources Laboratory (ARL) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (González , 2009).

El método de cálculo que usa HYSPLIT, se basa en un modelo híbrido entre el euleriano y el lagrangiano. El cálculo de la advección y difusión lo realiza en un marco lagrangiano, mientras que para la concentración utiliza un marco euleriano (González , 2009).

Como se aprecia en la izquierda de la Figura 2.3, en la aproximación euleriana, la concentración en cada celda de la malla se calcula integrando el flujo de contaminantes correspondiente a cada interfaz de cada celda proveniente de la dispersión y advección de dicho contaminante (González , 2009).

Cuando se utiliza la metodología lagrangiana las concentraciones se computan sumando la contribución de cada puff de contaminantes que se transporta a través de la malla siguiendo su trayectoria, tal como se observa en la derecha de la Figura 2.3 (González , 2009).



**Figura 2.3.** Métodos de cálculos de advección y dispersión.

**CAPÍTULO III**  
**SITIO DE ESTUDIO**

### 3. SITIO DE ESTUDIO

#### 3.1. La región de Cerro Prieto

Cerro Prieto es una extrusión lávica doble formada por un volcán y un domo, localizada en la parte central - oeste del valle de Mexicali y se encuentra localizado aproximadamente a 30 km al sur de Mexicali (Espinoza, 1964).

Como se observa en la Figura 3.1 Cerro Prieto, a nivel nacional se localiza en la zona noroeste, en el extremo norte de la Península de Baja California, limitada al este por el Golfo de California y al oeste por la Sierra de Cucapah (CFE, 2005).

Geográficamente se establece en el cuadrángulo que conforman las siguientes coordenadas: meridianos  $114^{\circ}45'00''$  y  $115^{\circ}30'00''$  de longitud oeste y paralelos  $32^{\circ}00'00''$  y  $32^{\circ}45'00''$  de latitud norte (CFE, 2005).



**Figura 3.1.** Localización de Cerro Prieto en la región noroeste de México.

### 3.2. La planta geotérmica de Cerro Prieto

La planta geotérmica de Cerro Prieto es una de las más grandes en el mundo y se encuentra formada por 13 unidades agrupadas en cuatro centrales eléctricas individuales. Reportes previos de la planta geotérmica de Cerro Prieto mencionan una capacidad total instalada de 720 MW; Cerro Prieto I (C.P. I) con una capacidad total instalada de 180 MW distribuida en cinco unidades, Cerro Prieto II (C.P. II) con una capacidad de 220 MW distribuida en dos unidades, Cerro Prieto III (C.P. III) con una capacidad de 220 MW comprendida por dos unidades y Cerro Prieto IV (C.P. IV) con una capacidad total de 100 MW distribuida en cuatro unidades (Peralta et al., 2013).

En la Tabla 3.1 se muestran los parámetros de operación y dimensiones de las chimeneas de las centrales eléctricas en Cerro Prieto. A partir de 2011 las unidades 1 - 4 de C.P. I se encuentran fuera de servicio (Peralta et al., 2013).

**Tabla 3.1.** Parámetros de operación y dimensiones de las chimeneas de las centrales eléctricas en la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Central eléctrica	Capacidad (MW)	Altura de la chimenea (m)	Diámetro interno de la chimenea (m)	Temperatura de emisión de gases (°C)	Velocidad promedio de gases (m/s)	Flujo (m <sup>3</sup> /s)
C.P. I	37.5					
C.P. I	37.5					
C.P. I	37.5					
C.P. I	37.5					
C.P. I	30	54.71	0.406	52	5.66	0.73
C.P. II	110	40.23	0.305	115	23.1	1.69
C.P. II	110	40.23	0.305	109	25.07	1.83
C.P. III	110	40.23	0.305	115	36.39	2.66
C.P. III	110	40.23	0.305	116	30.04	2.19
C.P. IV	25	54.86	0.609	56	8.09	2.36
C.P. IV	25					
C.P. IV	25					
C.P. IV	25					

### **3.3. Proceso de generación de energía eléctrica en la planta geotérmica de Cerro Prieto**

El campo geotérmico de Cerro Prieto se encuentra en una cuenca producida entre dos fallas laterales del sistema de San Andrés: la falla Cerro Prieto y la falla Imperial. En el subsuelo de esa cuenca, el proceso de adelgazamiento de la corteza continental ha generado una anomalía térmica, que es la que finalmente aporta el calor a través de los pozos del sistema geotérmico para la producción de energía eléctrica (CFE, 2005).

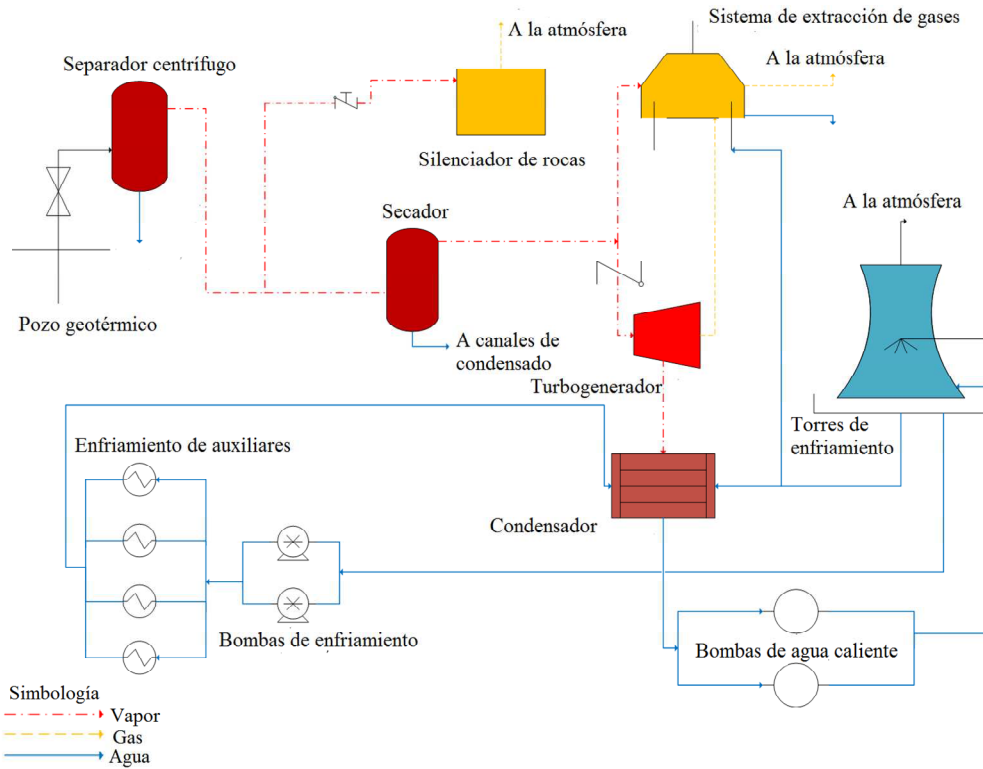
En la Figura 3.2 se muestran los pozos de la planta geotérmica, la cual actualmente opera con 166 y 11 pozos productores e inyectores de vapor respectivamente. Los pozos productores cuentan con una capacidad de 6070 t/h de vapor que se extraen conjuntamente con 8000 t/h de agua geotérmica (CFE, 2005).



**Figura 3.2.** Pozos geotérmicos de la planta geotérmica Cerro Prieto.

La Figura 3.3 muestra el proceso de generación de energía eléctrica en la planta geotérmica de Cerro Prieto, el cual comienza con el fluido que es obtenido a través de los pozos formando una mezcla de agua y vapor que es separada a través de un

separador centrífugo. En la separación, el vapor se envía a través de un sistema interconectado de vaporductos hacia las plantas generadoras C.P. I, II, III y IV mientras que el agua, es conducida mediante canales abiertos y tuberías hacia una laguna de evaporación solar, donde una parte se evapora y la otra parte se reintegra a los yacimientos de los pozos. Antes de ingresar a la turbina, el vapor separado se pasa a un secador para eliminar la humedad residual que aún pudiera contener como producto de la condensación. El vapor seco resultante pasa a la turbina convirtiéndose en energía mecánica que hace girar el generador que está acoplado a la turbina, el cual por fenómenos electromagnéticos produce la energía eléctrica. El vapor utilizado por la turbina es enviado a un condensador de contacto directo con agua proveniente de una torre de enfriamiento. El condensado posteriormente formará un ciclo con el agua de la torre generándose así el ciclo de enfriamiento (CFE, 2005).



**Figura 3.3.** Proceso de generación de energía eléctrica.

La masa de gases incondensables ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ) que no se absorbe en el agua de condensado, se descarga a la atmósfera a través de tubos de venteo y/o de las chimeneas de los ventiladores de las torres de enfriamiento (CFE, 2005).

### 3.4. Estimación de las emisiones de H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub> del campo geotérmico Cerro Prieto, Mexicali

Con información obtenida del Manifiesto de Impacto Ambiental del proyecto geotermoeléctrico Cerro Prieto V, se realizó el cálculo de la emisión de H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub> a partir de los siguientes datos (CFE, 2005):

- La Capacidad Total Instalada (CTI) en Cerro Prieto es de 720 MW.
- En el 2006 el Total de Vapor Demandado (TVD) para generar 5 x 10<sup>6</sup> MW/h fue de 5175 t/h.

El Total de Vapor Requerido (TVR) para generar 1 Megawatt (MW) se obtuvo a partir de la Ec.6:

$$\frac{TVR}{MW} = \frac{TVD_{2006}}{Energía\ Generada} \quad Ec. 6$$

$$\frac{TVR}{MW} = \frac{5175 \frac{t}{h}}{5 \times 10^6 \frac{MW}{h}} = 0.0010 \frac{t}{MW}$$

- La Generación Neta Total (GNT) en Baja California es de 8719.21 GW/h de la cual 4706.87 GW/h (4.707 x 10<sup>6</sup> MW/h) pertenece a C.P. I, II, III y IV.

El TVR por hora para 4.707 x 10<sup>6</sup> MW/h es:

$$\frac{TVR}{h} = \left( 4.707 \times 10^6 \frac{MW}{h} \right) \left( 0.0010 \frac{t}{MW} \right) = 4.707 \times 10^3 \frac{t}{h}$$

- La composición de la corriente de vapor que utiliza el campo geotérmico para generar electricidad está compuesta por gases incondensables (equivalentes al 3 % vapor), de los cuales 96% pertenece al CO<sub>2</sub>, 3.5% es de H<sub>2</sub>S y 0.5% de NH<sub>3</sub> (CFE, 2005).

Por lo tanto la cantidad de H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub> presente en la corriente de vapor será de:

$$H_2S = \left( 4.707 \times 10^3 \frac{t}{h} \right) (0.03)(0.035) = 4.9424 \frac{t_{H_2S}}{h}$$

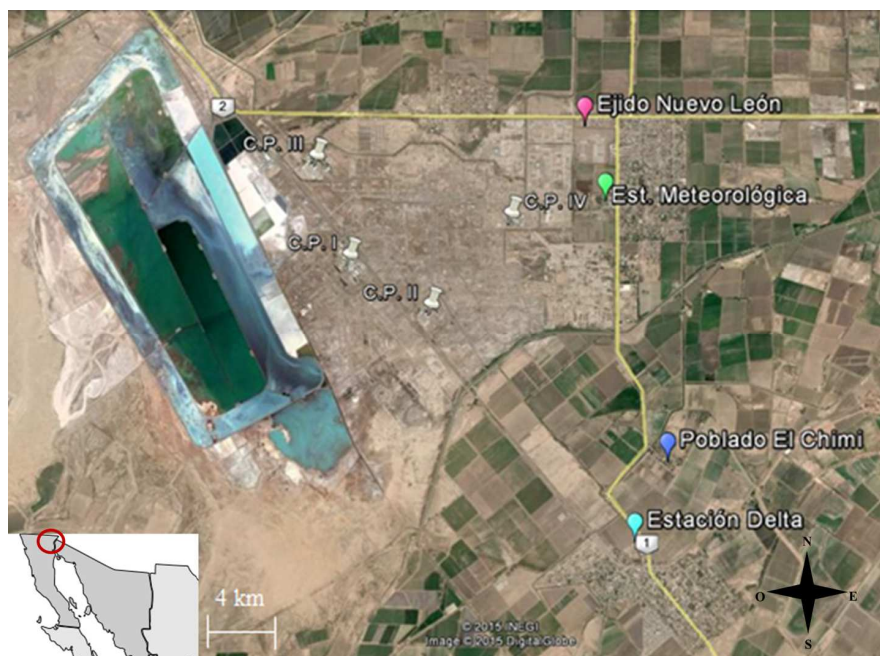
$$\left(4.9424 \frac{t_{H_2S}}{h}\right) \left(\frac{1000 \text{ Kg}}{1 t}\right) = 4.942 \times 10^3 \frac{\text{Kg}_{H_2S}}{h}$$

$$NH_3 = \left(4.707 \times 10^3 \frac{t}{h}\right) (0.03)(0.005) = 0.7061 \frac{tNH_3}{h}$$

$$\left(0.7061 \frac{tNH_3}{h}\right) \left(\frac{1000 \text{ Kg}}{1 t}\right) = 706.1000 \frac{\text{Kg}NH_3}{h}$$

### 3.5. Descripción de los sitios de muestreo de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>

Tres sitios de muestreo fueron seleccionados de acuerdo a la ubicación alrededor del campo geotérmico y por la característica de ser habitables; Ejido Nuevo León, Poblado el Chimi y Estación Delta, con distancias al centro de la planta geotérmica de 3.2, 4.7 y 5.2 km, respectivamente. En la Figura 3.4 se muestra la ubicación de los sitios de muestreo y la estación meteorológica alrededor de la planta geotérmica.



**Figura 3.4.** Sitios de muestreo alrededor de la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En la Tabla 3.2 se muestra la ubicación y población de los sitios de muestreo (CFE, 2005).

**Tabla 3.2.** Características de los sitios de estudio.

Sitio de estudio	Ubicación	Población
Ejido Nuevo León	32.41° latitud N, 115.19° longitud O	3255
Poblado el Chimi	32.37° latitud N, 115.18° longitud O	178
Estación Delta- Ejido Oaxaca	32.36° latitud N, 115.19° longitud O	5278

## 3.6. Meteorología en la región de Cerro Prieto

### 3.6.1. Temperatura

La temperatura promedio anual para el área de estudio varía de 21.2 °C – 23 °C, siendo los meses más cálidos julio y agosto, con valores superiores a los 30 °C; y los meses más fríos son enero y diciembre con temperaturas por debajo de los 13 °C. Para la estación meteorológica de Cerro Prieto, ubicada en el Ejido Hidalgo se han registrado valores de hasta 50 °C como temperatura máxima del mes de julio y - 4.5 °C como temperatura mínima en el mes de febrero (CFE, 2005).

### 3.6.2. Humedad Relativa

De acuerdo con los registros obtenidos en la estación meteorológica de Cerro Prieto, durante el periodo 1990-2005, la humedad relativa promedio anual calculada con base a la temperatura del aire y bulbo húmedo es de 45.9 % llegando a descender en algunos meses hasta el 10 % (CFE, 2005).

En la Tabla 3.3 se muestra la temperatura y humedad relativa promedio mensual de la región de Cerro Prieto (CFE, 2005).

**Tabla 3.3.** Valores promedio mensuales y anuales de la estación meteorológica de Cerro Prieto en el Ejido Hidalgo registrados de 1990 - 2005.

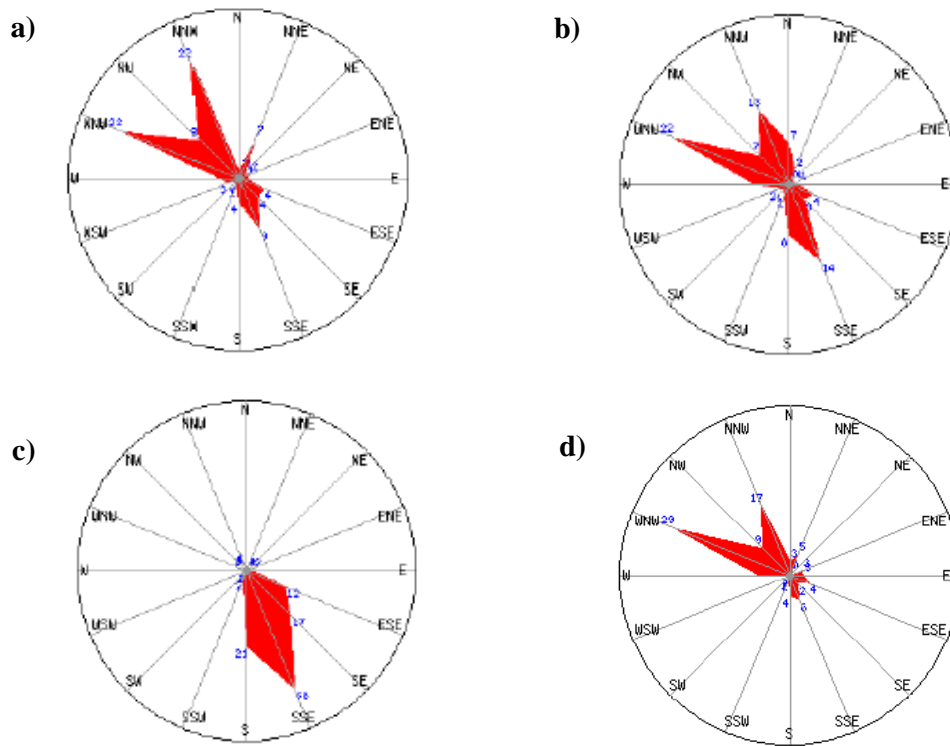
Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T (°C)	12.8	14.9	17.0	20.7	24.8	29.1	32.9	33.0	34.0	23.9	16.6	11.8	22.4
HR (%)	54	53	47	44	41	39	43	47	45	41	42	53	45.9

T (°C) - Temperatura promedio mensual (grados Celsius).

HR (%) - Humedad Relativa promedio mensual (porcentaje).

### 3.6.3. Vientos

Con la finalidad de aislar el efecto urbano y poder conocer el flujo del viento en la región, se obtuvieron datos a partir de la información recabada del aeropuerto, que se encuentra a 20 km del oriente de la ciudad de Mexicali, lo cual se muestran en la Figura 3.5 a partir de las rosas de vientos, en las cuales, el mes de enero es representativo de invierno, abril de primavera, julio de verano, y octubre de otoño (SEMARNAT, 2011).



**Figura 3.5.** Rosa de los vientos de la región de Mexicali para el mes de a) enero, b) abril, c) julio y d) octubre 2005-2008. Fuente: Aeropuerto local, Windfinder.com.

### 3.6.4. Estabilidad atmosférica

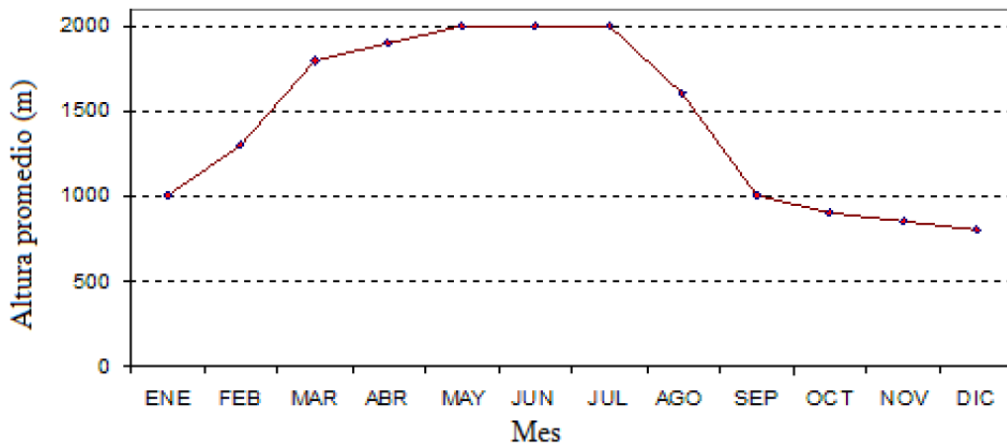
El movimiento vertical de los vientos en la capa límite está controlado por las condiciones de estabilidad, y por lo tanto de la estratificación térmica del aire, es decir, la estabilidad atmosférica tiene que ver con la variación de la temperatura con respecto a la altura, lo cual provoca una dilución de los contaminantes en el aire (SEMARNAT, 2011).

A partir de los métodos utilizados para calcular la estabilidad atmosférica; método de desviación estándar de la dirección horizontal y del ángulo de elevación del viento, método de balance de radiación y energético, se calculó la estabilidad atmosférica en la región de Mexicali durante las campañas temporales 2001 y 2003 (SEMARNAT, 2011).

Los resultados mostraron que la condición estable es la que predominan en la noche con más del 60 % del tiempo, siguiéndole la condición neutra con un 25 % y el 15 % con condición inestable; lo cual indicó que existía un periodo muy corto para una buena dispersión de los contaminantes y un largo periodo en el que existían condiciones adversas (SEMARNAT, 2011).

Durante el día sucedió lo contrario ya que solamente el 5 % del tiempo existieron condiciones de estabilidad, mientras que las condiciones de inestabilidad perduraron con más del 75 %, lo que indicó condiciones adecuadas para una buena dispersión de los contaminantes (SEMARNAT, 2011).

Por otra parte se estimó la altura promedio mensual del espesor máximo de la capa de mezcla, obtenida por interpolación a partir de un estudio realizado por Holzworth (1964) y que se presenta en la Figura 3.6 (SEMARNAT, 2011).



**Figura 3.6.** Altura promedio mensual de la capa de mezcla en Mexicali.

**CAPÍTULO IV**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## **4. PARTE EXPERIMENTAL**

### **4.1. Materiales, equipos y reactivos para el análisis de H<sub>2</sub>S**

#### **Materiales y equipo:**

- Cuerpo difusor azul, RAD 1201, marca Radiello.
- Cartucho químico-adsorbente, RAD 170, marca Radiello.
- Plato soporte, RAD 121, marca Radiello.
- Agitador vortex, modelo M37615, marca Maxi Mix II Thermolyne.
- Espectrofotómetro DR 5000, No. de serie 1376465 marca HACH.

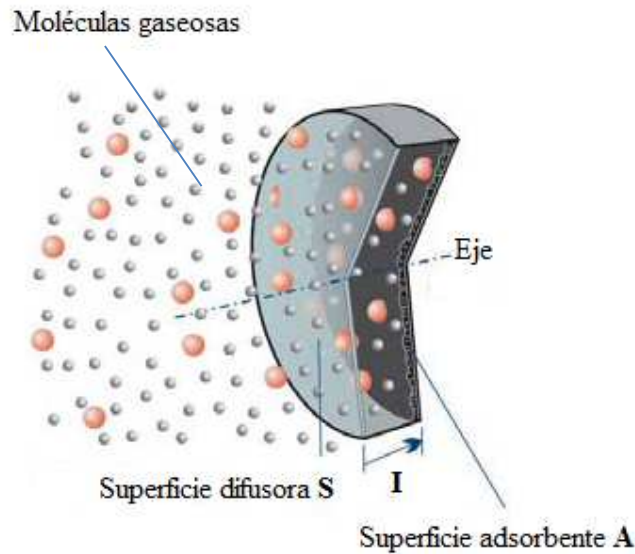
#### **Reactivos:**

- Solución ácido sulfúrico: en un matraz volumétrico de 10 ml lentamente se agregó 1.2 ml de ácido sulfúrico concentrado marca Mallinckrodt grado American Chemical Society (ACS), a 0.5 ml de agua desmineralizada y se dejó enfriar la solución.
- Solución amina: en un matraz volumétrico de 5 ml se disolvieron 0.03 g de oxalato de N, N-dimetil-p-fenildiamonio en 171 µL de la solución ácido sulfúrico y se diluyó a 5 ml con una solución ácido sulfúrico - agua 1:1 v/v. Posteriormente la solución se transfirió a un frasco ámbar, el cual se mantuvo cerrado y a baja temperatura.
- Solución cloruro férrico: en un vaso de precipitados se disolvieron 10 g de cloruro férrico hexahidratado en 4 ml de agua desmineralizada. Posteriormente la disolución se transfirió a un vial.
- Solución cloruro férrico - amina: en un frasco ámbar se mezcló 1 ml de cloruro férrico con 5 ml de la solución amina. Esta solución siempre se preparó para cada periodo de muestreo.

## 4.2. Muestreo y cuantificación de H<sub>2</sub>S

### 4.2.1. Principio de un muestreador difusor marca Radiello

Un muestreador difusor es una caja cilíndrica cerrada formada por una superficie difusora y una adsorbente. Impulsadas por un gradiente de concentración, las moléculas gaseosas atraviesan la superficie difusora y son atrapadas por la superficie adsorbente. La Figura 4.1 muestra las superficies que forman a un muestreador difusor (Radiello, 2006).



**Figura 4.1.** Superficies difusora y adsorbente de un muestreador difuso.

En el gradiente de concentración  $dC/dl$ , las moléculas gaseosas se difunden a través de la superficie **S** y se adsorben en la superficie **A** a lo largo de **I**, paralelo al eje de la caja cilíndrica. Las moléculas son adsorbidas eventualmente por la superficie **A** de acuerdo a la Ec.7:

$$\frac{dm}{dt} = DS \frac{dC}{dl} \quad \text{Ec.7}$$

Donde **dm** es la masa adsorbida durante **dt** y **D** es el coeficiente de difusión.

Sea **C** la concentración en la superficie difusora y **C<sub>o</sub>** la concentración en la superficie adsorbente, la integral de la Ec. 7 se presenta en la Ec.8:

$$\frac{m}{t} = D \frac{S}{l} (C - C_o) \quad \text{Ec. 8}$$

Si la concentración en la superficie adsorbente se desprecia, la Ec. 8 se aproxima a la Ec. 9:

$$\frac{m}{t C} = D \frac{S}{l} = Q \quad \text{Ec. 9}$$

Y finalmente se obtiene la Ec. 10:

$$C = \frac{m}{t Q} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde **Q** es la velocidad de muestreo expresada en l/min, **m** es la masa colectada en µg, **t** el tiempo de muestreo en min y **C** es la concentración en µg/l.

Por lo tanto, si **Q** es constante, para calcular la concentración del aire, solo se necesita cuantificar la masa del analíto atrapado por el material adsorbente, y tomar nota del tiempo de exposición de los muestreadores difusores.

Para mejorar la sensibilidad analítica, **m** debe ser incrementada ampliando **Q**. Como **D** es una constante, uno solo puede tratar de mejorar la relación **S/l**, nombrada la constante geométrica del muestreador. Desafortunadamente, en la simetría axial del muestreador, si **S** es agrandada, **A** también debe ser agrandada. Ya que los analítos pueden ser recuperados del muestreador axial solo por extracción a partir de un solvente, cualquier incremento de **A** conduce a un incremento proporcional del volumen del disolvente para la extracción, por lo tanto la mejora de **Q** se ve anulado por el efecto de dilución ( Radiello, 2006).

El valor de la distancia **I** puede reducirse también, pero bajo el valor crítico de 8 mm, la ley de difusividad no es válida en caso de bajas velocidades de aire, ya que la velocidad de adsorción se hace mayor que el suministro de las moléculas del analito en la superficie difusora ( Radiello, 2006).

A partir de este problema, se desarrolló un muestreador Radiello, formado por una superficie cilíndrica exterior que actúa como una membrana de difusión en la cual las moléculas gaseosas se mueven axialmente y paralelo hacia una superficie adsorbente cilíndrica y coaxial a la membrana difusora. Una representación de un muestreador Radiello se presenta en la Figura 4.2 ( Radiello, 2006).

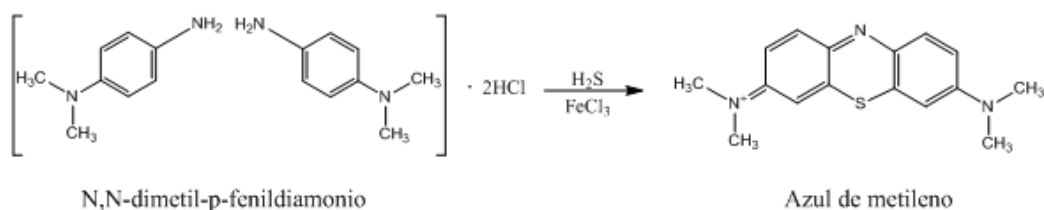


**Figura 4.2.** Muestreador Radiello.

#### 4.2.2. Muestreo y análisis cuantitativo de H<sub>2</sub>S

El muestreo en campo se realizó a través de la colocación de difusores marca Radiello a una altura de 1.5 - 2 metros, donde el H<sub>2</sub>S se difundió a través del cuerpo difusor azul (RAD 1201) que contenía al cartucho químico-adsorbente (RAD 170) impregnado con acetato de zinc, dando como resultado sulfuro de zinc.

El sulfuro de zinc se extrajo con agua desmineralizada, y se le adicionó una solución de cloruro férrico-amina para formar azul de metileno, el cual se cuantificó por el método de espectrofotometría visible. En la Figura 4.3 se observa la formación de azul de metileno a partir de sulfuro de hidrógeno en contacto con la solución cloruro férrico-amina (Radiello, 2006).



**Figura 4.3.** Formación de azul de metileno a partir de sulfuro de hidrógeno en contacto con la solución de cloruro férrico-amina.

Para la cuantificación de H<sub>2</sub>S se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se agregaron 10 ml de agua al tubo de plástico que contenía a RAD 170. Se tapó y se mezcló vigorosamente con un agitador vortex.
2. Se adicionaron 0.5 ml de la solución cloruro férrico-amina, se tapó y agitó inmediatamente para evitar que el sulfuro de hidrógeno se escapara antes de que reaccionara.
3. Se esperó durante 30 min y se midió absorbancia a 665 nm usando agua desmineralizada como cero en el espectrofotómetro.
4. Con un cartucho no expuesto se repitieron los pasos 1,2 y 3 para obtener el valor del blanco.
5. Se sustrajo el valor de la absorbancia del blanco a cada una de las absorbancias de las muestras. La concentración de H<sub>2</sub>S en µg/ml se obtuvo a través de la curva de calibración previamente elaborada (Ver anexo 1).

6. Una vez que se obtuvo la concentración de las muestras, esta se multiplicó por el volumen de solución analizada (10.5 ml) para obtener la masa del analito en  $\mu\text{g}$ .
7. La concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  se corrigió a través de la Ec. 11 (Radiello, 2006):

$$C = \frac{m}{Q_K \cdot t} \cdot 1000 \quad \text{Ec. 11}$$

Donde **C** es la concentración en la superficie difusora (ppb), **m** la masa colectada a través del tiempo ( $\mu\text{g}$ ), **t** el tiempo de muestreo (min) y **Q<sub>K</sub>** la velocidad de muestreo del gas ( $\text{ng} \cdot \text{ppb}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

8. El valor de **Q<sub>K</sub>** a 1 atm de presión se corrigió por efecto de la temperatura de muestreo en grados Kelvin (K) a través de la Ec. 12:

$$Q_K = 0.096 \left( \frac{K}{298} \right)^{3.8} \quad \text{Ec. 12}$$

La velocidad de muestreo se mantuvo invariante con la humedad, en el rango de 10-90% y con una velocidad del viento entre 0.1 y 10 m/s (Radiello, 2006).

El límite de detección es de 42 y 1.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 1 y 24 horas de exposición, respectivamente. La incertidumbre a  $2\sigma$  (desviación estándar) es 8.7% durante la exposición (Radiello, 2006).

### **4.3. Materiales, equipos y reactivos para el análisis de SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>**

#### **Materiales y equipos:**

- Muestreador pasivo, PS-100, marca Ogawa.
- Fibra de celulosa para SO<sub>2</sub>, PS-144, marca Ogawa.
- Fibra de celulosa para NH<sub>3</sub>, PS-154, marca Ogawa.
- Ultrasonido, modelo 08895-27, marca COLE PARMER.
- Espectrofotómetro DR 5000, No. de serie 1376465, marca HACH.

#### **Reactivos para el análisis de SO<sub>2</sub>:**

- Reactivo SulfaVer4, marca HACH.
- Solución de peróxido de hidrógeno (1.75% en peso): en un vial se prepararon 2 ml de solución, adicionando 70 µl de una solución de peróxido de hidrógeno marca HACH al 50% en peso en 1.93 ml de agua desionizada. Esta solución siempre se preparó para cada periodo de muestreo de SO<sub>2</sub>, debido a la estabilidad de la solución.

#### **Reactivos para el análisis de NH<sub>3</sub>:**

- Mineral estabilizador (tartrato de sodio y potasio, citrato de sodio y agua desmineralizada), marca HACH.
- Alcohol polivinilo, marca HACH.
- Reactivo Nessler (hidróxido de sodio e ioduro de mercurio), marca HACH.

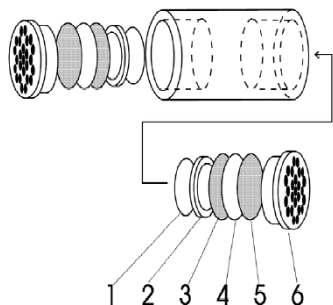
### **4.4. Muestreo y cuantificación de SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>**

#### **4.4.1. Principio de un cartucho de adsorción pasiva marca Ogawa**

La cuantificación de SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> se realizó a través de la colocación de cartuchos de adsorción pasiva marca Ogawa al aire libre.

Los muestreadores Ogawa son dispositivos que se usan para medir compuestos gaseosos en diferentes puntos (Ogawa, 2002).

Un muestreador pasivo consta de dos entradas de aire en la que los filtros de 14.5 mm de diámetro recogen las especies deseadas del medio ambiente. Cada lado del muestreador tiene los siguientes componentes (Ogawa, 2006):



- 1.- Almohadilla sólida.
- 2.- Anillo de retención.
- 3.- Pantalla de acero inoxidable.
- 4.- Filtro recubierto.
- 5.- Pantalla de acero inoxidable.
- 6.- Tapa difusora.

El diseño de las entradas, patentado por Ogawa, minimiza la turbulencia del aire y proporcionan un caudal efectivo a través del tiempo (Ogawa, 2002).

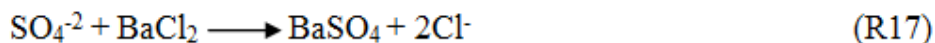
#### 4.4.2. Muestreo y análisis cuantitativo de SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>

Los filtros de fibra de celulosa PS-144, impregnados con tri-etanolamina adsorbieron el SO<sub>2</sub> presente en el ambiente, el cual se extrajo en agua, formando una solución.

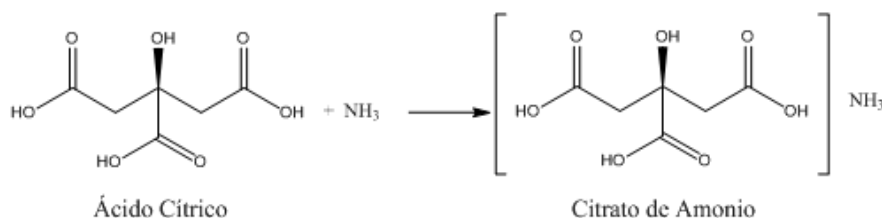
A la solución anterior se le adicionó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, oxidándose el SO<sub>2</sub> a iones SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> presentes en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como se observa en la reacción 16.



En la reacción 16, los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  reaccionaron con el bario contenido en el reactivo SufaVer4 ( $\text{BaCl}_2$ ) y se formó un precipitado de  $\text{BaSO}_4$  (R17), en el cual, la cantidad de turbidez formada fue proporcional a la concentración de sulfato.

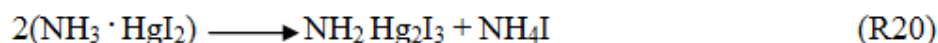


Los filtros de fibra de celulosa PS-154, impregnados con ácido cítrico adsorbieron el  $\text{NH}_3$  presente en el ambiente, el cual se extrajo mediante la adición de agua desionizada formando citrato de amonio, como se observa en la reacción 18.



(R18)

A la solución formada se le adicionó un mineral estabilizador con el objetivo de disminuir la dureza. Posteriormente se adicionó alcohol polivinilo (agente dispersante) que ayudó en la formación del color amarillo cuando se adicionó el reactivo Nessler que reaccionó con los iones amonio, como se observa en las reacciones 19-20 (Nichols et al., 1934).



Para la cuantificación de  $\text{SO}_2$  se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se adicionaron 8 ml de agua desionizada en viales ámbar y enseguida se colocaron los filtros y las pantallas de acero inoxidable de cada muestreador.
2. A cada muestra se le añadió 0.2 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (1.75 % en peso) y se taparon inmediatamente.
3. Los viales ámbar se sometieron a un ultrasonido durante 30 minutos.

4. Para eliminar las impurezas presentes, las soluciones se colectaron con una jeringa de plástico y se hicieron pasar a través de un filtro de celulosa de 25 mm de diámetro y 0.45  $\mu\text{m}$  de porosidad.
5. Se midió la concentración de  $\text{SO}_4^{-2}$  en mg/L con el método HACH 8051 para sulfatos, el cual se describe a continuación:
  - a) Se seleccionó la prueba 680 para sulfatos.
  - b) Se adaptó la celda de una pulgada cuadrada en dirección al usuario.
  - c) Se llenó la celda con 10 ml de muestra.
  - d) Se agregó el reactivo SulfaVer 4 a la celda con la muestra y se agitó vigorosamente para que se llevara a cabo la disolución.
  - e) Se presionó la tecla de tiempo y se esperó 5 minutos para que se llevara a cabo la reacción.
  - f) Se preparó el blanco con agua desmineralizada y se repitieron los pasos d y e.
  - g) Cuando el tiempo expiró, se insertó el blanco en el soporte de celdas con la línea de llenado frente al usuario. Se presionó la tecla CERO y se mostró en pantalla la leyenda 0 mg/L  $\text{SO}_4^{-2}$ .
  - h) Después de los 5 minutos de reacción, se insertó la muestra preparada en el soporte de celdas con la línea de llenado frente al usuario. El resultado se expresó en mg/L de  $\text{SO}_4^{-2}$ .
6. Con un filtro no expuesto se repitieron los pasos 1, 2, 3, 4 y 5 para obtener el valor del blanco.
7. La concentración de  $\text{SO}_4^{-2}$  se corrigió mediante la sustracción del valor del blanco y posteriormente se convirtieron los mg/L de  $\text{SO}_4^{-2}$  a mg/L de  $\text{SO}_2$ , multiplicando el primero por el factor 0.6669 (masa molar de  $\text{SO}_2$  dividida entre la masa molar de  $\text{SO}_4^{-2}$ ).
8. Una vez que se obtuvo la concentración de las muestras, esta se multiplicó por el volumen de solución analizada (0.0082 L) para obtener la masa de analito.
9. La concentración de  $\text{SO}_2$  se corrigió a través de la Ec. 13 y 14 (Ogawa, 2006):

$$SO_2(ppb) = \frac{\alpha_{SO_2} W_{SO_2}}{t} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\alpha_{SO_2} = 39.4 \left( \frac{293}{273 + T} \right)^{1.83} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde  $\alpha_{SO_2}$  es la corrección por efecto de la temperatura,  $W_{SO_2}$  es la cantidad colectada de  $SO_2$  (ng),  $t$  es el tiempo de muestreo (min) y  $T$  es la temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ ).

Normalmente a  $20^{\circ}C$  y a una humedad relativa de 70%,  $\alpha_{SO_2}= 39.4$ .

Para la cuantificación de  $NH_3$  se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se adicionaron 8 ml de agua desionizada en recipientes ámbar y enseguida se colocaron los filtros de cada muestreador.
2. Los frascos se taparon inmediatamente para evitar que el  $NH_3$  se escapara por desorción y se sometieron a un ultrasonido durante 30 minutos.
3. Para eliminar las impurezas presentes, las soluciones se colectaron con una jeringa de plástico y se hicieron pasar a través de un filtro de celulosa de 25 mm de diámetro y  $0.45 \mu m$  de porosidad,
4. Se midió absorbancia a 425 nm con el método HACH 8038 para nitrógeno, amoníaco, el cual se describe a continuación:
  - a) Se seleccionó el programa 2400  $NH_3 - N$  (la longitud de onda 425 nm automáticamente se seleccionó).
  - b) Se agregó agua desmineralizada y la muestra en dos probetas graduadas de 25 ml.
  - c) Se agregaron tres gotas de mineral estabilizador a cada probeta. Se tapó y se invirtió varias veces para obtener un mejor mezclado.
  - d) Se agregaron tres gotas de alcohol polivinilo a cada probeta. Se tapó y se invirtió varias veces para obtener un mejor mezclado.
  - e) Se pipeteó 1 ml de reactivo Nessler, el cual se agregó a cada probeta. Se tapó y se invirtió varias veces para obtener un mejor mezclado. Las muestras tomaron un color amarillo si el  $NH_3$  estaba presente.
  - f) Se presionó la tecla de tiempo y se esperó 1 minuto para que se llevara a cabo la reacción.

- g) Cuando el tiempo expiró, se insertó el blanco en el soporte de celdas con la línea de llenado frente al usuario. Se presionó la tecla CERO y se mostró en pantalla la leyenda 0.000 mg/L N - NH<sub>3</sub>.
- h) Se colocó la muestra preparada en el soporte de celdas con la línea de llenado frente al usuario. El resultado se expresó en mg/L de N - NH<sub>3</sub>.
5. Con un filtro no expuesto se repitieron los pasos 1, 2, 3 y 4 para obtener el valor del blanco.
  6. Se sustrajo el valor de la absorbancia del blanco a cada una de las absorbancias de las muestras. La concentración de NH<sub>3</sub> en mg/L se obtuvo a través de la curva de calibración previamente elaborada (Ver anexo 2).
  7. Una vez que se obtuvo la concentración de las muestras, esta se multiplicó por el volumen de solución analizada (0.008 L), para obtener la masa de analíto.
  8. La concentración de NH<sub>3</sub> se corrigió a través de la Ec. 15 y 16 (Ogawa, 2010) :

$$NH_3(ppb) = \frac{\alpha_{NH_3} W_{NH_3}}{t} \quad \text{Ec. 15}$$

$$\alpha_{NH_3} = 43.8 \left( \frac{293}{273 + T} \right)^{1.83} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde  $\alpha_{NH_3}$  es el coeficiente de conversión,  $W_{NH_3}$  es la cantidad colectada de NH<sub>3</sub> (ng),  $t$  es el tiempo de muestreo (min) y  $T$  es la temperatura ambiente (°C).

Normalmente a 20°C y a una humedad relativa de 70%,  $\alpha_{NH_3} = 43.8$ .

#### 4.5. Cálculo del índice ambiental

El índice de calidad de aire se calculó a través de la Ec.17 (CFE, 2005):

$$IC_{Aire-contaminante} = \frac{\text{Medición del contaminante}}{\text{Criterio de la organización o norma}} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

Calidad del aire  $IC_{\text{Aire-contaminante}} = \text{índice ambiental}$

Criterio de la organización o norma = estándar

Escala:

$IC_{\text{Aire-contaminante}} < 1$  Buena calidad de aire.

$IC_{\text{Aire-contaminante}} = 1$  Límite de concentración aceptable.

$IC_{\text{Aire-contaminante}} > 1$  Mala calidad de aire.

#### **4.6. Modelado a escala local de H<sub>2</sub>S a través del software AERMOD**

Los modelos de dispersión a escala local de H<sub>2</sub>S se realizaron a través del software AERMOD View Ver 6.2.

El periodo de muestreo se llevó a cabo a partir del 29 de Noviembre de 2013 - 21 de Junio de 2014, siendo las estaciones otoño - invierno y primavera - verano representativas de los periodos 29/Nov/13 - 08/Mar/14 y 22/Mar/14 - 21/Jun/14, respectivamente, sin embargo, para obtener los modelos de dispersión representativos de la estación otoño - invierno se seleccionó el periodo del 10/Dic/13 - 12/Dic/13 y para la estación primavera - verano se seleccionó el periodo 13/May/14 - 16/May/14.

Los periodos se seleccionaron de acuerdo a la disponibilidad de datos de concentración obtenidos en campo con la finalidad de poder compararlos con los obtenidos por los modelos de dispersión.

Los datos meteorológicos por hora (velocidad y dirección del viento, presión, porcentaje de humedad relativa y temperatura) fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el Instituto de Ciencias Agrícolas UABC, en el Ejido Nuevo León, con ubicación cercana al campo geotérmico de Cerro Prieto.

En la Tabla 4.1 se muestran los datos promedios de operación, los cuales se alimentaron al software AERMOD View Ver 6.2 para obtener los modelos de dispersión de las fuentes puntuales de emisión; C.P. I, II, III y IV. Estos parámetros, se obtuvieron a partir de los datos que se muestran en la Tabla 3.1 (Ver sección 3.2).

**Tabla 4.1.** Datos promedios de operación alimentados al software AERMOD.

Central eléctrica	Parámetros de chimenea		Emisión de gases		
	Altura efectiva (m)	Diámetro Interno (m)	Temperatura (K)	Velocidad (m/s)	Flujo (m <sup>3</sup> /s)
<b>C.P. I</b>	54.7	0.4	325.2	5.7	66.8
<b>C.P. II</b>	40.2	0.3	385.2	24.1	59.8
<b>C.P. III</b>	40.2	0.3	388.7	33.2	296.3
<b>C.P. IV</b>	54.9	0.6	329.2	8.1	520

Para el desarrollo de los modelos de dispersión se uso un tiempo promedio por periodo para comparar las concentraciones de H<sub>2</sub>S obtenidas por los modelos de dispersión con las obtenidas en los muestreos del periodo en estudio.

Los parámetros de la capa superficial de la atmósfera y las líneas de isoconcentración de H<sub>2</sub>S se calcularon con los pre-procesadores AERMET y AERMAP, respectivamente.

#### **4.7. Modelado a escala regional de H<sub>2</sub>S a través del software Hysplit**

Los modelos de dispersión a escala regional de H<sub>2</sub>S se realizaron a través del software Hybrid Single Particle Lagrangian, versión 4 (Hysplit4).

Para obtener los modelos de dispersión representativos de la estación invierno, primavera, verano y otoño del año 2012 se seleccionaron los periodos del 01/Ene/12 - 15/Ene/12, 01/Abr/12 - 15/Abr/12, 01/Jul/12 - 15 Jul/12 y 01/Oct/12 - 15/Oct/12, respectivamente, mientras que para obtener los modelos de dispersión representativos de la estación invierno y primavera del año 2013 se seleccionaron los periodos del 01/Ene/13 - 15/Ene/13 y 01/Abr/13 - 15/Abr/13, respectivamente.

Los archivos meteorológicos correspondientes al periodo de estudio, se obtuvieron de acuerdo a su disponibilidad, a partir de la página web Air Resources Laboratory (ARL) con formato Eta Data Assimilation System (EDAS) con una resolución de 40 km.

En el software se dieron de alta las coordenadas de la planta geotérmica de Cerro Prieto con 32.4 latitud norte y -115.2 longitud oeste a una altura de 12 metros sobre el nivel del mar.

El flujo de emisión de H<sub>2</sub>S alimentado al programa, se obtuvo según los cálculos de la estimación de H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub> proveniente de la planta geotérmica de Cerro Prieto (Ver sección 3.4.).

Los modelos de dispersión se obtuvieron a una altura de 2 metros y se omitieron las reacciones químicas, la deposición seca y húmeda.

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los periodos de muestreo (otoño-invierno 2013 y primavera-verano 2014) en la Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

Se muestran las gráficas de las series de tiempo de concentración de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> y las gráficas de concentración con respecto a las variables meteorológicas (velocidad del viento, dirección del viento y temperatura). Lo anterior nos permite representar la variación espacial y temporal de los contaminantes en el sitio de estudio y su posible dependencia con las variables meteorológicas.

Además se incluye el análisis estadístico de los datos de concentración para cada periodo de muestreo.

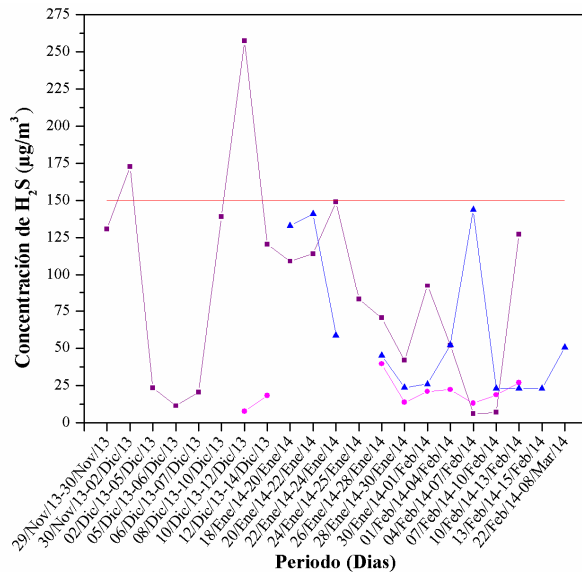
Finalmente se presentan los modelos de dispersión a escala local y regional, obtenidos para los años 2012, 2013 y 2014, los cuales se obtuvieron a través del software AERMOD View Ver 6.2 y Hysplit4.

### **5.1. Variación espacial y temporal de H<sub>2</sub>S**

#### **5.1.1. Variación espacial de H<sub>2</sub>S en el periodo otoño-invierno 2013**

En la Figura 5.1 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S correspondientes al periodo estacional otoño - invierno 2013 para los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

Como se puede observar, en la Estación Delta, las concentraciones de H<sub>2</sub>S sobrepasan en dos ocasiones, el límite de 150 µg/m<sup>3</sup> que establece la OMS, con valores de 172.6 y 257.2 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en el Poblado El Chimi las concentraciones no sobrepasan el límite establecido por la OMS, pero si se encuentran cercanos a esta, a diferencia del Ejido Nuevo León cuya concentración más alta fue de 39.5 µg/m<sup>3</sup>.

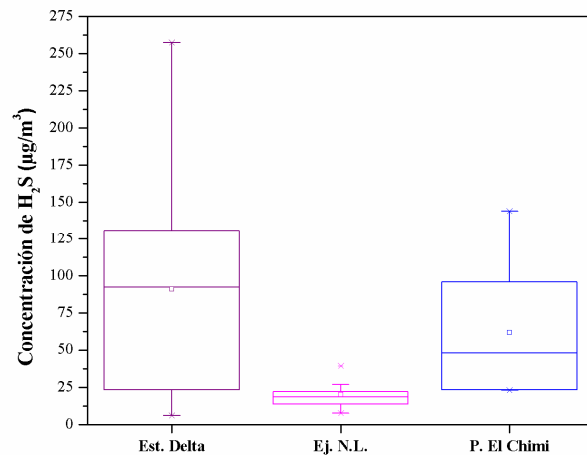


**Figura 5.1.** Concentración de H<sub>2</sub>S con respecto al tiempo del periodo otoño-invierno 2013

(—■— Est. Delta, —●— Ej. N.L., —▲— P. El Chimi, — OMS).

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestran en la Figura 5.2. Los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi presentan una concentración media (mediana) de 90.9 (92.3), 20.1 (18.7) y 61.9 (47.85) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos son de 6 - 257.2, 7.6 - 39.5 y 23 - 143.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La comparación de las concentraciones de H<sub>2</sub>S muestra que los sitios que están expuestos a altas concentraciones de H<sub>2</sub>S, son la Estación Delta y El Poblado El Chimi a diferencia del Ejido Nuevo León.



**Figura 5.2.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H<sub>2</sub>S de otoño-invierno 2013.

#### 5.1.1.1. Correlación de H<sub>2</sub>S con las variables meteorológicas en el periodo otoño-invierno 2013

El efecto de la velocidad del viento en las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestra en la Figura 5.3, para el periodo otoño - invierno 2013.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 24/Ene/14 - 25/Ene/14 y 01/Feb/14 - 04/Feb/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.21 m/s y 83.1 µg/m<sup>3</sup> y 1.37 m/s y 51.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 10/Dic/13 - 12/Dic/13 y 30/Ene/14 - 01/Feb/14 donde las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.46 m/s y 257.2 µg/m<sup>3</sup> y 2.41 m/s y 92.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor velocidad del viento las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen, debido a que se presenta una alta dispersión del contaminante.

Sin embargo, en los periodos del 20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 10/Feb/14 - 13/Feb/14 las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 0.65 m/s y 114.2 µg/m<sup>3</sup> y 1.18 m/s y 127.1 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan al aumentar la velocidad del viento. Este comportamiento puede deberse a la

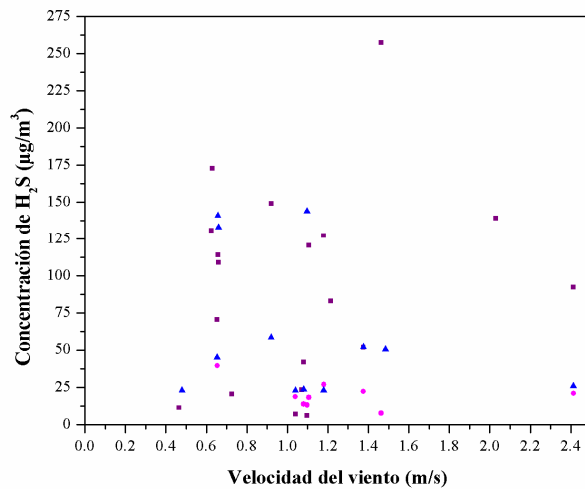
dirección del viento en los periodos de estudio (20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 10/Feb/14 - 13/Feb/14), cuyos valores son 236.68 y 193.13°N, debido a que la Estación Delta se encuentra localizada en el intervalo de 180-270 °N viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 30/Ene/14 - 01/Feb/14, 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 22/Feb/14 - 08/Mar/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 2.41 m/s y 26 µg/m<sup>3</sup>, 1.37 m/s y 52.2 µg/m<sup>3</sup> y 1.48 m/s y 50.6 µg/m<sup>3</sup> y respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan al disminuir la velocidad del viento.

Sin embargo, en los periodos del 20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14 las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 0.65 m/s y 140.9 µg/m<sup>3</sup> y 1.09 m/s y 143.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan al aumentar la velocidad del viento. Este comportamiento puede deberse, para el primer periodo (20/Ene/14 - 22/Ene/14) a las turbulencias del viento presentes en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente, mientras que para el segundo periodo (04/Feb/14 - 07/Feb/14), el comportamiento puede deberse a la dirección del viento de 103.93°N, debido a que el Poblado El Chimi se encuentra localizado en el intervalo de 90-180 °N viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 10/Dic/13 - 12/Dic/13 y 26/Ene/14 - 28/Ene/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.46 m/s y 7.6 µg/m<sup>3</sup> y 0.65 m/s y 39.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen al aumentar la velocidad del viento.

Sin embargo, en los periodos del 04/Feb/14 - 07/Feb/14 y 10/Feb/14 - 13/Feb/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.09 m/s y 13.1 µg/m<sup>3</sup> y 1.18 m/s y 26.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumenta cuando la velocidad del viento aumenta. Este, comportamiento en los periodos de estudio (04/Feb/14 - 07/Feb/14 y 10/Feb/14 - 13/Feb/14) puede deberse a las turbulencias del viento presentes en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.



**Figura 5.3.** Concentración de H<sub>2</sub>S con respecto a la velocidad del viento del periodo otoño-invierno 2013 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la dirección del viento en las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestra en la Figura 5.4, para el periodo otoño - invierno 2013.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 30/Nov/13 - 02/Dic/13 y 10/Dic/13 - 12/Dic/13, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 268.30 °N y 172.6 µg/m<sup>3</sup> y 226.87 °N y 257.2 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento se debe a que la Estación Delta se encuentra localizada en el intervalo de 180 - 270 °N (con vientos provenientes del Norte y Noreste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 12/Dic/13 - 14/Dic/13 y 22/Ene/14 - 24/Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 137.76 °N y 120.5 µg/m<sup>3</sup> y 119.74 °N y 149 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen altas concentraciones de H<sub>2</sub>S en el intervalo de 90 - 180°N. Este comportamiento en los periodos de estudio (12/Dic/13 - 14/Dic/13 y 22/Ene/14 - 24/Ene/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o aun incremento en el flujo de emisión de la fuente.

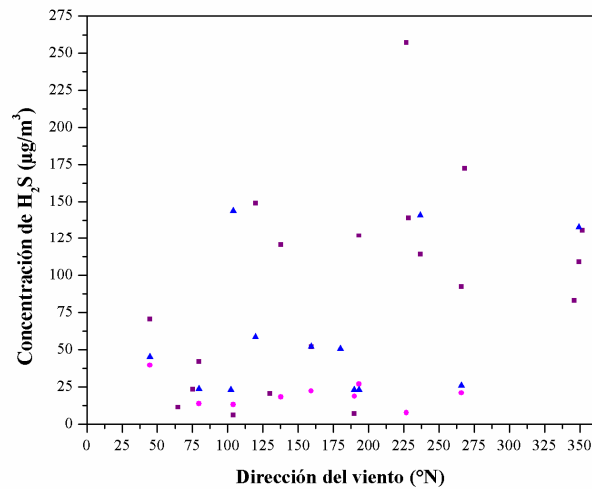
En el Poblado El Chimi, se observa que en el periodo del 04/Feb/14 - 07/Feb/14, la dirección del viento y concentración de H<sub>2</sub>S es de 103.93 °N y 143.9 µg/m<sup>3</sup>. Este comportamiento puede deberse a que el Poblado El Chimi se encuentra localizado en el intervalo de 90 - 180 °N (con vientos provenientes del Oeste y Noroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 349.3°N y 133 µg/m<sup>3</sup> y 236.68 °N y 140.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen altas concentraciones de H<sub>2</sub>S en el intervalo de 180 - 360°N. Este comportamiento en los periodos de estudio (18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 26/Ene/14 - 28/Ene/14 y 28/Ene/14 - 30/Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 44.76 °N y 39.5 µg/m<sup>3</sup> y 79.64 °N y 13.7 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento se debe a que el Ejido Nuevo León se encuentra localizado en el intervalo de 0 - 90 °N (con vientos provenientes del Sur y Suroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en el periodo del 10/Feb/14 - 13/Feb/14, la dirección del viento y concentración de H<sub>2</sub>S es de 193.13 °N y 26.9 µg/m<sup>3</sup>, por lo tanto, existen concentraciones de H<sub>2</sub>S cuando la dirección del viento se encuentra en el intervalo de 180 - 270 °N. Este comportamiento en el periodo de estudio (10/Feb/14 - 13/Feb/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

Los resultados obtenidos en los modelos de dispersión (Ver sección 5.8.1) durante el periodo del 10/Dic/13-12/Dic/13 muestran líneas de isoconcentración en el rango de 312-372 µg/m<sup>3</sup> en la Estación Delta y Poblado El Chimi, con dirección del viento al sureste en mayor frecuencia (Ver Figura 5.41). Por lo tanto, los datos de concentración de H<sub>2</sub>S experimentales de la Estación Delta en el periodo de estudio (10/Dic/13-12/Dic/13) coinciden con los obtenidos en los modelos de dispersión.



**Figura 5.4.** Concentración de H<sub>2</sub>S con respecto a la dirección del viento del periodo otoño-invierno 2013 (▪ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la temperatura ambiente en las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestra en la Figura 5.5, para el periodo otoño - invierno 2013.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 10/Dic/13 - 12/Dic/13 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 9.57 °C y 257.2 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta.

Sin embargo, en los periodos del 07/Feb/14 - 10/Feb/14 y 10/Feb/14 - 13/Feb/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 15.89 °C y 6.9 µg/m<sup>3</sup> y 18.39 °C y 127.1 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (07/Feb/14 - 10/Feb/14 y 10/Feb/14 - 13/Feb/14), puede deberse a la direcciones del viento de 189.95 y 193.13 °N, debido a que la Estación Delta se encuentra localizada en el intervalo de 180 - 270 °N viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

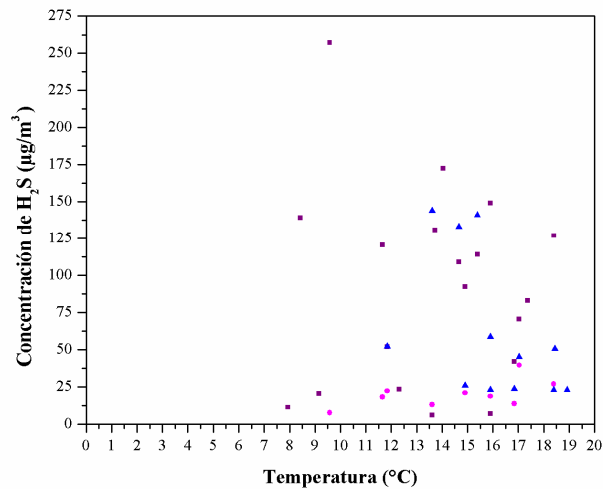
En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 13/Feb/14 - 15/Feb/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de

H<sub>2</sub>S son de 15.39 °C y 140.9 µg/m<sup>3</sup> y 18.92 °C y 23 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta.

Sin embargo, en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las temperaturas ambiente y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 11.84 °C y 52.2 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 143.9 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14), puede deberse a las direcciones del viento de 159.27 y 103.93 °N, debido a que el Poblado El Chimi se encuentra localizado en el intervalo de 90 - 180 °N viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En el Ejido Nuevo León, se observa que para los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las temperaturas ambiente y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 11.84 °C y 22.2 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 13.1 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 28/Ene/14 - 30/Ene/14 y 30/Ene/14 - 01/Feb/14, donde las temperaturas ambiente y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 16.84 °C y 13.7 µg/m<sup>3</sup> y 14.9 °C y 21 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 10/Dic/13 - 12/Dic/13 y 26/Ene/14 - 28/Ene/14, las temperaturas ambiente y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 9.57 °C y 7.6 µg/m<sup>3</sup> y 17.03°C y 39.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (10/Dic/13 - 12/Dic/13 y 26/Ene/14 - 28/Ene/14), puede deberse a las direcciones del viento de 226.87 y 44.76 °N, por lo tanto, la concentración de H<sub>2</sub>S en el primer periodo (10/Dic/13 - 12/Dic/13) disminuyen, debido a la dirección viento arriba con respecto al Ejido Nuevo León que se encuentra localizado en el intervalo de 0-90 °N, mientras que en el segundo periodo (26/Ene/14 - 28/Ene/14), las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan debido a la dirección viento abajo con respecto al Ejido Nuevo León que se encuentra localizado en el intervalo de 0-90 °N.

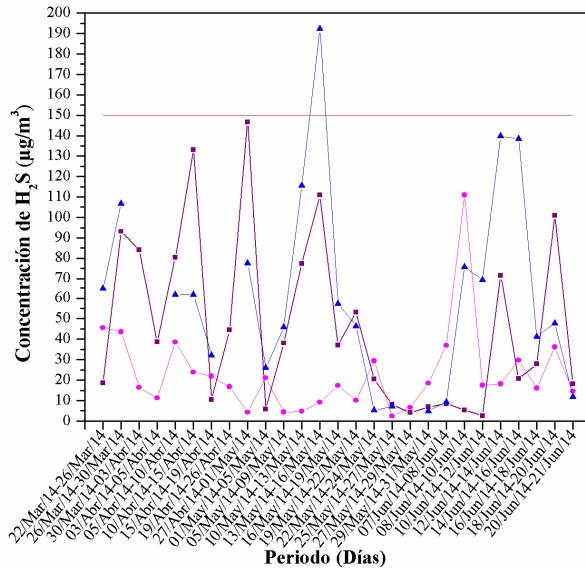


**Figura 5.5.** Concentración de H<sub>2</sub>S con respecto a la temperatura del periodo otoño-invierno 2013 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

### 5.1.2. Variación espacial de H<sub>2</sub>S en el periodo primavera-verano 2014

En la Figura 5.6 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S correspondientes al periodo estacional primavera-verano 2014 para los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

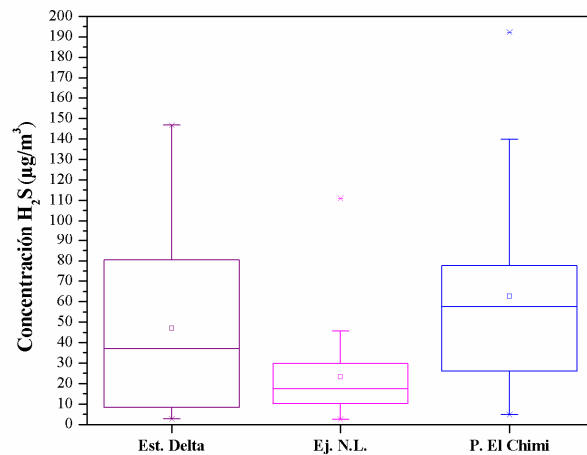
Como se puede observar, en el Poblado El Chimi, las concentraciones de H<sub>2</sub>S sobrepasan en una ocasión el límite de 150 µg/m<sup>3</sup> que establece la OMS, con un valor de 192.3 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en la Estación Delta las concentraciones no sobrepasan el límite establecido por la OMS, pero si se encuentran cercanos a esta, a diferencia del Ejido Nuevo León cuya concentración más alta es de 111 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5.6.** Concentración de H<sub>2</sub>S con respecto al tiempo del periodo primavera-verano 2014 (— Est. Delta, — Ej. N.L., — P. El Chimi, — OMS).

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestran en la Figura 5.7. Los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi presentan una concentración media (mediana) de 46.9 (36.9), 23.1 (17.4) y 62.5 (57.4) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos son de 2.6 - 146.7, 2.4 - 111 y 4.8 - 192.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La comparación de las concentraciones de H<sub>2</sub>S muestra que los sitios que están expuestos a altas concentraciones de H<sub>2</sub>S, son la Estación Delta y el Poblado El Chimi a diferencia del Ejido Nuevo León.



**Figura 5.7.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H<sub>2</sub>S de primavera-verano 2014.

En el Anexo 7 se muestra la gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H<sub>2</sub>S de otoño-invierno 2013 y primavera-verano 2014 para cada sitio de estudio. En la Estación Delta se presenta una mayor desviación de datos del promedio de 65.1 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en el Poblado El Chimi se presenta una menor desviación de datos del promedio de 62.4 µg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto, existe una mayor dispersión de concentraciones de H<sub>2</sub>S en la Estación Delta que en el Poblado El Chimi.

#### 5.1.2.1. Correlación de H<sub>2</sub>S con las variables meteorológicas en el periodo primavera - verano 2014

El efecto de la velocidad del viento en las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestra en la Figura 5.8, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 07/Jun/14 - 08/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.38 m/s y 8.4 µg/m<sup>3</sup> y 0.91 m/s y 101 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar se presenta en los periodos del 01/May/14 - 05/May/14 y 12/Jun/14 - 14/Jun/14, donde las velocidades y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.7 m/s y 5.7 µg/m<sup>3</sup> y 1.29 m/s y 71.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor velocidad del viento las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen, debido a que se presenta una alta dispersión del contaminante.

Sin embargo, en los periodos del 10/Abr/14 - 15/Abr/14 y 16/May/14 - 19/May/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.40 m/s y 133.2 µg/m<sup>3</sup> y 1.30 m/s y 36.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar se presenta en los periodos del 27/Abr/14 - 01/May/14 y 10/Jun/14 - 12/Jun/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 2.7 m/s y 146.7 µg/m<sup>3</sup> y 1.60 m/s y 2.6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan cuando la velocidad del viento aumenta. Este comportamiento en los periodos del 10/Abr/14 - 15/Abr/14 y 16/May/14 - 19/May/14, puede deberse a los cambios en la temperatura ambiente de 23°C y 27.90 °C, respectivamente, mientras que en los periodos del 27/Abr/14 - 01/May/14 y 10/Jun/14 - 12/Jun/14, la temperatura ambiente es de 22.40°C y 29.99 °C, respectivamente, por lo tanto, cuando la temperatura ambiente aumenta las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen.

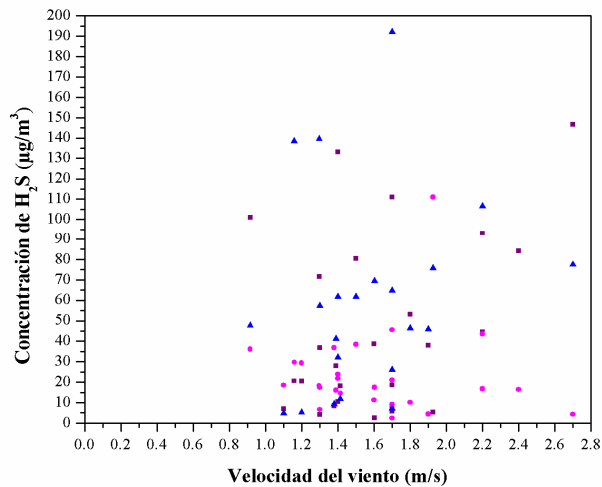
En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 22/May/14 - 24/May/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.20 m/s y 5.2 µg/m<sup>3</sup> y 0.91m/s y 47.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 25/May/14 - 27/May/14 y 14/Jun/14 - 16/Jun/14, donde las velocidades y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.70 m/s y 7.1 µg/m<sup>3</sup> y 1.16 m/s y 138.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a menor velocidad del viento las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan.

Sin embargo, en los periodos del 13/May/14 - 16/May/14 y 12/Jun/14 - 14/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.70 m/s y 192.3 µg/m<sup>3</sup> y 1.29 m/s y 139.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Este comportamiento para el periodo del 13/May/14 - 16/May/14, puede deberse a la dirección del viento de 132.5°N debido a que el Poblado El Chimi se encuentra localizado en el intervalo de 90 - 180°N viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto, mientras que en el periodo del 12/Jun/14 - 14/Jun/14, el comportamiento puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un decremento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 27/May/14 - 29/May/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.3 m/s y 6.6 µg/m<sup>3</sup> y 0.91 m/s y 36.1 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar,

se presenta en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, donde velocidad del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.71 m/s y 45.5 µg/m<sup>3</sup> y 2.7 m/s y 4.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor velocidad del viento las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen, debido a que se presenta una alta dispersión del contaminante.

Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 07/Jun/14 - 08/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 1.7 m/s y 45.5 µg/m<sup>3</sup> y 1.38 m/s y 36.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumenta cuando la velocidad del viento aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 07/Jun/14 - 08/Jun/14), puede deberse a la temperatura ambiente de 20.4 y 36.9 °C, por lo tanto, cuando aumenta la temperatura ambiente las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen, debido a que existe una mayor dispersión del contaminante.



**Figura 5.8.** Concentración de H<sub>2</sub>S con respecto a la velocidad del viento del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

En el Anexo 8 se presenta la gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H<sub>2</sub>S con respecto a los vientos calmados (0.3-1.5 m/s) para el periodo otoño-invierno 2013 y primavera-verano 2014 (NOAA, 2008).

En el periodo otoño-invierno de 2013 y primavera-verano de 2014 se presentan concentraciones de H<sub>2</sub>S con vientos calmados con una media (mediana) de 65.91 (43.5) y 38.39 (25.9) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, con una desviación estándar de 60.23 y 39.92 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto existe una mayor variación de datos de concentración de H<sub>2</sub>S durante el periodo otoño-invierno de 2013 a diferencia del periodo primavera-verano de 2014. Esto puede deberse a la alta concentración de H<sub>2</sub>S y estabilidad ocasionada por los vientos calmados en el periodo otoño-invierno de 2013 a diferencia del periodo primavera-verano de 2014 donde existe una baja concentración de H<sub>2</sub>S y estabilidad ocasionada por los vientos ligeros.

El efecto de la dirección del viento en las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestra en la Figura 5.9, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 26/Mar/14 - 30/Mar/14, 30/Mar/14 - 03/Abr/14, 05/May/14 - 09/May/14 y 10/May/14 - 13/May/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 232.3 °N y 93.1 µg/m<sup>3</sup>, 215.2 °N y 84.1 µg/m<sup>3</sup>, 206.7 °N y 38.1 µg/m<sup>3</sup> y 255.9 °N y 77.4 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento se debe a que la Estación Delta se localiza en el intervalo de 180 - 270 °N (con vientos provenientes del Norte y Noreste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 10/Abr/14 - 15/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 137 °N y 133.2 µg/m<sup>3</sup> y 345.9 °N y 146.7 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de H<sub>2</sub>S en los intervalos de 90 - 180 y 270 - 360 °N. Este comportamiento, en los periodos de estudio (10/Abr/14 - 15/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un aumento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Poblado El Chimi, se observa que en el periodo del 13/May/14 - 16/May/14, la dirección del viento y concentración de H<sub>2</sub>S es de 132.5 °N y 192.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento se debe a que el Poblado El Chimi se encuentra localizado en el intervalo de 90 - 180 °N (con vientos provenientes del Oeste y Noroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

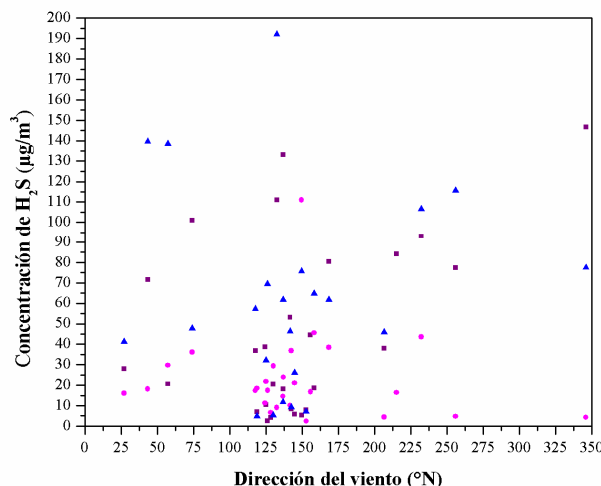
Sin embargo, en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 349.3 °N y 133 µg/m<sup>3</sup> y 236.68 °N y 140.9 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de H<sub>2</sub>S en el intervalo de 180 - 360 °N. Este comportamiento en los periodos de estudio (18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 12/Jun/14 - 14/Jun/14, 14/Jun/14 - 16/Jun/14, 16/Jun/14 - 18/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 43.27 °N y 18.2 µg/m<sup>3</sup>, 57.30 °N y 29.7 µg/m<sup>3</sup>, 27.13 °N y 16 µg/m<sup>3</sup> y 74.18 °N y 36.1µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento se debe a que el Ejido Nuevo León se encuentra localizado en el intervalo de 0 - 90 °N (con vientos provenientes del Sur y Suroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 26/Mar/14 - 30/Mar/14, las direcciones del viento y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 158.3 °N y 45.5 µg/m<sup>3</sup> y 232.3 °N y 43.6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de H<sub>2</sub>S en el intervalo de 90 - 270 °N. Este comportamiento en los periodos de estudio (22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 26/Mar/14 - 30/Mar/14), puede deberse a las velocidades del viento de 1.7 m/s y 2.2 m/s, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen cuando la velocidad del viento aumenta y se presenta una buena dispersión del contaminante.

Los resultados obtenidos en los modelos de dispersión (Ver sección 5.8.1) durante el periodo del 13/May/14-16/May/14 muestran líneas de isoconcentración en los rangos de 112-167, 167-221 y 221-275 µg/m<sup>3</sup> en la Estación Delta, Poblado El Chimi y Ejido Nuevo León, respectivamente, con vientos en todas direcciones y con mayor frecuencia al suroeste (Ver Figura 5.43). Por lo tanto, los datos de concentración

de H<sub>2</sub>S experimentales del Poblado El Chimi en el periodo de estudio (13/May/14-16/May/14) coinciden con los obtenidos en los modelos de dispersión.



**Figura 5.9.** Concentración de H<sub>2</sub>S con respecto a la dirección del viento del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ● Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

En el Anexo 9 se muestra la gráfica de barra y bigotes de todas las concentraciones de H<sub>2</sub>S encontradas en los sitios de estudio, con respecto a la dirección viento abajo y viento arriba durante los periodos otoño-invierno 2013 y primavera-verano 2014, en la cual se observa que las concentraciones más altas de H<sub>2</sub>S se encuentran en otoño-invierno (O-I) y primavera-verano (P-V) con dirección viento arriba a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Los resultados obtenidos no muestran una relación con el fundamento teórico, ya que las concentraciones más altas de H<sub>2</sub>S se deben de encontrar en el periodo otoño-invierno y primavera-verano viento abajo a la planta geotérmica de Cerro Prieto. Este comportamiento se explica en los Anexos 10 y 11.

El efecto de la temperatura ambiente en las concentraciones de H<sub>2</sub>S se muestra en la Figura 5.10, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 26/Mar/14 - 30/Mar/14 y 01/May/14 - 05May/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 19.3 °C y 93.1 µg/m<sup>3</sup> y 25.2 °C y 5.7 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar se

presenta en los periodos del 05/Abr/14 - 10/Abr/14 y 10/Jun/14 - 12/Jun/14, donde las temperaturas ambientales y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 22.4 °C y 80.4 µg/m<sup>3</sup> y 29.99 °C y 2.6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento muestra que al aumentar la temperatura ambiente las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 03/Abr/14 - 05/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 17.1 °C y 38.6 µg/m<sup>3</sup> y 22.4 °C y 146.7 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de H<sub>2</sub>S aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (03/Abr/14 - 05/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 22/May/14 - 24/May/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 20.4 °C y 64.8 µg/m<sup>3</sup> y 23.5 °C y 5.2 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar se presenta en los periodos del 10/May/14 - 13/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14, donde las temperaturas ambientales y las concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 24.1 °C y 115.7 µg/m<sup>3</sup> y 29.7 °C y 4.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento muestra que al aumentar la temperatura ambiente las concentraciones de H<sub>2</sub>S disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 13/May/14 - 16/May/14, 12/Jun/14 - 14/Jun/14 y 14/Jun/14 - 16/Jun/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de H<sub>2</sub>S son de 27.30 °C y 192.3 µg/m<sup>3</sup>, 30.40 °C y 139.8 µg/m<sup>3</sup> y 28.22 °C y 138.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto existen altas concentraciones de H<sub>2</sub>S para altas temperaturas ambientales. Este comportamiento, para el periodo del 13/May/14 - 16/May/14, puede deberse a la dirección del viento de 132.50 °N, debido a que el Poblado El Chimi se localiza en el intervalo de 90 - 180 °N viento abajo con respecto al campo geotérmico de Cerro Prieto, mientras que para los periodos de estudio del 12/Jun/14 - 14/Jun/14 y 14/Jun/14 - 16/Jun/14, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

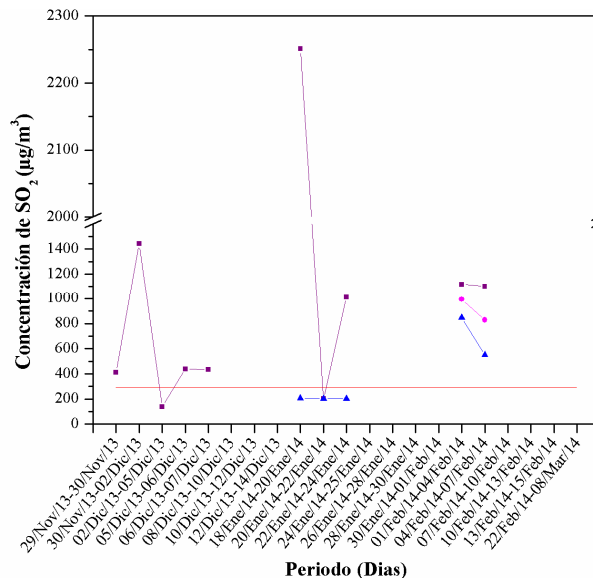


## 5.2. Variación espacial y temporal de SO<sub>2</sub>

### 5.2.1. Variación espacial de SO<sub>2</sub> en el periodo otoño - invierno 2013

En la Figura 5.11 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de SO<sub>2</sub> correspondientes al periodo otoño-invierno 2013 para los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

Como se puede observar, en los tres sitios de estudio, las concentraciones de SO<sub>2</sub> sobrepasan en ocho y dos ocasiones, el límite de 288 µg/m<sup>3</sup> que establece la NOM-022, con valores de 413.1, 1441.3, 437.6, 432.3, 2251.1, 1010.9, 1118.4 y 1102.9 µg/m<sup>3</sup> en la Estación Delta, 994.7 y 829.4 µg/m<sup>3</sup> en el Ejido Nuevo León y 847.1 y 551.4 µg/m<sup>3</sup> en el Poblado El Chimi.

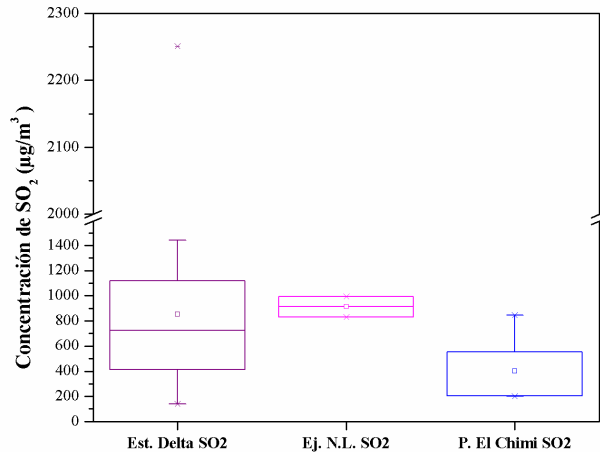


**Figura 5.11.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto al tiempo del periodo otoño-invierno 2013

( —■— Est. Delta, —●— Ej. N.L., —▲— P. El Chimi, — NOM-022).

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de SO<sub>2</sub> se muestran en la Figura 5.12. Los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi presentan una concentración media (mediana) de 855.04 (724.25), 912.05 (912.95) y 401.7 (204.6) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos son de 139.6 - 2251.1, 829.4 - 994.7 y 202.2 - 847.1 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Las comparaciones de las concentraciones de SO<sub>2</sub> muestran que los sitios que están expuestos a altas concentraciones de SO<sub>2</sub>, son la Estación Delta y el Ejido Nuevo León a diferencia del Poblado El Chimi.



**Figura 5.12.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de SO<sub>2</sub> de otoño-invierno 2013.

En el Anexo 15 se muestra la gráfica de concentraciones de SO<sub>2</sub> con respecto a las concentraciones de H<sub>2</sub>S donde se obtuvo una correlación baja de -0.05 y pendiente de 0.8, por lo tanto las concentraciones de SO<sub>2</sub> incrementan al incrementar las concentraciones de H<sub>2</sub>S.

Este comportamiento difiere a lo descrito en el marco teórico, lo cual puede deberse a un incremento en el flujo de emisión de la fuente y a una actividad fotoquímica debido a temperaturas altas presentadas en el periodo otoño-invierno.

### 5.2.1.1. Correlación de SO<sub>2</sub> con las variables meteorológicas en el periodo otoño - invierno 2013

El efecto de la velocidad del viento en las concentraciones de SO<sub>2</sub> se muestra en la Figura 5.13, para el periodo otoño - invierno 2013.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 02/Dic/13 - 05/Dic/13 y 18/Ene/14 - 20/Ene/14, las velocidades del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de

1.07 m/s y 139.60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 0.66 m/s y 2251.10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Un caso similar, se presenta para los periodos del 05/Dic/13 - 06/Dic/13 y 06/Dic/13 - 07/Dic/13, donde las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  de 0.46 m/s y 437.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 0.72 m/s y 432.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen, debido a que se presenta una alta dispersión del contaminante.

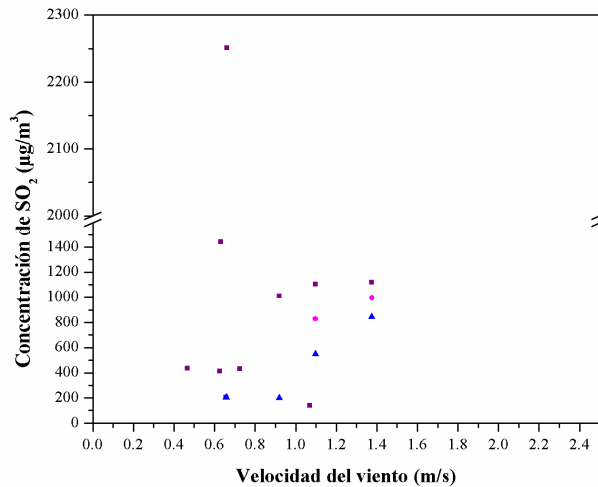
Sin embargo, en los periodos del 22/Ene/14 - 24/Ene/14 y 01/Feb/14 - 04/Feb/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 0.92 m/s y 1010.90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.37 m/s y 1118.40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  aumentan cuando la velocidad del viento aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (22/Ene/14 - 24/Ene/14 y 01/Feb/14 - 04/Feb/14), puede deberse a las temperaturas ambientales de 15.90 y 11.84  $^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  aumentan cuando la temperatura ambiente disminuye.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 22/Ene/14 - 24/Ene/14 las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 0.65 m/s y 203.20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 0.92 m/s y 202.20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen cuando la velocidad del viento aumenta.

Sin embargo, en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14, 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14 las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 0.66 m/s y 204.60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1.37 m/s y 847.10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.09 m/s y 551.40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  aumentan cuando la velocidad del viento aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (18/Ene/14 - 20/Ene/14, 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14), puede deberse a la temperatura ambiente de 14.66, 11.84 y 13.61  $^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  aumentan cuando la temperatura ambiente disminuye.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 1.37 m/s y 994.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.09 m/s y 829.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Este comportamiento en los periodos de estudio (01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 -

07/Feb/14), puede deberse a temperatura ambiente con valores de 11.84 y 13.61 °C, respectivamente, por lo tanto las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta.



**Figura 5.13.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto a la velocidad del viento del periodo otoño-invierno 2013 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la dirección del viento en las concentraciones de SO<sub>2</sub> se muestra en la Figura 5.14, para el periodo otoño - invierno 2013.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 30/Nov/13 - 02/Dic/13 y 20/Ene/14 - 22Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 268.30 °N y 1441.3 µg/m<sup>3</sup> y 236.68 °N y 203.2 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, debido a que la Estación Delta se localiza en el intervalo de 180 - 270 °N (vientos provenientes del Norte y Noreste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

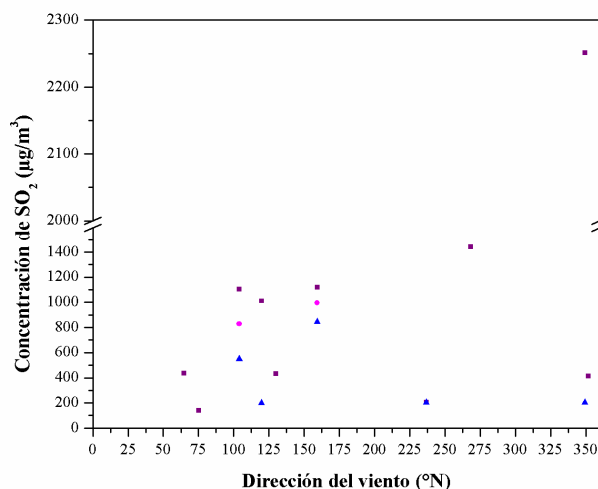
Sin embargo, en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14 las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 349.30 °N y 2251.10 µg/m<sup>3</sup> y 236.68 °N y 203.2 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento en el periodo del 18/Ene/14 - 20/Ene/14, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a la baja temperatura ambiente de 14.66 °C, por lo tanto, se presentan altas concentraciones de SO<sub>2</sub> en el intervalo de 270 - 360 °N, mientras que en el periodo del 20/Ene/14 -

22/Ene/14, la baja concentración de SO<sub>2</sub> puede deberse a un decremento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 22/Ene/14 - 24/Ene/14, 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 119.74 °N y 202.20 µg/m<sup>3</sup>, 159.27 °N y 847.10 µg/m<sup>3</sup> y 103.93 °N y 551.40 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, debido a que el Poblado El Chimi se localiza en el intervalo de 90 - 180 °N (con vientos provenientes del Oeste y Noroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica del Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 349.30 °N y 204.60 µg/m<sup>3</sup> y 236.68 °N y 203.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, se presentan concentraciones de SO<sub>2</sub> en el intervalo de 180 - 360 °N. Este comportamiento en los periodos de estudio (18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14), puede deberse a una disminución en la temperatura ambiente de 14.66 y 15.39 °C o a la turbulencia de los vientos en la región.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 159.27 °N y 994.7 µg/m<sup>3</sup> y 103.93 °N y 829.4 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, se presentan altas concentraciones de SO<sub>2</sub> en el intervalo de 90 - 180 °N, y no para el intervalo de 0 - 90°N viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto, dentro del cual se localiza el Ejido Nuevo León. Este comportamiento puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región que se presentan durante el día.



**Figura 5.14.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto a la dirección del viento del periodo otoño-invierno 2013 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la temperatura ambiente en las concentraciones de SO<sub>2</sub> se muestra en la Figura 5.15, para el periodo otoño - invierno 2013.

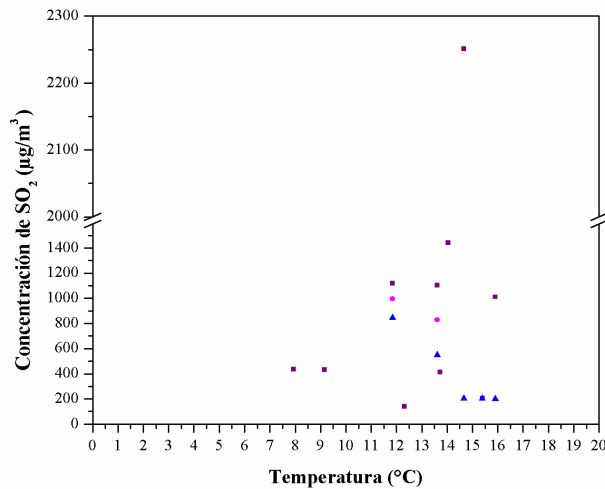
En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 05/Dic/13 - 06/Dic/13 y 06/Dic/13 - 07/Dic/13, las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 7.93 °C y 437.60 µg/m<sup>3</sup> y 9.15°C y 432.30 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 02/Dic/13 - 05/Dic/13 y 01/Feb/14 - 04/Feb/14 donde las temperaturas ambientales y las concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 11.84 °C y 1118.40 µg/m<sup>3</sup> y 12.31 °C y 139.6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 29/Nov/13 - 30/Nov/13 y 18/Ene/14 - 20/Ene/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 13.72 °C y 413.10 µg/m<sup>3</sup> y 14.66 °C y 2251.10 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de SO<sub>2</sub> aumentan al aumentar la temperatura ambiente. Este comportamiento en los periodos de estudio (29/Nov/13 - 30/Nov/13 y 18/Ene/14 - 20/Ene/14), puede deberse a la velocidad del viento de 0.62 y 0.66 m/s, respectivamente, por lo tanto y debido a que la variación en la velocidad del viento es

mínima, la dispersión del SO<sub>2</sub> es baja y se le podría atribuir a una acumulación de las concentraciones de SO<sub>2</sub>.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14, 20/Ene/14 - 22/Ene/14, 22/Ene/14 - 24/Ene/14, 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 14.66 °C y 204.60 µg/m<sup>3</sup>, 15.39 °C y 203.20 µg/m<sup>3</sup>, 15.90 °C y 202.20 µg/m<sup>3</sup>, 11.84 °C y 847.10 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 551.40 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las temperaturas ambientales y las concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 11.84 °C y 994.70 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 829.40 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta.

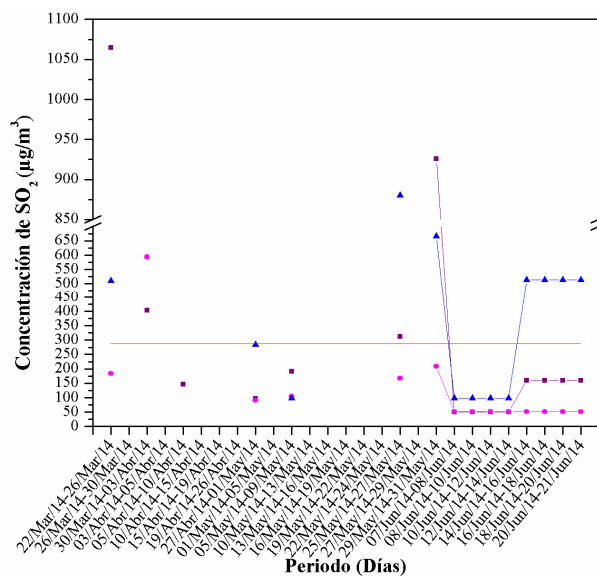


**Figura 5.15.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto a la temperatura del periodo otoño-invierno 2013 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

### 5.2.2. Variación espacial de SO<sub>2</sub> en el periodo primavera - verano 2014

En la Figura 5.16 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de SO<sub>2</sub> correspondientes al periodo primavera - verano 2014 para los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

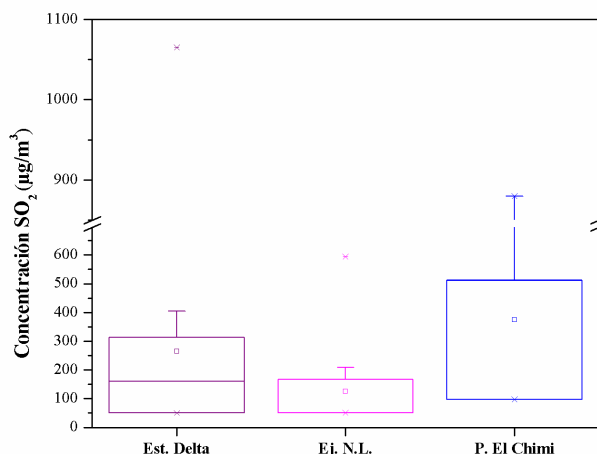
Como se puede observar, en los tres sitios de estudio, las concentraciones de SO<sub>2</sub> sobrepasan en cuatro, una y siete ocasiones, el límite de 288 µg/m<sup>3</sup> que establece la NOM-022, con valores de 1064.8, 404.3, 313.1 y 925.6 µg/m<sup>3</sup>, en la Estación Delta, 593.4 µg/m<sup>3</sup> en el Ejido Nuevo León y 510.6, 879.8, 667 y 513.1 (cuatro veces) µg/m<sup>3</sup> en el Poblado El Chimi.



**Figura 5.16.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto al tiempo del periodo primavera-verano 2014 (—■— Est. Delta, —●— Ej. N.L., —▲— P. El Chimi, — NOM-022).

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de SO<sub>2</sub> se muestran en la Figura 5.17. Los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi presentan una concentración media (mediana) de 265.5 (159.9), 125.4 (51) y 375.5 (510.6) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos son de 50.2 - 1064.8, 50.9 - 593.4 y 97.6 - 879.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La comparación de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  muestra que los sitios que están expuestos a altas concentraciones de  $\text{SO}_2$ , son la Estación Delta y el Poblado El Chimi a diferencia del Ejido Nuevo León.



**Figura 5.17.** Gráfica de barra y bigotes de concentraciones de  $\text{SO}_2$  de primavera-verano 2014.

En el Anexo 13 se muestra la gráfica de concentraciones de  $\text{SO}_2$  con respecto a las concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$  donde se obtuvo una correlación baja de  $-0.008$  y pendiente de  $-0.8$ , por lo tanto las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen al incrementar las concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$ .

Este comportamiento difiere a lo descrito en el marco teórico, lo cual puede deberse a un incremento en el flujo de emisión de la fuente y una alta dispersión provocada por la condición de inestabilidad que se presenta en el periodo primavera-verano.

### **5.2.2.1. Correlación de $\text{SO}_2$ con las variables meteorológicas en el periodo primavera-verano 2014**

El efecto de la velocidad del viento en las concentraciones de  $\text{SO}_2$  se muestra en la Figura 5.18, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 10/Jun/14 - 12/Jun/14 y 14/Jun/14 -16/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 1.60

m/s y  $50.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $1.16 \text{ m/s}$  y  $159.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 30/Mar/14 - 03/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  de  $2.40 \text{ m/s}$  y  $404.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $2.70 \text{ m/s}$  y  $96.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen, debido a que se presenta una alta dispersión del contaminante.

Sin embargo, en los periodos del 29/May/14 - 31/May/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de  $1.10 \text{ m/s}$  y  $925.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0.91 \text{ m/s}$  y  $159.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen al cuando la velocidad del viento disminuye. Este comportamiento en los periodos de estudio (29/May/14 - 31/May/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14), puede deberse a un decremento en el flujo de emisión de la fuente.

Un caso especial se observa en el periodo del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 25/May/14 - 27/May/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de  $1.70 \text{ m/s}$  y  $1064.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $1.70$  y  $313.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, existe una disminución en las concentraciones de  $\text{SO}_2$  mientras que la velocidad del viento se mantiene constante. Este comportamiento en los periodos de estudio (22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 25/May/14 - 27/May/14), puede deberse a la temperatura ambiente de  $20.40$  y  $28.20 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, por lo tanto, cuando la temperatura ambiente aumenta, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 10/Jun/14 -12/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de  $1.60 \text{ m/s}$  y  $97.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0.91 \text{ m/s}$  y  $513.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 05/May/14 - 09/May/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de  $1.70 \text{ m/s}$  y  $510.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $1.90 \text{ m/s}$  y  $98.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen, debido a que se presenta una alta dispersión del contaminante.

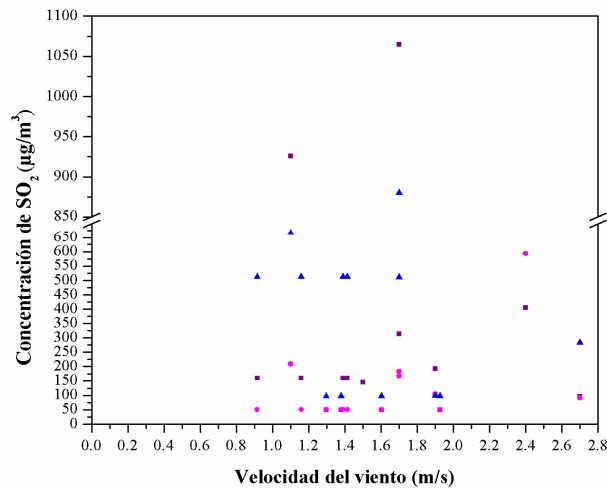
Sin embargo, en los periodos del 25/May/14 - 27/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de  $1.70 \text{ m/s}$  y

879.80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.10 m/s y 667  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Este comportamiento en los periodos de estudio (25/May/14 - 27/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un decremento en el flujo de emisión de la fuente.

Otro de los factores que se puede atribuir a las altas concentraciones de  $\text{SO}_2$  es la dirección del viento de 152.80 y 118.80 °N, respectivamente, debido a que el Poblado El Chimi se localiza en el intervalo de 90 - 180 °N, viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 29/May/14 - 31/May/14 y 10/Jun/14 - 12/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 1.10 m/s y 208.80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.60 m/s y 50.90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 1.70 m/s y 183.60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 2.70 m/s y 91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen, debido a que se presenta una alta dispersión del contaminante.

Sin embargo, en los periodos del 30/May/14 - 03/Abr/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{SO}_2$  son de 2.40 m/s y 593.40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 0.91 m/s y 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Este comportamiento, en los periodos de estudio (30/May/14 - 03/Abr/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14), puede deberse a la temperatura ambiente de 17.70 y 27.90 °C, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta. La presencia de  $\text{SO}_2$  en el periodo 18/Jun/14 - 20/Jun/14 puede deberse a la dirección del viento de 74.18 °N debido a que el Ejido Nuevo León se localiza en el intervalo de 0 - 90 °N, viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.



**Figura 5.18.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto a la velocidad del viento del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ● Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la dirección del viento en las concentraciones de SO<sub>2</sub> se muestra en la Figura 5.19, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 30/Mar/14 - 03/Abr/14 y 05/May/14 - 09/May/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 215.20 °N y 404.30 µg/m<sup>3</sup> y 206.70 °N y 191.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de SO<sub>2</sub> en la Estación Delta debido a su localización en el intervalo de 180 - 270 °N (con vientos provenientes del Norte y Noreste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14, 25/May/14 - 27/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 158.30 °N y 1064.80 µg/m<sup>3</sup>, 152.80 °N y 313.10 µg/m<sup>3</sup> y 118.80 °N y 925.60 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, se presenta una alta concentración de SO<sub>2</sub> en el intervalo de 90 - 180 °N. Este comportamiento en los periodos estudio del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 25/May/14 - 27/May/14, puede deberse a la temperatura ambiente con valores 20.40 y 28.20 °C, respectivamente, por lo tanto las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta. Para los periodos de estudio del 25/May/14 - 27/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14, la presencia de SO<sub>2</sub> se debe a la velocidad del viento de 1.70 y 1.10 m/s, respectivamente, por lo

tanto, cuando las velocidades del viento disminuyen las concentraciones de SO<sub>2</sub> aumentan.

Otro de los factores que causa la presencia de concentraciones de SO<sub>2</sub> en los intervalos de 0 - 90, 90 - 180 y 270 - 360 °N, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región durante el día.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14, 25/May/14 - 27/May/14, 29/May/14 - 31/May/14, 07/Jun/14 - 08/Jun/14, 08/Jun/14 - 10/Jun/14, 10/Jun/14 - 12/Jun/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, las direcciones del viento y las concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 158.30 °N y 510.60 µg/m<sup>3</sup>, 152.80 °N y 879.80 µg/m<sup>3</sup>, 118.80 °N y 667 µg/m<sup>3</sup>, 142.50 °N y 97.60 µg/m<sup>3</sup>, 149.63 °N y 97.60 µg/m<sup>3</sup>, 126.16 °N y 97.60 µg/m<sup>3</sup> y 136.80 °N y 513.10 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de SO<sub>2</sub> en el Poblado El Chimi, debido a su localización en el intervalo de 90 - 180 °N (con vientos provenientes del Oeste y Noroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 14/Jun/14 - 16/Jun/14, 16/Jun/14 - 18/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 57.30°N y 513.10 µg/m<sup>3</sup>, 27.13 °N y 513.10 µg/m<sup>3</sup> y 74.18 °N y 513.10 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existe una alta concentración de SO<sub>2</sub> que se mantiene constante en el intervalo de 0 - 90 °N. Este comportamiento en los periodos de estudio (14/Jun/14 - 16/Jun/14, 16/Jun/14 - 18/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14), puede deberse a la temperatura ambiente con valores de 28.22 °C, 28.14 °C y 27.90 °C, respectivamente, por lo tanto y debido a que la variación en la temperatura ambiente es mínima, la dispersión del SO<sub>2</sub> es baja.

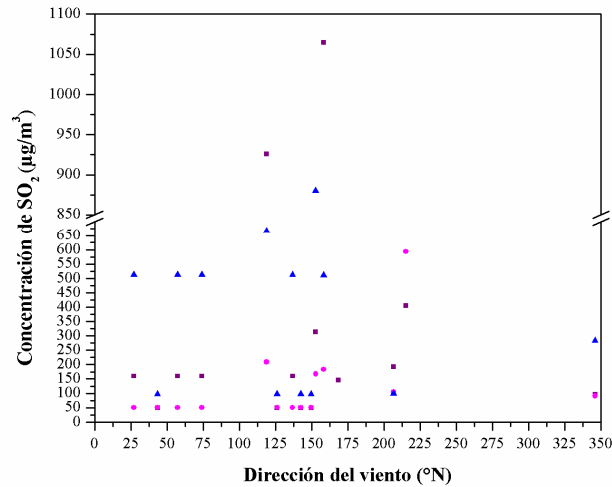
Otro de los factores que causa la presencia de concentraciones de SO<sub>2</sub> en los intervalos de 0 - 90 y 180 - 360 °N, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 12/Jun/14 - 14/Jun/14, 14/Jun/14 - 16/Jun/14, 16/Jun/14 - 18/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 43.47 °N y 50.9 µg/m<sup>3</sup>, 57.30 °N y 51 µg/m<sup>3</sup>, 27.13 °N y 51 µg/m<sup>3</sup> y 74.18 °N y 51 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo

tanto, la presencia de las bajas concentraciones de SO<sub>2</sub> en el Ejido Nuevo León se debe a su localización en el intervalo de 0 - 90 °N (con vientos provenientes del Sur y Suroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 30/Mar/14 - 30/Abr/14, las direcciones del viento y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 158.30 °N y 183.60 µg/m<sup>3</sup> y 215.20 °N y 593.40 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de SO<sub>2</sub> en el intervalo de 90 - 270 °N. Este comportamiento en los periodos de estudio (22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 30/Mar/14 - 30/Abr/14), puede deberse a los cambios en la temperatura ambiente de 20.40 y 17.70 °C, respectivamente, por lo tanto las concentraciones de SO<sub>2</sub> aumentan cuando la temperatura ambiente disminuye.

Otro de los factores que causa la presencia de concentraciones de SO<sub>2</sub> en los intervalos 90 - 180, 180 - 270 y 270 - 360 °N, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región.



**Figura 5.19.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto a la dirección del viento del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ● Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la temperatura ambiente en las concentraciones de SO<sub>2</sub> se muestra en la Figura 5.20, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 05/May/14 - 09/May/14 y 05Abr/14 - 10/Abr/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 21.60 °C y 191.90 µg/m<sup>3</sup> y 22.40 °C y 146.30 µg/m<sup>3</sup>. Un caso similar, se presenta en el los periodos del 12/Jun/14 - 14/Jun/14 y 14/Jun/14 - 16/Jun/14, donde las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 28.22 °C y 159.90 µg/m<sup>3</sup> y 30.40 °C y 50.20 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 30/Mar/14 - 03/Abr/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 20.40 °C y 1064.80 µg/m<sup>3</sup> y 17.70 °C y 404.30 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar, se observa en los periodos del 25/May/14 - 27/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14, donde las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 28.20 °C y 313.10 µg/m<sup>3</sup> y 29.70 °C y 925.60 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de SO<sub>2</sub> aumentan al cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 30/Mar/14 - 03/Abr/14, puede deberse a la velocidad del viento de 1.70 y 2.40 m/s, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen cuando la velocidad del viento aumenta. Otro de los factores que ocasionan la presencia de SO<sub>2</sub> para el periodo de estudio del 30/Mar/14 - 03/Abr/14 es la dirección del viento con 215.20 °N, debido a que la Estación Delta se localiza en el intervalo de 180 - 270 °N, viento abajo con respecto a la planta geotérmica.

Para los periodo de estudio del 25/May/14 - 27/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14, la presencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub>, puede deberse a las velocidades del viento de 1.70 y 1.10 m/s, respectivamente, por lo tanto las concentraciones de SO<sub>2</sub> aumentan cuando la velocidad del viento disminuye. Otro de los factores que ocasiona que las concentraciones de SO<sub>2</sub> aumenten en el periodo de estudio del 25/May/14 - 27/May/14 y 29/May/14 - 31/May/14, puede deberse a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

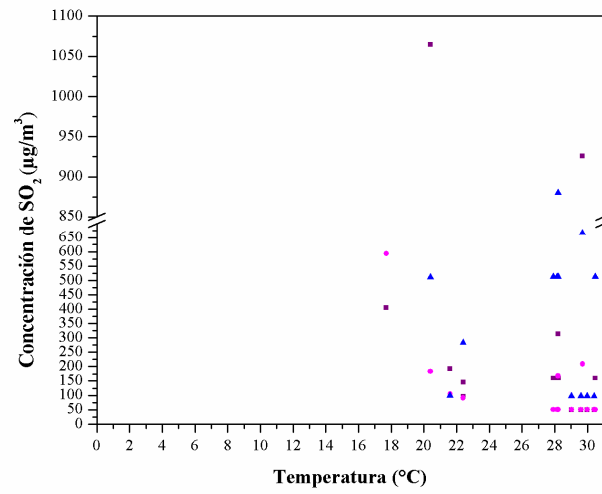
En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 12/Jun/14 - 14/Jun/14 y 16/Jun/14 - 18/Jun/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 30.40 °C y 97.60 µg/m<sup>3</sup> y 28.14 °C y 513.10 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un

caso similar, se presenta en los periodos del 25/May/14 - 27/May/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, donde las temperaturas ambientales y las concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 28.20 °C y 879.80 µg/m<sup>3</sup> y 30.47 °C y 513.10 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 27/Abr/14 - 01/May/14 y 05/May/14 - 09/May/14, las temperaturas ambiente y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 22.40 °C y 283.70 µg/m<sup>3</sup> y 21.60 °C y 98.80 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen cuando la temperatura ambiente disminuye. Este comportamiento en los periodos de estudio (27/Abr/14 - 01/May/14 y 05/May/14 - 09/May/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o al decremento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 30/Mar/14 - 03/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, las temperaturas ambientales y las concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 17.70 °C y 593.40 µg/m<sup>3</sup> y 22.40 °C y 91 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 25/May/14 - 27/May/14 y 12/Jun/14 - 14/Jun/14, donde las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 28.20 °C y 167.50 µg/m<sup>3</sup> y 30.47 °C y 51 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 29/May/14 - 31/May/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de SO<sub>2</sub> son de 29.70 °C y 208.80 µg/m<sup>3</sup> y 27.90 °C y 51 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen cuando la temperatura ambiente disminuye. Este comportamiento en periodos de estudio del 29/May/14 - 31/May/14, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente, mientras que la presencia de concentraciones de SO<sub>2</sub> en el periodo del 18/Jun/14 - 20/Jun/14, puede deberse a la dirección del viento de 74.18 °N, debido a que el Ejido Nuevo León se localiza en el intervalo de 90 - 180 °N, viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.



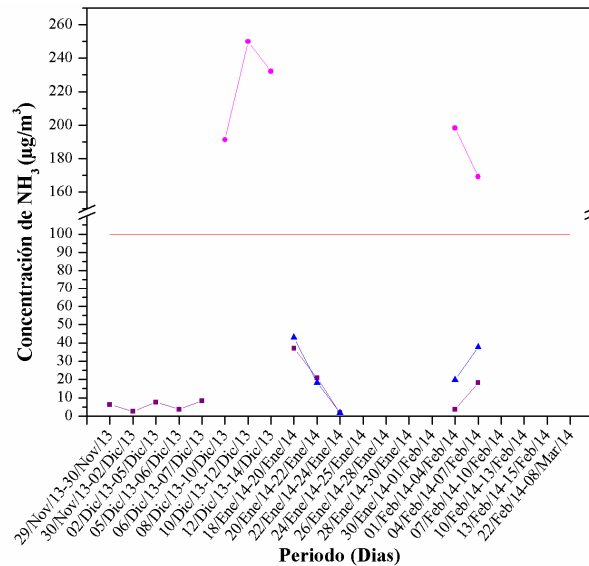
**Figura 5.20.** Concentración de SO<sub>2</sub> con respecto a la temperatura del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

### 5.3. Variación espacial y temporal de NH<sub>3</sub>

#### 5.3.1. Variación espacial de NH<sub>3</sub> en el periodo otoño - invierno 2013

En la Figura 5.21 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de NH<sub>3</sub> correspondientes al periodo otoño - invierno 2013 para los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

Como se puede observar, en el Ejido Nuevo León, las concentraciones de NH<sub>3</sub> sobrepasan en todas las ocasiones de muestreo, el límite de 100 µg/m<sup>3</sup> que establece la OEHHA, con valores de 191.3, 249.9, 232.1, 198.2 y 169.2 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en la Estación Delta y el Poblado El Chimi las concentraciones más altas son 37 y 37.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

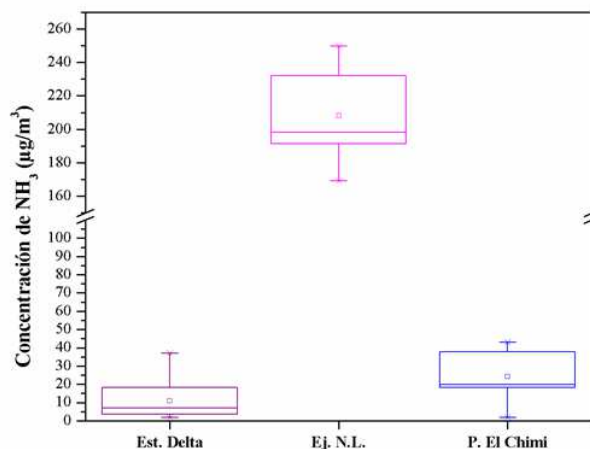


**Figura 5.21.** Concentración de NH<sub>3</sub> con respecto al tiempo del periodo otoño-invierno 2013

( — Est. Delta, — Ej. N.L., — P. El Chimi, — OEHHA).

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de NH<sub>3</sub> se muestran en la Figura 5.22. Los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi presentan una concentración media (mediana) de 10.9 (6.9), 208.14 (198.2) y 24.14 (19.8) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos son de 1.8 - 37, 169.2 - 249.9 y 1.8 - 43 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La comparación de las concentraciones de  $\text{NH}_3$  muestra que el sitio que está expuesto a altas concentraciones de  $\text{NH}_3$  es el Ejido Nuevo León a diferencia de la Estación Delta y el Poblado El Chimi. Este comportamiento, contrario al del  $\text{H}_2\text{S}$ , supone la presencia de una segunda fuente de emisión de  $\text{NH}_3$  proveniente de la actividad ganadera, la cual se encuentra localizada en las proximidades del sitio de muestreo.



**Figura 5.22.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de  $\text{NH}_3$  de otoño-invierno 2013.

### 5.3.1.1. Correlación de $\text{NH}_3$ con las variables meteorológicas en el periodo otoño - invierno 2013

El efecto de la velocidad del viento en las concentraciones de  $\text{NH}_3$  se muestra en la Figura 5.23, para el periodo otoño - invierno 2013.

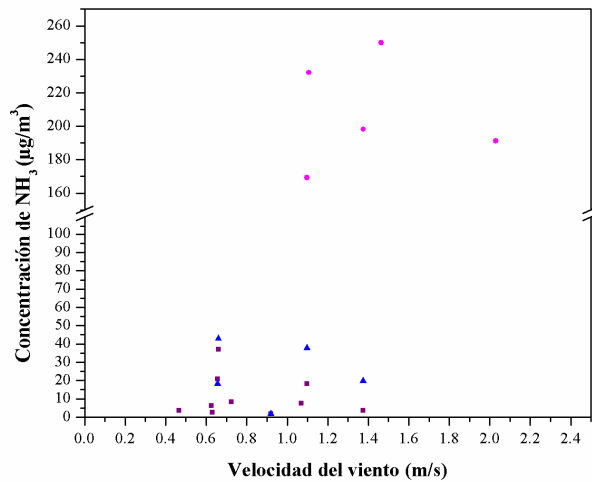
En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 01/Feb/14 - 04/Feb/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 0.65 m/s y 20.80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.37 m/s y 3.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Este escenario, muestra que a mayor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen, debido a que se presenta una mayor dispersión del contaminante.

Sin embargo, en los periodos del 05/Dic/13 - 06/Dic/13 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 0.46 m/s y  $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.09 m/s y  $18.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{NH}_3$  aumentan cuando la velocidad del viento aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (05/Dic/13 - 06/Dic/13 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 22/Ene/14 - 24/Ene/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 0.66 m/s y  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 0.92 m/s y  $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 1.37 m/s y  $19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.09 m/s y  $37.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos dos escenarios, muestran que a menor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{NH}_3$  aumentan.

En Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 08/Dic/13 - 10/Dic/13 y 10/Dic/13 - 12/Dic/13, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 2.03 m/s y  $191.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.46 m/s y  $249.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Este escenario, muestra que a menor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{NH}_3$  aumentan.

Sin embargo, en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 1.37 m/s y  $198.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.09 m/s y  $169.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Este comportamiento en los periodos de estudio (01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14), puede deberse a las temperaturas ambientales de 13.61 y 15.89 °C, respectivamente, por lo tanto, existen altas concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el Ejido Nuevo León, debido a las bajas temperaturas ambientales. Otro de los factores que puede causar la presencia de las altas concentraciones de  $\text{NH}_3$ , es el incremento del flujo de emisión de la fuente.



**Figura 5.23.** Concentración de NH<sub>3</sub> con respecto a la velocidad del viento del periodo otoño-invierno 2013 (▪ Est. Delta, ♦ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la dirección del viento en las concentraciones de NH<sub>3</sub> se muestra en la Figura 5.24, para el periodo otoño - invierno 2013.

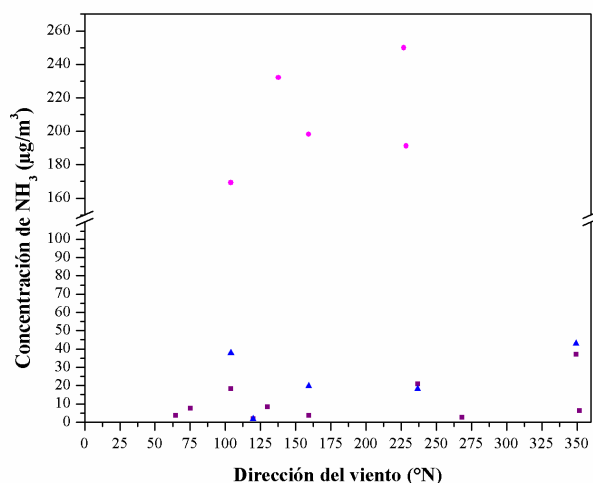
En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 30/Nov/13 - 02/Dic/13 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 268.30 °N y 2.6 µg/m<sup>3</sup> y 236.68 °N y 20.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de NH<sub>3</sub> en la Estación Delta debido a su localización en el intervalo de 180 - 270 °N (con vientos provenientes del Norte y Noreste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 29/Nov/13 - 30/Nov/13, 02/Dic/1 - 05/Dic/13, 05/Dic/13 - 06/Dic/13 y 06/Dic/13 - 07/Dic/13, las direcciones del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 351.80 °N y 6.2 µg/m<sup>3</sup>, 75.16 °N y 7.6 µg/m<sup>3</sup>, 64.59 °N y 3.7 µg/m<sup>3</sup> y 129.90 °N y 8.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de NH<sub>3</sub> en el intervalo de 0 - 90 °N, 90 - 180 °N y de 270 - 360 °N, viento arriba con respecto a la Estación Delta, la cual se localiza en el intervalo de 180 - 270 °N, viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto. Este comportamiento, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 22/Ene/14 - 24/Ene/14, 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las direcciones del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de  $119.74^\circ\text{N}$  y  $1.8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $159.27^\circ\text{N}$  y  $19.8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $103.93^\circ\text{N}$  y  $37.8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el Poblado El Chimi debido a su localización en el intervalo de  $90 - 180^\circ\text{N}$  (con vientos provenientes del Oeste y Noroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14 y 20/Ene/14 - 22/Ene/14, las direcciones del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de  $349.30^\circ\text{N}$  y  $43\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $236.68^\circ\text{N}$  y  $18.3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el intervalo de  $180 - 360^\circ\text{N}$ . Este comportamiento, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región.

En el Ejido Nuevo León, se observa que los periodos del 08/Dic/13 - 10/Dic/13, 10/Dic/13 - 12/Dic/13, 12/Dic/13 - 14/Dic/13, 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las direcciones del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de  $228.51^\circ\text{N}$  y  $191.30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $226.87^\circ\text{N}$  y  $249.90\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $137.76^\circ\text{N}$  y  $232.10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $159.27^\circ\text{N}$  y  $198.20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $103.93^\circ\text{N}$  y  $169.20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto no existe una correlación de la dirección del viento y las concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el Ejido Nuevo León, el cual se localiza en el intervalo de  $0 - 90^\circ\text{N}$  (con vientos provenientes del Sur y Suroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto. Este comportamiento puede deberse a la presencia de una fuente de  $\text{NH}_3$  presente en el sitio de estudio.



**Figura 5.24.** Concentración de NH<sub>3</sub> con respecto a la dirección del viento del periodo otoño-invierno 2013 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de temperatura ambiente en las concentraciones de NH<sub>3</sub> se muestra en la Figura 5.25, para el periodo otoño - invierno 2013.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14, 20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 22/Ene/14 - 24/Ene/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 14.66 °C y 37 µg/m<sup>3</sup>, 15.39 °C y 20.80 µg/m<sup>3</sup> y 15.90 °C y 1.80 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este escenario muestra que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen.

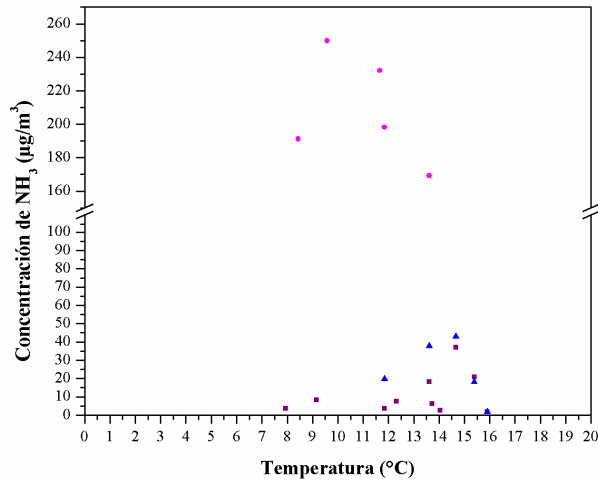
Sin embargo, en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 11.84 °C y 3.50 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 18.20 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de NH<sub>3</sub> aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14), puede deberse a una disminución en la velocidad del viento de 1.37 - 1.09 m/s, lo cual provoca una mayor estabilidad y por lo tanto las concentraciones de NH<sub>3</sub> se incrementan.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 18/Ene/14 - 20/Ene/14, 20/Ene/14 - 22/Ene/14 y 22/Ene/14 - 24/Ene/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 14.66 °C y 43 µg/m<sup>3</sup>, 15.39 °C y 18.30 µg/m<sup>3</sup> y 15.90 °C y 1.80 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este escenario muestra que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 11.84 °C y 19.80 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 37.80 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de NH<sub>3</sub> aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14), puede deberse a una disminución en la velocidad del viento de 1.37 - 1.09 m/s, lo cual provoca una mayor estabilidad y por lo tanto las concentraciones de NH<sub>3</sub> aumentan.

En Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 10/Dic/13 - 12/Dic/13 y 12/Dic/13 - 14/Dic/13, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 9.57 °C y 249.90 µg/m<sup>3</sup> y 11.65 °C y 232.10 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Un caso similar, se presenta en los periodos del 01/Feb/14 - 04/Feb/14 y 04/Feb/14 - 07/Feb/14, donde las temperaturas ambientales y las concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 11.84 °C y 198.20 µg/m<sup>3</sup> y 13.61 °C y 169.20 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estos escenarios, muestran que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 08/Dic/13 - 10/Dic/13 y 10/Dic/13 - 12/Dic/13, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 8.43 °C y 191.30 µg/m<sup>3</sup> y 9.57 °C y 249.90 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de NH<sub>3</sub> aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Este comportamiento en los periodos de estudio (08/Dic/13 - 10/Dic/13 y 10/Dic/13 - 12/Dic/13), puede deberse a la velocidad del viento de 2.03 y 1.46 m/s, respectivamente, por lo tanto, la velocidad del viento disminuye, lo cual provoca una mayor estabilidad y por lo tanto las concentraciones de NH<sub>3</sub> aumentan. Otro de los factores que puede causar la presencia de las altas concentraciones de NH<sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León es el incremento en el flujo de emisión de la fuente.

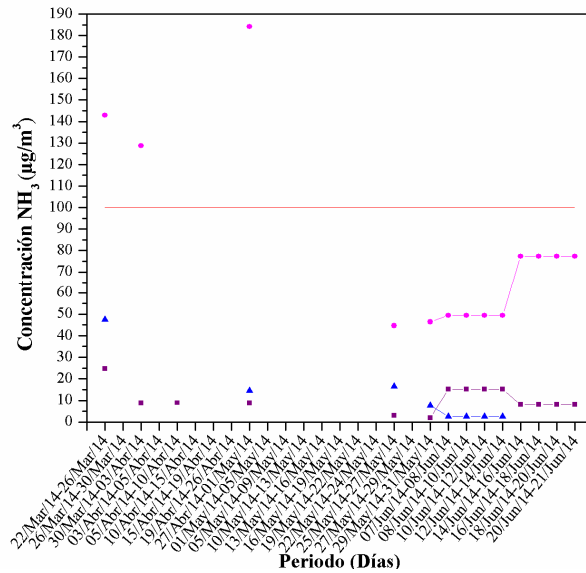


**Figura 5.25.** Concentración de NH<sub>3</sub> con respecto a la temperatura del periodo otoño-invierno 2013 (■ Est. Delta, ● Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

### 5.3.2. Variación espacial de NH<sub>3</sub> en el periodo primavera - verano 2014

En la Figura 5.26 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de NH<sub>3</sub> correspondientes al periodo primavera-verano 2014 para los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

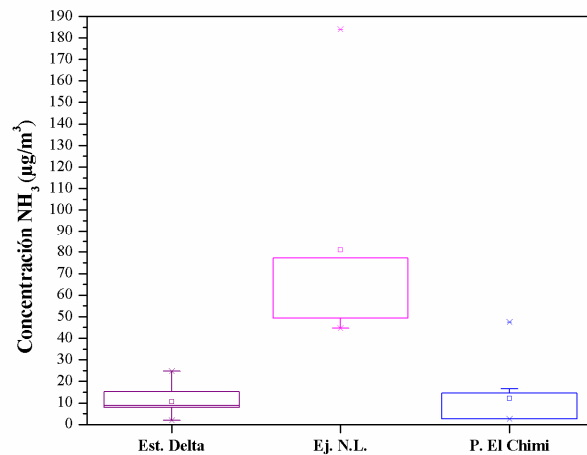
Como se puede observar, en el Ejido Nuevo León, las concentraciones de NH<sub>3</sub> sobrepasan en tres ocasiones, el límite de 100 µg/m<sup>3</sup> que establece la OEHHA, con valores de 142.9, 128.7 y 184.1 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en la Estación Delta y el Poblado El Chimi las concentraciones más altas son 24.8 y 47.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.



**Figura 5.26.** Concentración de NH<sub>3</sub> con respecto al tiempo del periodo primavera-verano 2014 (— Est. Delta, — Ej. N.L., — P. El Chimi, — OEHHA).

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de NH<sub>3</sub> se muestran en la Figura 5.27. Los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi presentan una concentración media (mediana) de 10.6 (8.8), 81 (77.3) y 12 (5.1) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos son de 2 - 24.8, 44.7 - 184.1 y 2.6 - 47.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La comparación de las concentraciones de NH<sub>3</sub> muestra que el sitio que está expuesto a altas concentraciones de NH<sub>3</sub> es el Ejido Nuevo León a diferencia de la Estación Delta y el Poblado El Chimi. Este comportamiento, contrario al del H<sub>2</sub>S, supone la presencia de una segunda fuente de emisión de NH<sub>3</sub> proveniente de la actividad ganadera, la cual se encuentra localizada en las proximidades del sitio de muestreo.



**Figura 5.27.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de NH<sub>3</sub> primavera-verano 2014.

### 5.3.2.1. Correlación de NH<sub>3</sub> con las variables meteorológicas en el periodo primavera - verano 2014

El efecto de la velocidad del viento en las concentraciones de NH<sub>3</sub> se muestra en la Figura 5.28, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, las velocidades del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 1.7 m/s y 24.8 µg/m<sup>3</sup> y 2.7 m/s y 8.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este escenario, muestra que a mayor velocidad del viento las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen, debido a que se presenta una mayor dispersión del contaminante.

Sin embargo, en los periodos del 07/Jun/14 - 08/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 1.38 m/s y 15.1 µg/m<sup>3</sup> y 0.91 m/s y 8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Un caso similar, se presenta en los periodos del 10/Jun/14 - 12/Jun/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 1.60 m/s y 15.1 µg/m<sup>3</sup> y 1.41 m/s y 8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen cuando la

velocidad del viento disminuye. Este comportamiento en los periodos de estudio (07/Jun/14 - 08/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, 10/Jun/14 - 12/Jun/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14), puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.

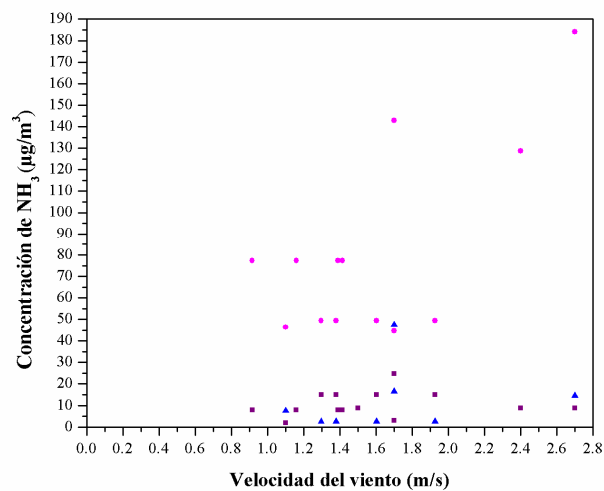
En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 29/May/14 - 31/May/14, y del 10/Jun/14 - 12/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 1.1 m/s y 7.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.60 m/s y 2.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, cuando la velocidad del viento aumenta las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 10/Jun/14 - 12/Jun/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 1.70 m/s y 47.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.60 m/s y 2.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Este comportamiento, en los periodos de estudio (22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 10/Jun/14 - 12/Jun/14), puede deberse a la temperatura ambiente de 20.4 y 29.9 ° C, por lo tanto las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta. Otro de los factores que ocasiona la presencia de  $\text{NH}_3$  en los periodos de estudio (22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 10/Jun/14 - 12/Jun/14), puede deberse a la dirección del viento de 158.3 y 126.1 °N, debido a que el Poblado El Chimi, se localiza en el intervalo de 90 - 180 °N, viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 30/Mar/14 - 03/Abr/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 1.7 m/s y 142.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 2.4 m/s y 128.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Este escenario, muestra que a mayor velocidad del viento las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 27/Abr/14 - 01/May/14 y 25/May/14 - 27/May/14, las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 2.7 m/s y 184.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.7 m/s y 44.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen cuando la velocidad del viento disminuye. Un caso similar, se presenta en los periodos del 29/May/14 - 31/May/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, donde las velocidades del viento y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de 1.1 m/s y 46.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1.41

m/s y  $77.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{NH}_3$  aumentan cuando la velocidad del viento aumenta. Este comportamiento, en los periodos de estudio del 27/Abr/14 - 01/May/14 y 25/May/14 - 27/May/14, puede deberse a las temperaturas ambientales de  $22.4$  y  $28.2$  °C, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen cuando la temperatura ambiente aumenta, mientras que en los periodos de estudio del 29/May/14 - 31/May/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, la presencia de  $\text{NH}_3$  en el Ejido Nuevo León, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente.



**Figura 5.28.** Concentración de  $\text{NH}_3$  con respecto a la velocidad del viento del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ● Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la dirección del viento en las concentraciones de  $\text{NH}_3$  se muestra en la Figura 5.29, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en el periodo del 30/Mar/14 - 03/Abr/14, la dirección del viento y concentración de  $\text{NH}_3$  es de  $215.2$  °N y  $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de  $\text{NH}_3$  en la Estación Delta debido a su localización en el intervalo de  $180 - 270$  °N (con vientos provenientes del Norte y Noreste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

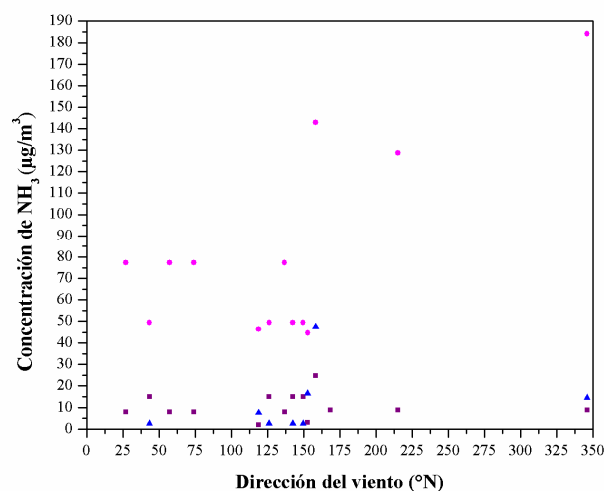
Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14, 05/Abr/14 - 10/Abr/14, 27/Abr/14 - 01/May/14, 25/May/14 - 27/May/14, 29/May/14 - 31/May/14, 07/Jun/14 - 08/Jun/14, 12/Jun/14 - 14/Jun/14, 14/Jun/14 - 16/Jun/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, las direcciones del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 158.3 °N y 24.8 µg/m<sup>3</sup>, 168.5 °N y 8.9 µg/m<sup>3</sup>, 345.9 °N y 8.8 µg/m<sup>3</sup>, 152.8 °N y 3 µg/m<sup>3</sup>, 118.8 °N y 2 µg/m<sup>3</sup>, 142.5 °N y 15.1 µg/m<sup>3</sup>, 43.4 °N y 15.1 µg/m<sup>3</sup>, 57.3 °N y 8 µg/m<sup>3</sup> y 136.8 °N y 8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de NH<sub>3</sub> en el intervalo de 0 - 90 °N, 90 - 180 °N y de 270 - 360 °N, viento arriba con respecto a la Estación Delta, la cual se localiza en el intervalo de 180 -270 °N, viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto. Este comportamiento, puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14, 27/Abr/14 - 01/May/14, 25/May/14 - 27/May/14, 29/May/14 - 31/May/14, 07/Jun/14 - 08/Jun/14 y 12/Jun/14 - 14/Jun/14, las direcciones del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son 158.3 °N y 47.5 µg/m<sup>3</sup>, 345.9 °N y 14.6 µg/m<sup>3</sup>, 152.8 °N y 16.5 µg/m<sup>3</sup>, 118.8 °N y 7.6 µg/m<sup>3</sup>, 142.5 °N y 2.6 µg/m<sup>3</sup> y 43.4 °N y 2.6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto no existe una correlación de la velocidad del viento y las concentraciones de NH<sub>3</sub> en el Poblado El Chimi, el cual se localiza en el intervalo de 180 - 270 °N (con vientos provenientes del Norte y Noreste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto. Este comportamiento puede deberse a la turbulencia de los vientos en la región.

En el Ejido Nuevo León, se observa que los periodos del 12/Jun/14 - 14/Jun/14, 14/Jun/14 - 16/Jun/14, 16/Jun/14 - 18/Jun/14 y 18/Jun/14 - 20/Jun/14, las direcciones del viento y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 43.4 °N y 49.4 µg/m<sup>3</sup>, 57.3 °N y 77.3 µg/m<sup>3</sup>, 27.1°N y 77.3 µg/m<sup>3</sup> y 74.1 °N y 77.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, existen concentraciones de NH<sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León, el cual se localiza en el intervalo de 0 - 90 °N (con vientos provenientes del Sur y Suroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

Sin embargo, en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14, 30/Mar/14 - 03/Abr/14, 27/Abr/14 - 01/May/14, 25/May/14 - 27/May/14, 29/May/14 - 31/May/14, 07/Jun/14 - 08/Jun/14, 10/Jun/14 - 12/Jun/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, las direcciones

del viento y las concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de  $158.3^\circ\text{N}$  y  $142.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $215.2^\circ\text{N}$  y  $128.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $345.9^\circ\text{N}$  y  $184.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $152.8^\circ\text{N}$  y  $44.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $118.8^\circ\text{N}$  y  $46.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $142.5^\circ\text{N}$  y  $49.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $126.1^\circ\text{N}$  y  $49.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $136.8^\circ\text{N}$  y  $77.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, no existe una correlación de la dirección del viento y las concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el Ejido Nuevo León, el cual se localiza en el intervalo de  $0 - 90^\circ\text{N}$  (con vientos provenientes del Sur y Suroeste) viento abajo con respecto a la planta geotérmica de Cerro Prieto. Este comportamiento puede deberse a la presencia de una fuente de  $\text{NH}_3$  presente en el sitio de estudio.



**Figura 5.29.** Concentración de  $\text{NH}_3$  con respecto a la dirección del viento del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ● Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

El efecto de la temperatura ambiente en las concentraciones de  $\text{NH}_3$  se muestra en la Figura 5.30, para el periodo primavera - verano 2014.

En la Estación Delta, se observa que en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 29/May/14 - 31/May/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de  $20.4^\circ\text{C}$  y  $24.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $29.7^\circ\text{C}$  y  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Este escenario muestra que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 12/Jun/14 - 14/Jun/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de  $\text{NH}_3$  son de  $30.4^\circ\text{C}$  y  $15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y

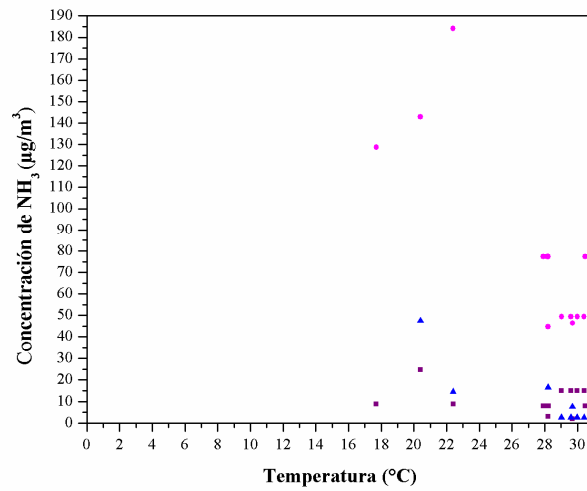
30.4 °C y 8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen cuando la temperatura ambiente se mantiene constante. Un caso similar, se presenta en los periodos del 05/Abr/14 - 10/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, donde las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 22.4 °C y 8.9 µg/m<sup>3</sup> y 22.4 °C y 8.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto no hay una variación significativa en las concentraciones de NH<sub>3</sub> y las temperaturas ambientales se mantienen constantes. Este comportamiento para el periodo del 12/Jun/14 - 14/Jun/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, puede deberse a las velocidades del viento de 1.2 y 1.4 m/s, por lo tanto las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen cuando la velocidad de viento aumenta. Otro de los factores que ocasiona que las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyan, puede deberse a un decremento en el flujo de emisión de la fuente, mientras que en el periodo de estudio del 05/Abr/14 - 10/Abr/14 y 27/Abr/14 - 01/May/14, la variación no significativa de las concentraciones de NH<sub>3</sub>, puede deberse a un flujo de emisión constante de la fuente.

En el Poblado El Chimi, se observa que en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/14 y 12/Jun/14 - 14/Jun/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 20.4 °C y 47.5 µg/m<sup>3</sup> y 30.4 °C y 2.6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este escenario muestra que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen.

En Ejido Nuevo León, se observa que en los periodos del 27/Abr/14 - 01/May/14 y 25/Abr/14 - 27/Abr/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 22.4°C y 184.1 µg/m<sup>3</sup> y 28.2 °C y 44.7 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este escenario, muestra que a mayor temperatura ambiente las concentraciones de NH<sub>3</sub> disminuyen.

Sin embargo, en los periodos del 29/May/14 - 31/May/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 29.7 °C y 46.4 µg/m<sup>3</sup> y 30.4 °C y 77.3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, por lo tanto, las concentraciones de NH<sub>3</sub> aumentan cuando la temperatura ambiente aumenta. Un caso similar, se presenta en los periodos del 22/Mar/14 - 26/Mar/4 y 30/Mar/14 - 03/Abr/14, donde las temperaturas ambientales y concentraciones de NH<sub>3</sub> son de 20.4 °C y 142.9 µg/m<sup>3</sup> y 17.7 °C y 128.7 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Este comportamiento en los periodos de estudio del 29/May/14 - 31/May/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, puede deberse a la

turbulencia de los vientos en la región o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente, mientras que en los periodos de estudio del 29/May/14 - 31/May/14 y 20/Jun/14 - 21/Jun/14, la disminución en las concentraciones de  $\text{NH}_3$ , puede deberse a la velocidad del viento de 1.7 y 2.4 m/s, por lo tanto las concentraciones de  $\text{NH}_3$  disminuyen cuando la velocidad de los vientos aumenta.



**Figura 5.30.** Concentración de  $\text{NH}_3$  con respecto a la temperatura del periodo primavera-verano 2014 (■ Est. Delta, ◆ Ej. N.L., ▲ P. El Chimi).

## 5.4. Series de tiempo de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> por sitio

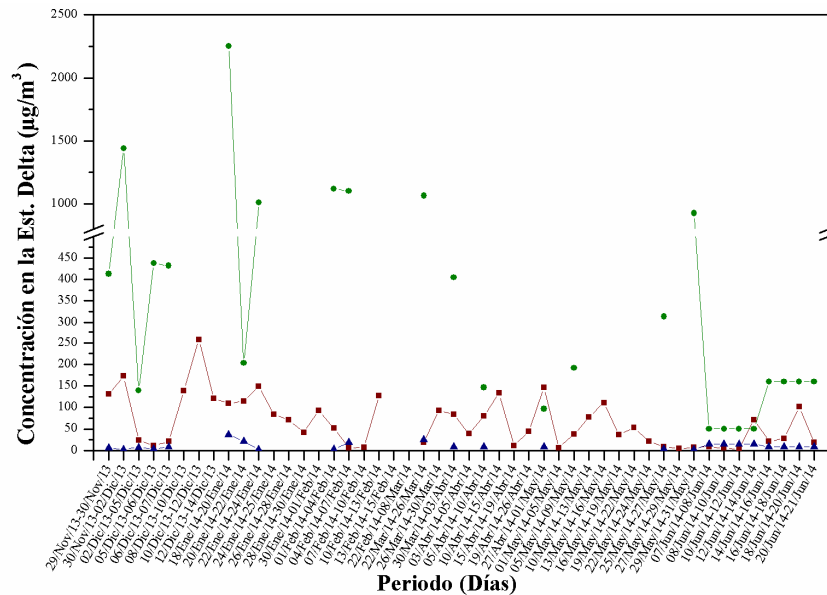
### 5.4.1. Series de tiempo de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en la Estación Delta

En la Figura 5.31 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> correspondientes a las estaciones otoño-invierno y primavera-verano en la Estación Delta.

Como se puede observar, las concentraciones de H<sub>2</sub>S sobrepasan en 2 de 46 ocasiones el límite de 150 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OMS, con valores de 172.6 y 257.2 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en 2 ocasiones las concentraciones se encuentran muy cercanas al límite establecido por la OMS, con valores de 149 y 146.7 µg/m<sup>3</sup>.

Las concentraciones de SO<sub>2</sub> sobrepasan en 12 de 25 ocasiones el límite de 288 µg/m<sup>3</sup> establecido por la NOM-022, con valores de 413.1, 1441.3, 437.6, 432.3, 2251.1, 1010.9, 1118.4, 1102.9, 1064.8, 404.3, 313.1 y 925.6 µg/m<sup>3</sup>.

Las concentraciones de NH<sub>3</sub> no sobrepasan el límite de 100 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OEHHA.



**Figura 5.31.** Concentración de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> de los periodos otoño-invierno y primavera-verano en la Estación Delta (—■— H<sub>2</sub>S, —●— SO<sub>2</sub>, —▲— NH<sub>3</sub>).

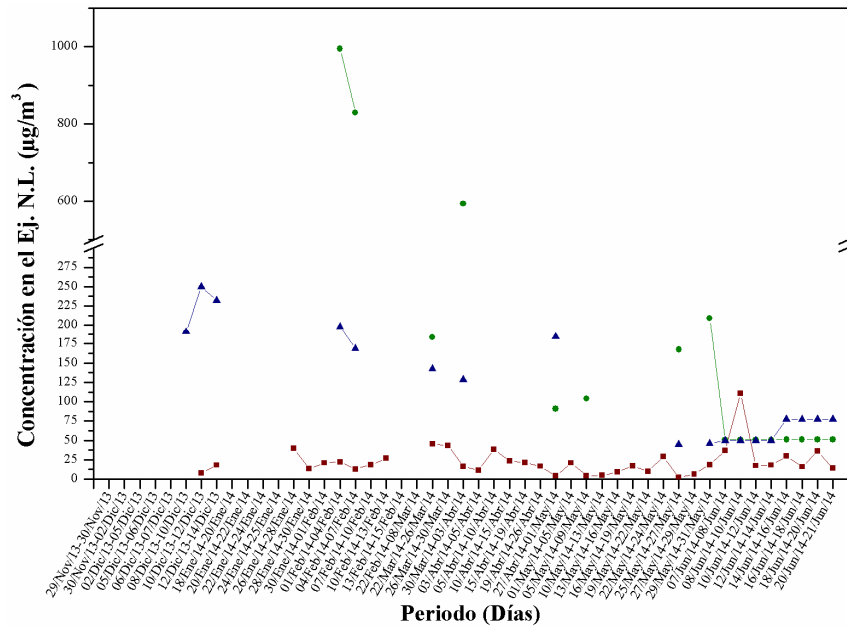
### 5.4.2. Series de tiempo de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León

En la Figura 5.32 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> correspondientes a las estaciones otoño-invierno y primavera-verano en el sitio Ejido Nuevo León.

Como se puede observar, las concentraciones de H<sub>2</sub>S no sobrepasan en ninguna ocasión el límite de 150 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OMS.

En las concentraciones de SO<sub>2</sub> se observa que estas sobrepasan en 3 de 16 ocasiones el límite de 288 µg/m<sup>3</sup> establecido por la NOM-022, con valores de 994.7, 829.4 y 593.4 µg/m<sup>3</sup>.

En las concentraciones de NH<sub>3</sub> se observa que estas sobrepasan en 8 de 18 ocasiones el límite de 100 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OEHHA, con valores de 191.3, 249.9, 232.1, 198.2, 169.2, 142.9, 128.7 y 184.1 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5.32.** Concentración de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> de los periodos otoño-invierno y primavera-verano en el Ejido Nuevo León (—■— H<sub>2</sub>S, —●— SO<sub>2</sub>, —▲— NH<sub>3</sub>)

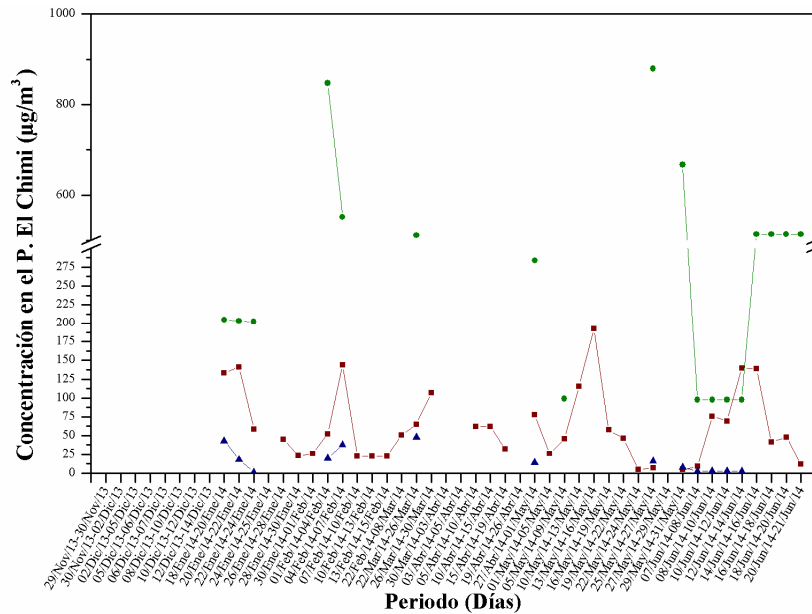
### 5.4.3. Series de tiempo de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Poblado El Chimi

En la Figura 5.33 se presentan las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> correspondientes a las estaciones otoño-invierno y primavera-verano en el sitio Poblado El Chimi.

Como se puede observar, las concentraciones de H<sub>2</sub>S sobrepasan en 1 de 35 ocasiones el límite de 150 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OMS, con un valor de 192.3 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en dos ocasiones las concentraciones se encuentran muy cercanas al límite establecido por la OMS, con valores de 140.9 y 143.9 µg/m<sup>3</sup>.

Para concentraciones de SO<sub>2</sub> se observa que estas sobrepasan en 9 de 18 ocasiones el límite de 288 µg/m<sup>3</sup> establecido por la NOM-022, con valores de 847.1, 551.4, 510.6, 879.8, 667 y 513.1 (4 veces) µg/m<sup>3</sup>.

Para concentraciones de NH<sub>3</sub> se observa que estas no sobrepasan en ninguna ocasión el límite de 100 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OEHHA.



**Figura 5.33.** Concentración de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> de los periodos otoño-invierno y primavera-verano en el Poblado El Chimi ( —■— H<sub>2</sub>S, —●— SO<sub>2</sub>, —▲— NH<sub>3</sub>).

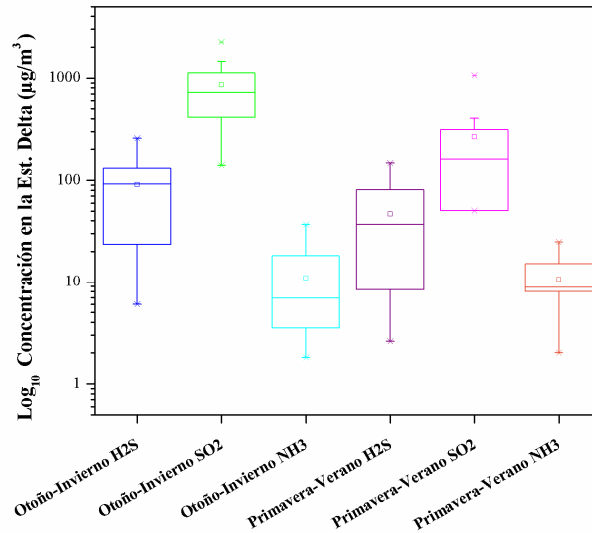
## 5.5. Análisis estadístico espacial y temporal de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>

### 5.5.1. Variación temporal de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> en la Estación Delta

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en la Estación Delta en los periodos de otoño-invierno y primavera-verano se muestran en la Figura 5.34.

En el periodo otoño-invierno, las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> presentan una media (mediana) de 90.9 (92.3), 855.0 (724.2) y 10.9 (6.9) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, con mínimos y máximos de 6 - 257.2, 139.6 - 2251.1 y 1.8 - 37 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

En el periodo primavera-verano, las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> presentan una media (mediana) de 46.9 (36.9), 265.5 (159.9) y 10.6 (8.8) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos fueron son de 2.6 - 146.7, 50.2 - 1064.8 y 2 - 24.8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.



**Figura 5.34.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en la Estación Delta de los periodos otoño-invierno y primavera-verano

( H<sub>2</sub>S,  SO<sub>2</sub>,  NH<sub>3</sub>,  H<sub>2</sub>S,  SO<sub>2</sub>,  NH<sub>3</sub>).

En la Tabla 5.1 se muestra el total de muestreos realizados durante el periodo otoño-invierno en la Estación Delta, con un total de 39 muestras, de las cuales 19, 10 y 10 son de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, respectivamente.

**Tabla 5.1.** Estadística muestral de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en la Estación Delta durante el periodo otoño-invierno 2013.

	No. muestras	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
<b>H<sub>2</sub>S</b>	19	90.9	66.3	6.0	92.3	257.2
<b>SO<sub>2</sub></b>	10	855.0	661.0	139.6	724.3	2251.1
<b>NH<sub>3</sub></b>	10	11.0	11.2	1.8	6.9	37

En la Tabla 5.2 se muestra el total de muestreos realizados durante el periodo primavera - verano en la Estación Delta, con un total de 56 muestras, de las cuales 27, 15 y 14 son de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, respectivamente.

**Tabla 5.2.** Estadística muestral de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en la Estación Delta durante el periodo primavera-verano 2014.

	No. muestras	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
<b>H<sub>2</sub>S</b>	27	46.9	42.7	2.6	36.9	146.7
<b>SO<sub>2</sub></b>	15	265.5	313.3	50.2	159.9	1064.8
<b>NH<sub>3</sub></b>	14	10.6	5.9	2	8.8	24.8

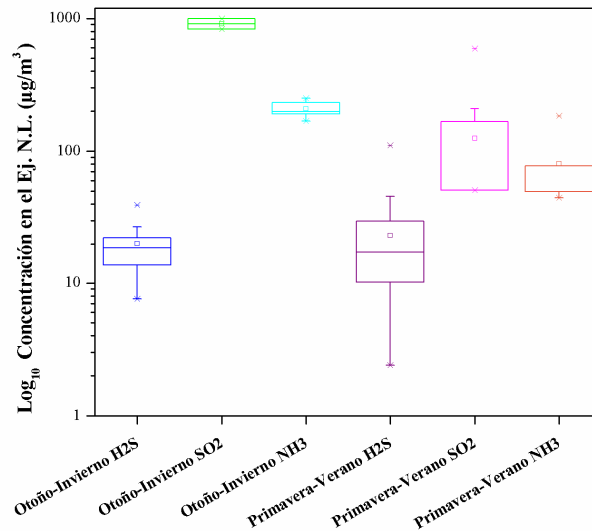
### 5.5.2. Variación temporal de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> en el Ejido Nuevo León

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León de los periodos de otoño-invierno y primavera-verano se muestran en la Figura 5.35.

En el periodo otoño-invierno, las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> presentan una media (mediana) de 20.1 (18.7), 912.0 (912.0) y 208.1 (192.8) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos fueron son de 7.6 - 39.5, 829.4 - 994.7 y 169.2 - 249.9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

En el periodo primavera-verano, las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> presentan una media (mediana) de 23.1 (17.4), 125.4 (51) y 81.0 (77.3) µg/m<sup>3</sup>,

respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos fueron son de 2.4 - 111, 50.9 - 593.4 y 44.7 - 184.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.



**Figura 5.35.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$  en el Ejido Nuevo León de los periodos Otoño-Invierno y Primavera-Verano

(  $\text{H}_2\text{S}$ ,   $\text{SO}_2$ ,   $\text{NH}_3$ ,   $\text{H}_2\text{S}$ ,   $\text{SO}_2$ ,   $\text{NH}_3$ ).

En la Tabla 5.3 se muestra el total de muestreos realizados durante el periodo otoño - invierno en el Ejido Nuevo León, con un total de 16 muestras, de las cuales 9, 2 y 5 son de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$ , respectivamente.

**Tabla 5.3.** Estadística muestral de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$  en el Ejido Nuevo León durante el periodo otoño-invierno 2013.

	No. muestras	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
<b><math>\text{H}_2\text{S}</math></b>	9	20.1	9.2	7.6	18.7	39.5
<b><math>\text{SO}_2</math></b>	2	912.1	116.9	829.4	912.1	994.7
<b><math>\text{NH}_3</math></b>	5	208.1	32.5	169.2	198.2	249.9

En la Tabla 5.4 se muestra el total de muestreos realizados durante el periodo primavera - verano en el Ejido Nuevo León, con un total de 54 muestras, de las cuales 27, 14 y 13 son de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NH}_3$ , respectivamente.

**Tabla 5.4.** Estadística muestral de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Ejido Nuevo León durante el periodo primavera-verano 2014.

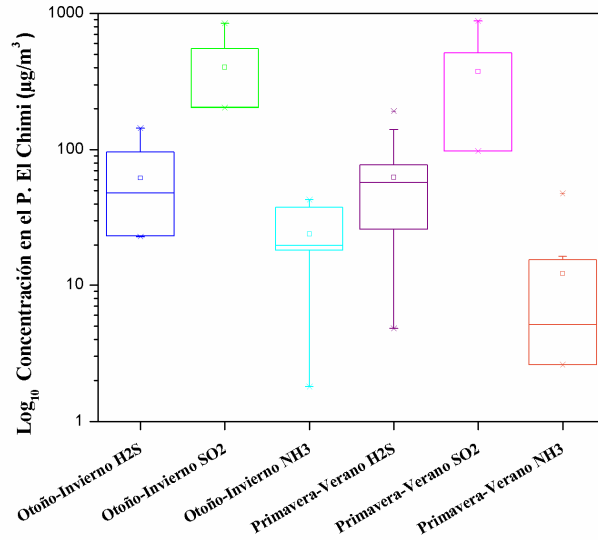
	No. muestras	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
<b>H<sub>2</sub>S</b>	27	23.2	21.4	2.4	17.4	111
<b>SO<sub>2</sub></b>	14	125.4	146.0	50.9	51	593.4
<b>NH<sub>3</sub></b>	13	81.0	44.1	44.7	77.3	184.1

### 5.5.3. Variación temporal de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> en el Poblado El Chimi

La gráfica de barra y bigotes de los datos de las series de tiempo de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Poblado El Chimi de los periodos de otoño-invierno y primavera-verano se muestran en la Figura 5.36.

En el periodo otoño-invierno, las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> presentan una media (mediana) de 61.9 (47.8), 401.7 (204.6) y 24.1 (19.8) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos fueron son de 23 - 143.9, 202.2 - 847.1 y 1.8 - 43 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

En el periodo primavera-verano, las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> presentan una media (mediana) de 62.5 (57.4), 375.5 (510.6) y 12.0 (5.1) µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, cuyos valores mínimos y máximos fueron son de 4.8 - 192.3, 97.6 - 879.8 y 2.6 - 47.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.



**Figura 5.36.** Gráfica de barra y bigotes de las concentraciones de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Poblado El Chimi de los periodos Otoño-Invierno y Primavera-Verano

( H<sub>2</sub>S,  SO<sub>2</sub>,  NH<sub>3</sub>,  H<sub>2</sub>S,  SO<sub>2</sub>,  NH<sub>3</sub>).

En la Tabla 5.5 se muestra el total de muestreos realizados durante el periodo otoño - invierno en el Poblado El Chimi, con un total de 22 muestras, de las cuales 12, 5 y 5 son de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, respectivamente.

**Tabla 5.5.** Estadística muestral de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Poblado El Chimi durante el periodo otoño-invierno 2013.

	No. muestras	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
<b>H<sub>2</sub>S</b>	12	61.9	48.5	23	47.9	143.9
<b>SO<sub>2</sub></b>	5	401.7	291.1	202.2	204.6	847.1
<b>NH<sub>3</sub></b>	5	24.1	16.5	1.8	19.8	43

En la Tabla 5.6 se muestra el total de muestreos realizados durante el periodo primavera - verano en el Poblado El Chimi, con un total de 44 muestras, de las cuales 23, 13 y 8 son de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, respectivamente.

**Tabla 5.6.** Estadística muestral de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en el Poblado El Chimi durante el periodo primavera-verano 2014.

	No. muestras	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
H <sub>2</sub> S	23	62.6	48.8	4.8	57.4	192.3
SO <sub>2</sub>	13	375.6	262.5	97.6	510.6	879.8
NH <sub>3</sub>	8	12.1	15.4	2.6	5.1	47.5

### 5.6. Comparación estacional entre sitios de las concentraciones promedio de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> expresadas como S

En la Tabla 5.7 se muestra la comparación estacional de las concentraciones promedio de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> expresadas como azufre (S), en la Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

En la Estación Delta se observa que la relación de concentraciones de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> expresadas como S;  $[\text{H}_2\text{S}]_{\text{O-I}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{P-V}}$  y  $[\text{SO}_2]_{\text{O-I}} / [\text{SO}_2]_{\text{P-V}}$ , son de 1.9 y 3.2, respectivamente, por lo tanto, el S proveniente del SO<sub>2</sub> es mayor en la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse al incremento en la estabilidad atmosférica o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente, lo cual nos permite suponer que el H<sub>2</sub>S se oxida rápidamente a SO<sub>2</sub>.

La relación de concentraciones de H<sub>2</sub>S expresadas como S y de SO<sub>2</sub> expresadas como S;  $[\text{SO}_2]_{\text{O-I}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{O-I}}$  y  $[\text{SO}_2]_{\text{P-V}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{P-V}}$ , son de 5.0 y 3.0, respectivamente, por lo tanto, el S proveniente del SO<sub>2</sub> es mayor la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse a la presencia de una o varias fuentes de emisión de SO<sub>2</sub>, diferentes a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

La relación del S total proveniente de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub>;  $[\text{H}_2\text{S}]_{\text{O-I}} + [\text{SO}_2]_{\text{O-I}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{P-V}} + [\text{SO}_2]_{\text{P-V}}$ , es de 2.9, por lo tanto la presencia de S total es mayor en la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse al al incremento en la estabilidad atmosférica o a la presencia de una o varias fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, diferentes a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En Ejido Nuevo León se observa que la relación de concentraciones de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> expresadas como S;  $[H_2S]_{O-I} / [H_2S]_{P-V}$  y  $[SO_2]_{O-I} / [SO_2]_{P-V}$ , son de 0.9 y 7.3, respectivamente, por lo tanto, el S proveniente del SO<sub>2</sub> es mayor en la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse al incremento en la estabilidad atmosférica o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente, lo cual nos permite suponer que el H<sub>2</sub>S se oxida rápidamente a SO<sub>2</sub>.

La relación de concentraciones de H<sub>2</sub>S expresadas como S y de SO<sub>2</sub> expresadas como S;  $[SO_2]_{O-I} / [H_2S]_{O-I}$  y  $[SO_2]_{P-V} / [H_2S]_{P-V}$ , son de 24.2 y 2.9, respectivamente, por lo tanto, el S proveniente del SO<sub>2</sub> es mayor la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse a la presencia de una o varias fuentes de emisión de SO<sub>2</sub>, diferentes a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

La relación del S total proveniente de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub>;  $[H_2S]_{O-I} + [SO_2]_{O-I} / [H_2S]_{P-V} + [SO_2]_{P-V}$ , es de 5.6, por lo tanto la presencia de S total es mayor en la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse al al incremento en la estabilidad atmosférica o a la presencia de una o varias fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, diferentes a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

En el Poblado El Chimi se observa que la relación de concentraciones de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> expresadas como S;  $[H_2S]_{O-I} / [H_2S]_{P-V}$  y  $[SO_2]_{O-I} / [SO_2]_{P-V}$ , son de 0.9 y 1.1, respectivamente, por lo tanto, el S proveniente del SO<sub>2</sub> es mayor en la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse al incremento en la estabilidad atmosférica o a un incremento en el flujo de emisión de la fuente, lo cual nos permite suponer que el H<sub>2</sub>S se oxida rápidamente a SO<sub>2</sub>.

La relación de concentraciones de H<sub>2</sub>S expresadas como S y de SO<sub>2</sub> expresadas como S;  $[SO_2]_{O-I} / [H_2S]_{O-I}$  y  $[SO_2]_{P-V} / [H_2S]_{P-V}$ , son de 3.5 y 3.2, respectivamente, por lo tanto, el S proveniente del SO<sub>2</sub> es mayor la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse a la presencia de

una o varias fuentes de emisión de SO<sub>2</sub>, diferentes a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

La relación del S total proveniente de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub>;  $[\text{H}_2\text{S}]_{\text{O-I}} + [\text{SO}_2]_{\text{O-I}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{P-V}} + [\text{SO}_2]_{\text{P-V}}$ , es de 1.1, por lo tanto la presencia de S total es mayor en la estación otoño - invierno con respecto a la estación primavera - verano. Este comportamiento puede deberse al al incremento en la estabilidad atmosférica o a la presencia de una o varias fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, diferentes a la planta geotérmica de Cerro Prieto.

**Tabla 5.7.** Comparación estacional de las concentraciones promedio de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> expresadas como S en los sitios Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi.

Relación estacional en términos de S	Estación Delta ( $\mu\text{mol S/m}^3$ )	Ejido Nuevo León ( $\mu\text{mol S/m}^3$ )	Poblado El Chimi ( $\mu\text{mol S/m}^3$ )
$[\text{H}_2\text{S}]_{\text{O-I}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{P-V}}$	1.9	0.9	0.9
$[\text{SO}_2]_{\text{O-I}} / [\text{SO}_2]_{\text{P-V}}$	3.2	7.3	1.1
$[\text{SO}_2]_{\text{O-I}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{O-I}}$	5.0	24.2	3.5
$[\text{SO}_2]_{\text{P-V}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{P-V}}$	3.0	2.9	3.2
$[\text{H}_2\text{S}]_{\text{O-I}} + [\text{SO}_2]_{\text{O-I}} / [\text{H}_2\text{S}]_{\text{P-V}} + [\text{SO}_2]_{\text{P-V}}$	2.9	5.6	1.1

## **5.7. Evaluación espacial de los índices de calidad de aire de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>**

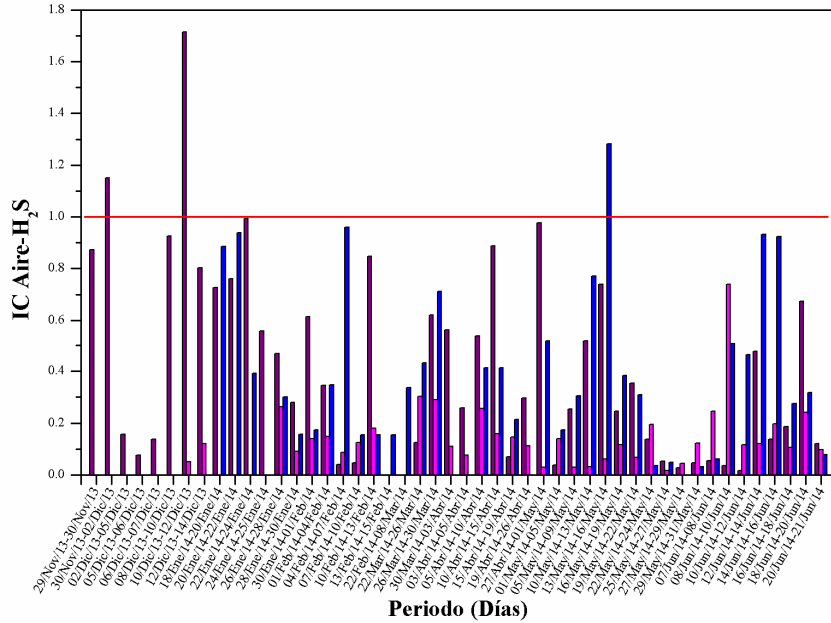
### **5.7.1. Evaluación espacial del índice de calidad de aire de H<sub>2</sub>S**

En la Figura 5.37 se muestra índice de calidad de H<sub>2</sub>S en la Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi, de acuerdo al procedimiento que se menciona en la sección 4.5 de la parte experimental.

La Estación Delta y el Poblado El Chimi presentan una mala calidad de aire debido a que el índice de calidad de H<sub>2</sub>S es mayor a uno en dos y una ocasión, respectivamente. Este comportamiento se debe a la presencia de eventos con concentraciones de 172.6 y 257.2 µg/m<sup>3</sup> en la Estación Delta y 192.3 µg/m<sup>3</sup> en el Poblado El Chimi los cuales son mayores al límite de 150 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OMS.

Otro de los factores que podrían causar un índice de calidad de aire de H<sub>2</sub>S desfavorable para la Estación Delta y Poblado El Chimi, son el tipo de topografía presente, ya que el terreno se encuentra libre de montañas y edificios, por lo tanto las emisiones provenientes del campo geotérmico de Cerro Prieto se dispersan sin ningún obstáculo en su camino.

El Ejido Nuevo León presenta una buena calidad de aire debido a que el índice de calidad de H<sub>2</sub>S es menor a uno en todas las ocasiones. Este comportamiento se debe a las concentraciones obtenidas, las cuales son menores al límite de 150 µg/m<sup>3</sup> establecido por la OMS.



**Figura 5.37.** Índice de calidad de aire en términos de H<sub>2</sub>S

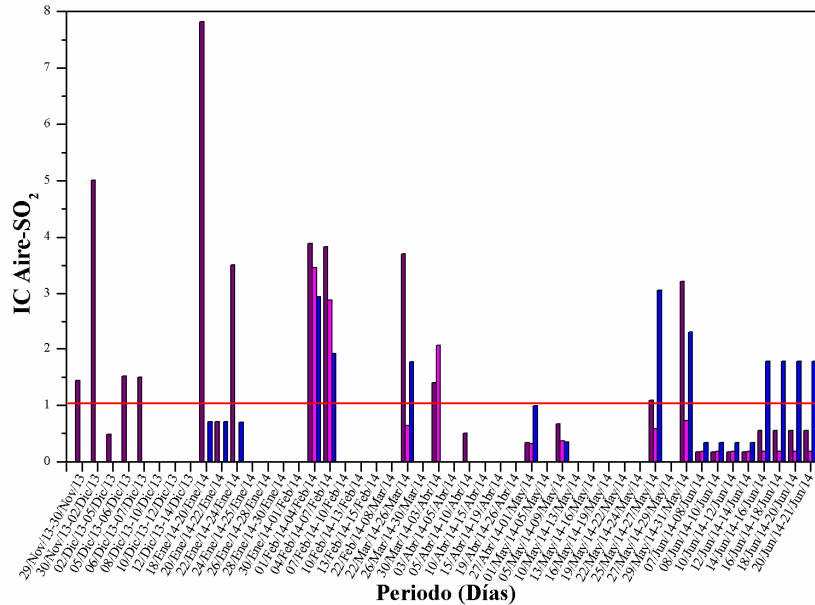
(■ Est. Delta, ■ Ej. N.L., ■ P. El Chimi).

### 5.7.2. Evaluación espacial del índice de calidad de aire de SO<sub>2</sub>

En la Figura 5.38 se muestra el índice de calidad de SO<sub>2</sub> en la Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi, de acuerdo al procedimiento que se menciona en la sección 4.5 de la parte experimental.

La Estación Delta, el Ejido Nuevo León y el Poblado El Chimi presentan una mala calidad de aire debido a que el índice de calidad de SO<sub>2</sub> es mayor a uno en doce, tres y nueve ocasiones, respectivamente. Este comportamiento se debe a la presencia de eventos con concentraciones de 413.1, 1441.3, 437.6, 432.3, 2251.1, 1010.9, 1118.4, 1102.9, 1064.8, 404.3, 313.1 y 925.6 µg/m<sup>3</sup> en la Estación Delta, 994.7, 829.4 y 593.4 µg/m<sup>3</sup> en el Ejido Nuevo León y 847.1, 551.4, 510.6, 879.8, 667 y 513.1 (cuatro veces) µg/m<sup>3</sup> en el Poblado El Chimi en el Poblado El Chimi los cuales son mayores al límite de 288 µg/m<sup>3</sup> establecido por la NOM-022.

Esto puede ser debido al comportamiento de las variables meteorológicas para los periodos de estudio en el cual las concentraciones son mayores a 288 µg/m<sup>3</sup> (ver sección 5.2.1.1 y 5.2.2.1).



**Figura 5.38.** Índice de calidad de aire en términos de  $\text{SO}_2$

(■ Est. Delta, ■ Ej. N.L., ■ P. El Chimi).

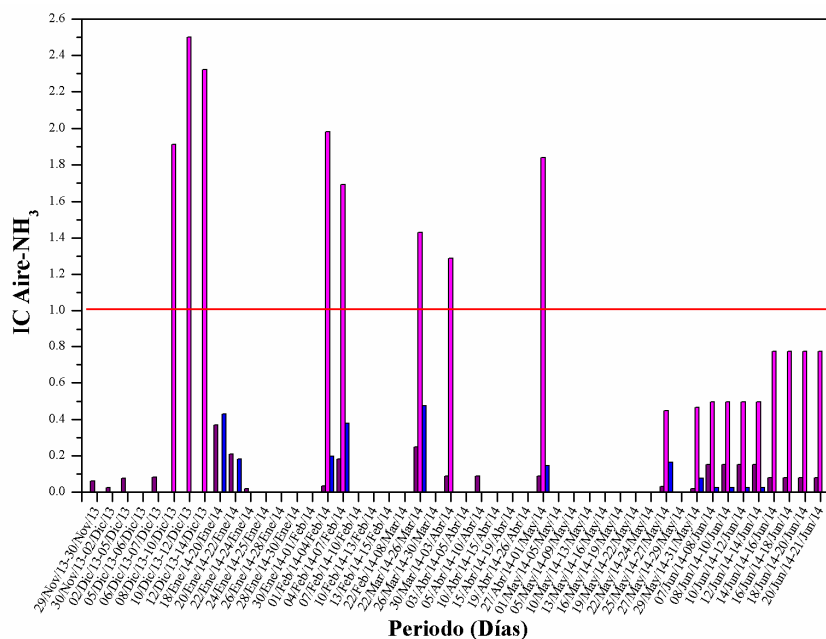
### 5.7.3. Evaluación espacial del índice de calidad de aire de $\text{NH}_3$

En la Figura 5.39 se muestra el índice de calidad de  $\text{NH}_3$  en la Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi, de acuerdo al procedimiento que se menciona en la sección 4.5 de la parte experimental.

El Ejido Nuevo León presenta una mala calidad de aire debido a que el índice de calidad de  $\text{NH}_3$  es mayor a uno en ocho ocasiones. Este comportamiento se debe a la presencia de eventos con concentraciones de 191.3, 249.9, 232.1, 198.2, 169.2, 142.9, 128.7 y 184.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , los cuales son mayores al límite de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por la OEHHA.

Otro de los factores que podrían causar un índice de calidad de aire de  $\text{NH}_3$  desfavorable para la Estación Delta y Poblado El Chimi, es la presencia de una segunda fuente de emisión de origen ganadero, cercana al sitio de estudio.

La Estación Delta y el Poblado El Chimi presentan una buena calidad de aire debido a que el índice de calidad de  $\text{NH}_3$  es menor a uno en todas las ocasiones. Este comportamiento se debe a las concentraciones obtenidas, las cuales son menores al límite de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por la OEHHA.



**Figura 5.39.** Índice de calidad de aire en términos de  $\text{NH}_3$

(■ Est. Delta, ■ Ej. N.L., ■ P. El Chimi).

## 5.8. Modelado local y regional de $\text{H}_2\text{S}$ en el campo geotérmico de Cerro Prieto.

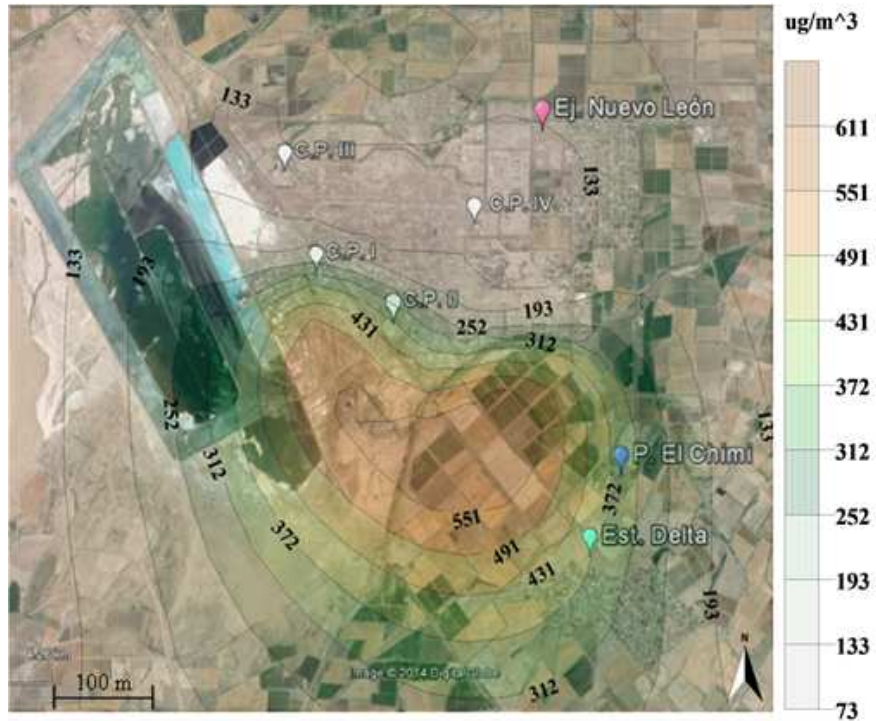
### 5.8.1. Modelado a escala local de $\text{H}_2\text{S}$ a través del software AERMOD

A continuación se presentan los modelos de dispersión a escala local obtenidos a través del software AERMOD View Ver 6.2 para los años 2013 y 2014.

Para evaluar la variación estacional, se consideró a los meses de Diciembre y Mayo como representativos de las estaciones otoño - invierno y primavera - verano, respectivamente.

En la Figura 5.40 se presenta el modelo de dispersión de  $\text{H}_2\text{S}$  correspondiente al periodo de otoño - invierno de 2013 (10/Dic/13 - 12/Dic/13), en la cual se observa que las plumas provenientes de C.P. I, C.P. II, C.P. III y C.P. IV son transportadas con dirección sur y sureste. El modelo de dispersión mostró que los sitios Estación Delta y Poblado El Chimi, se encuentran en el intervalo de las líneas de isoconcentración de 312- 372  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que el Ejido Nuevo León se encuentra en el intervalo de las

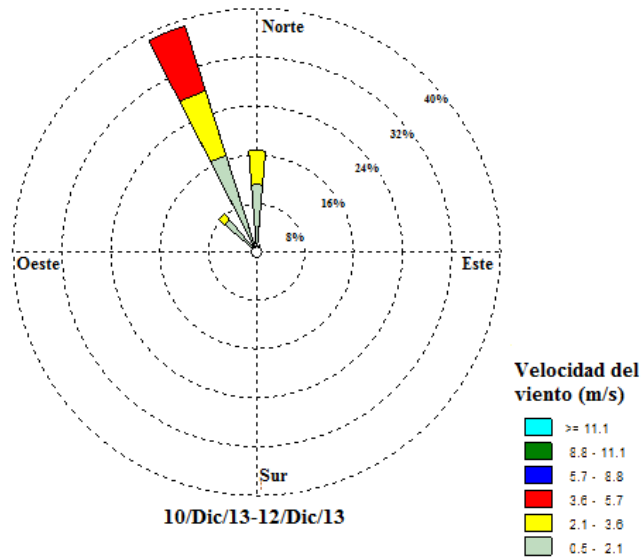
líneas de isoconcentración de 73 - 133  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La relación de  $[\text{H}_2\text{S}]$  experimental /  $[\text{H}_2\text{S}]$  modelado en Estación Delta es de 0.8 ( $257.2 \mu\text{g}/\text{m}^3 / 342 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Figura 5.40.** Modelo de dispersión de  $\text{H}_2\text{S}$  correspondiente a la estación Otoño-Invierno (10/Dic/13 – 12/Dic/13).

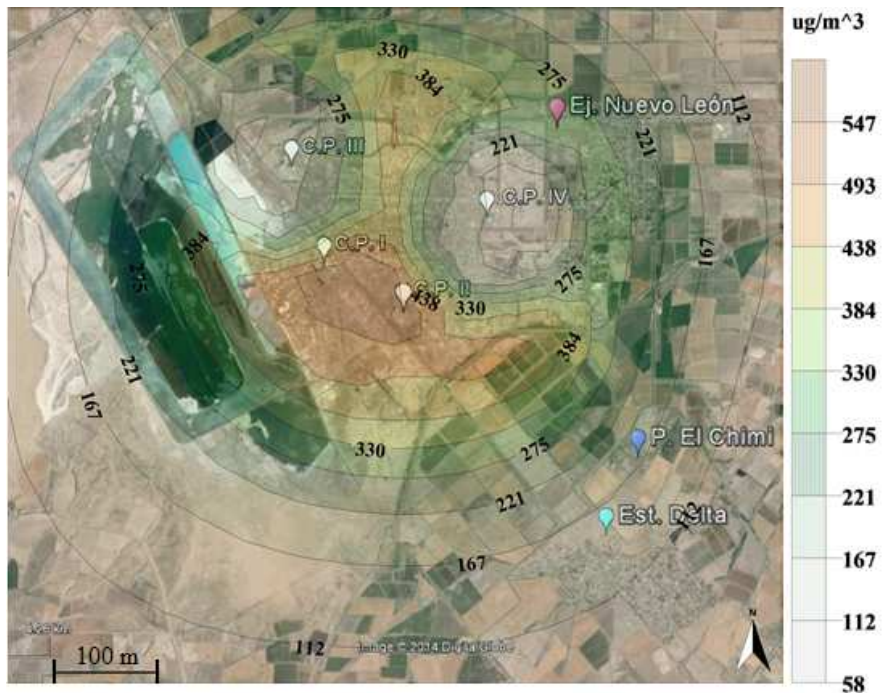
La Figura 5.41 muestra la rosa de los vientos para el periodo de estudio (10/Dic/13 - 12/Dic/13), la cual fue obtenida a través del pre - procesador AERMET, a partir de los datos de superficie de aire obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el ICA- UABC, en el Ejido Nuevo León.

Como se observa en la rosa de los vientos, los vientos en la región de Cerro Prieto presentan un comportamiento con dirección hacia el Sur y con mayor frecuencia hacia el Sureste, lo cual nos indica que los contaminantes son transportados por efecto de las masas de aire, hacia el Poblado El Chimi y la Estación Delta, como se muestra en el modelo de dispersión del periodo Otoño - Invierno (Ver Figura 5.40).



**Figura 5.41.** Rosa de vientos representativa del periodo otoño-Invierno.

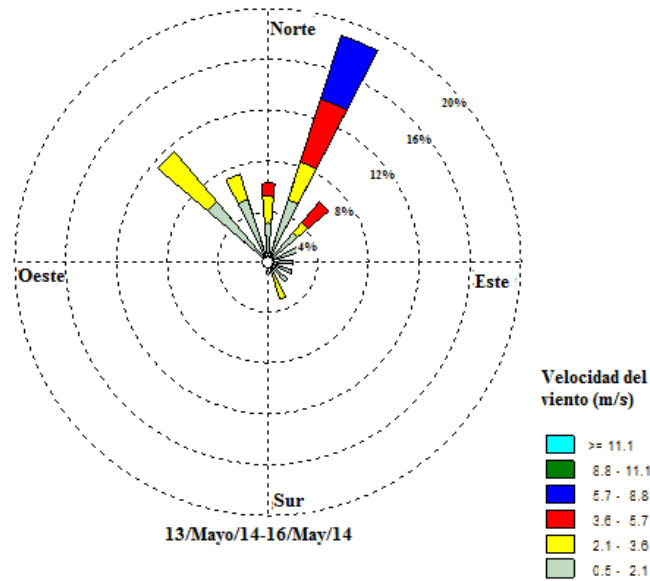
En la Figura 5.42 se presenta el modelo de dispersión de  $H_2S$  correspondiente al periodo de primavera - verano de 2014 (13/May/14 - 16/May/14), en la cual se observa que las plumas provenientes de C.P. I, C.P. II, C.P. III y C.P. IV son transportadas en todas direcciones, predominando en mayor frecuencia la dirección suroeste y en menor frecuencia las dirección sureste y dirección noroeste. El modelo de dispersión mostró que el Ejido Nuevo León se encuentra en el intervalo de las líneas de isoconcentración de  $221 - 275 \mu g/m^3$ , mientras que el Poblado El Chimi y la Estación Delta se encuentran en el intervalo de las líneas de isoconcentración de  $167 - 221$  y  $112 - 167 \mu g/m^3$ , respectivamente. La relación de  $[H_2S]$  experimental /  $[H_2S]$  modelado en Estación Delta, Poblado El Chimi y Ejido Nuevo León es de 0.8 ( $110.9 \mu g/m^3 / 139.5 \mu g/m^3$ ), 0.9 ( $192.3 \mu g/m^3 / 194 \mu g/m^3$ ) y 0.04 ( $9.1 \mu g/m^3 / 248 \mu g/m^3$ ), respectivamente.



**Figura 5.42.** Modelo de dispersión de H<sub>2</sub>S correspondiente a la estación Primavera-Verano (13/May/14 - 16/May/14).

La Figura 5.43 muestra la rosa de los vientos para el periodo de estudio (13/May/14 - 16/May/14), la cual fue obtenida a través del pre - procesador AERMET, a partir de los datos de superficie de aire obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el ICA- UABC, en el Ejido Nuevo León.

Como se observa en la rosa de los vientos, los vientos en la región de Cerro Prieto presentan un comportamiento con dirección hacia el Sur y Sureste con menor frecuencia y Suroeste con mayor frecuencia, lo cual nos indica que existe una mayor dispersión de los contaminantes por efecto de las masas de aire en los tres sitios de estudio Estación Delta, Ejido Nuevo León y Poblado El Chimi, como se muestra en el modelo de dispersión del periodo primavera - verano (Ver Figura 5.42).



**Figura 5.43.** Rosa de vientos representativa del periodo Primavera-Verano.

### 5.8.2. Modelado a escala regional de H<sub>2</sub>S a través del software Hysplit

A continuación se presentan los modelos de dispersión a escala regional obtenidos a través del software Hysplit4 de los años 2012 y 2013. Los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre son representativos de las estaciones de invierno, primavera, verano y otoño, respectivamente.

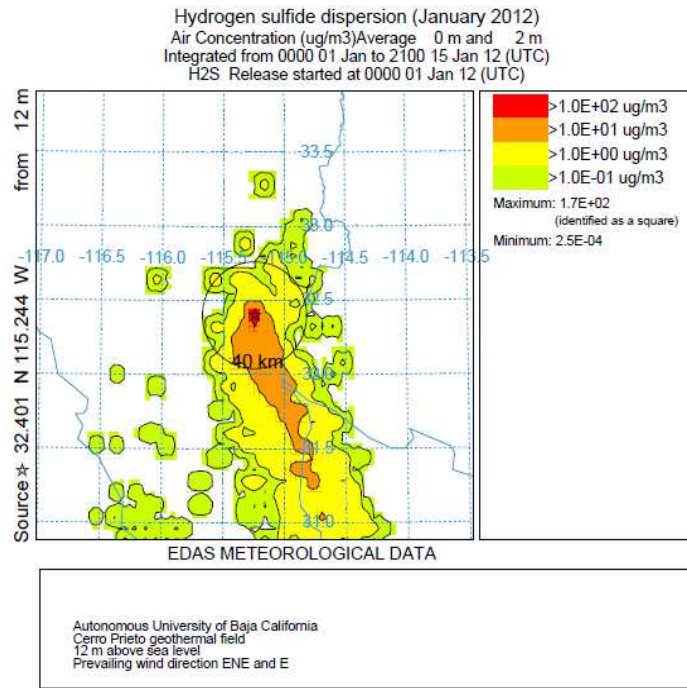
#### 5.8.2.1. Modelos de dispersión de H<sub>2</sub>S del año 2012

En la Figura 5.44 se muestra el modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación invierno con meteorología del periodo 01/Ene/12 - 15/Ene/12. En el modelo de dispersión la región de color rojo corresponde a la Planta geotérmica de Cerro Prieto y los ejidos aledaños, con coordenadas 32.4 latitud norte y -115.2 longitud oeste, con concentraciones promedio mayores a los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y valores máximos de 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Las regiones de color naranja, amarillo y verde corresponden a concentraciones promedio mayores a 10, 1 y 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las emisiones

provenientes de la planta geotérmica de Cerro Prieto se transportan hacia el Golfo de California con dirección sureste.

La planta geotérmica de Cerro Prieto se encuentra a una distancia de 40 km al sureste de la ciudad de Mexicali, por lo tanto, las concentraciones promedio a las que podría estar expuesta la población de Mexicali son mayores a 1 y 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



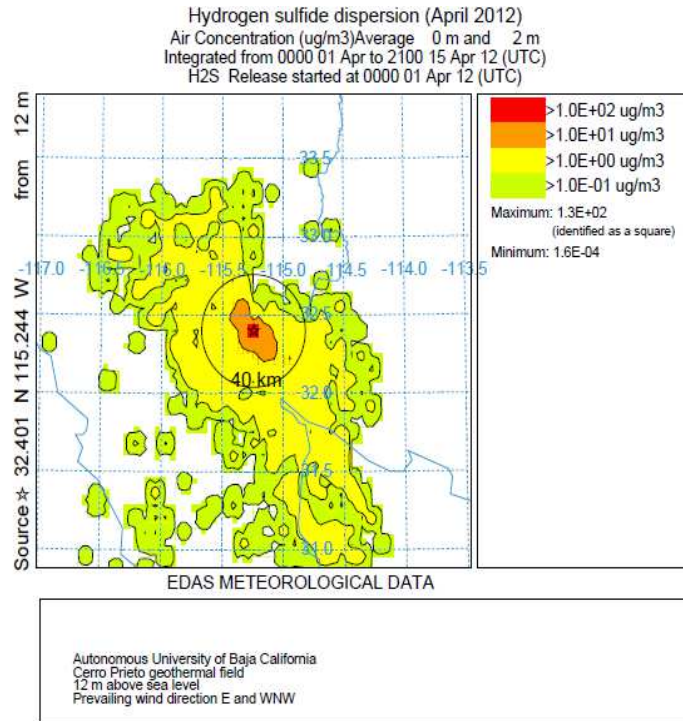
**Figura 5.44.** Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación invierno del periodo del 01/Ene/12 - 15/Ene/12.

En la Figura 5.45 se muestra el modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación primavera con meteorología del periodo 01/Abr/12-15/Abr/12. En el modelo de dispersión la región de color rojo corresponde a la Planta geotérmica de Cerro Prieto y los ejidos aledaños, con coordenadas 32.4 latitud norte y -115.2 longitud oeste, con concentraciones promedio mayores a los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y valores máximos de 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Las regiones de color naranja, amarillo y verde corresponde a concentraciones promedio mayores a 10, 1 y 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto, las emisiones

provenientes de la planta geotérmica de Cerro Prieto se transportan hacia el Golfo de California con dirección sureste y hacia Estados Unidos con dirección noroeste.

La planta geotérmica de Cerro Prieto se encuentra a una distancia de 40 km al sureste de la ciudad de Mexicali, por lo tanto las concentraciones promedio a las que podría estar expuesta la población de Mexicali son mayores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

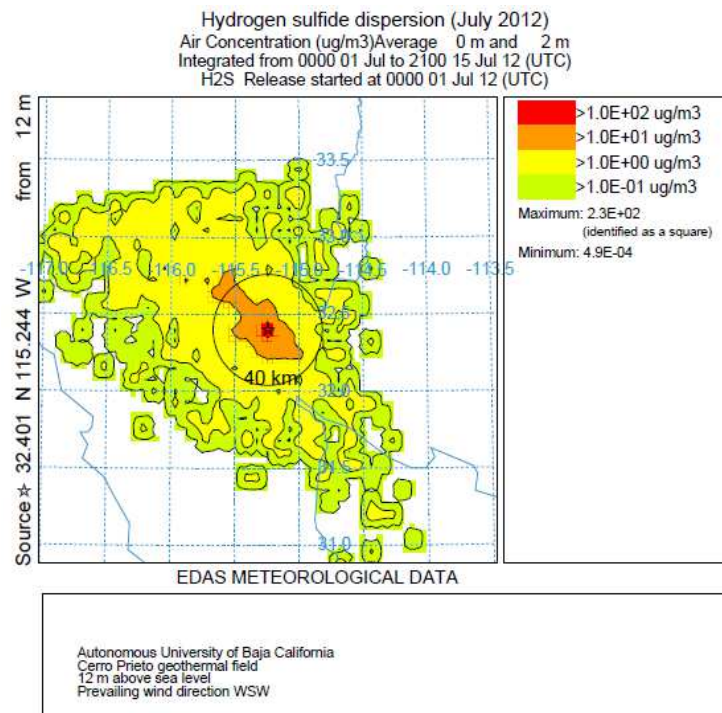


**Figura 5.45.** Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación primavera del periodo del 01/Abr/12 - 15/Abr/12.

En la Figura 5.46 se muestra el modelo de dispersión a escala regional, corresponde a la estación verano con meteorología del periodo 01/Jul/12-15/Jul/12. En el modelo de dispersión la región de color rojo corresponde a la Planta geotérmica de Cerro Prieto y los ejidos aledaños, con coordenadas 32.4 latitud norte y -115.2 longitud oeste, con concentraciones promedio mayores a los  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y valores máximos de  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

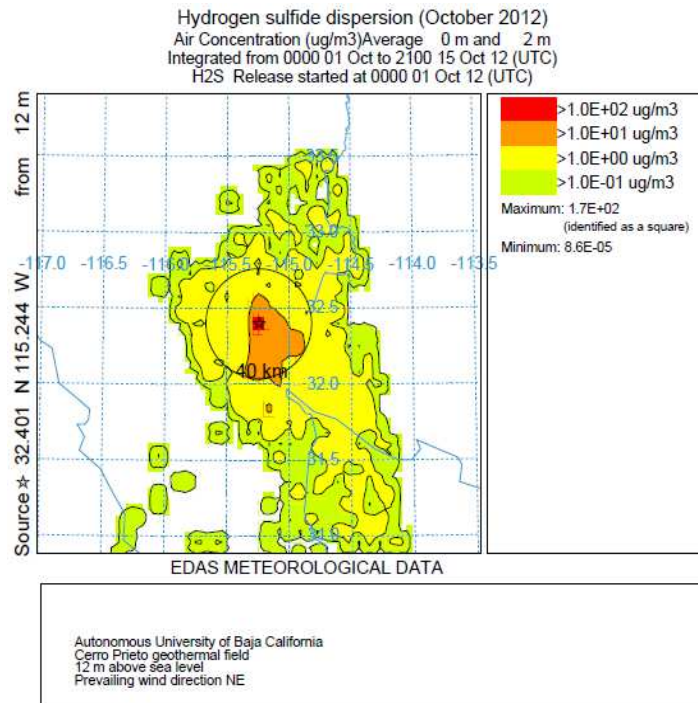
Las regiones de color naranja, amarillo y verde corresponde a concentraciones promedio mayores a 10, 1 y 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto las emisiones provenientes de la planta geotérmica de Cerro Prieto se transportan hacia el Golfo de California con dirección sureste y hacia Estados Unidos con dirección noroeste.

La planta geotérmica de Cerro Prieto se encuentra a una distancia de 40 km al sureste de la ciudad de Mexicali, por lo tanto las concentraciones promedio a las que podría estar expuesta la población de Mexicali son mayores a 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Las regiones de color naranja, amarillo y verde corresponde a concentraciones promedio mayores a 10, 1 y 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto las emisiones provenientes de la planta geotérmica de Cerro Prieto se transportan hacia el Golfo de California con dirección sureste y hacia Estados Unidos con dirección noroeste.

La planta geotérmica de Cerro Prieto se encuentra a una distancia de 40 km al sureste de la ciudad de Mexicali, por lo tanto las concentraciones promedio a las que podría estar expuesta la población de Mexicali son mayores a 10 y 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 5.47.** Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación otoño del periodo del 01/Oct/12 - 15/Oct/12.

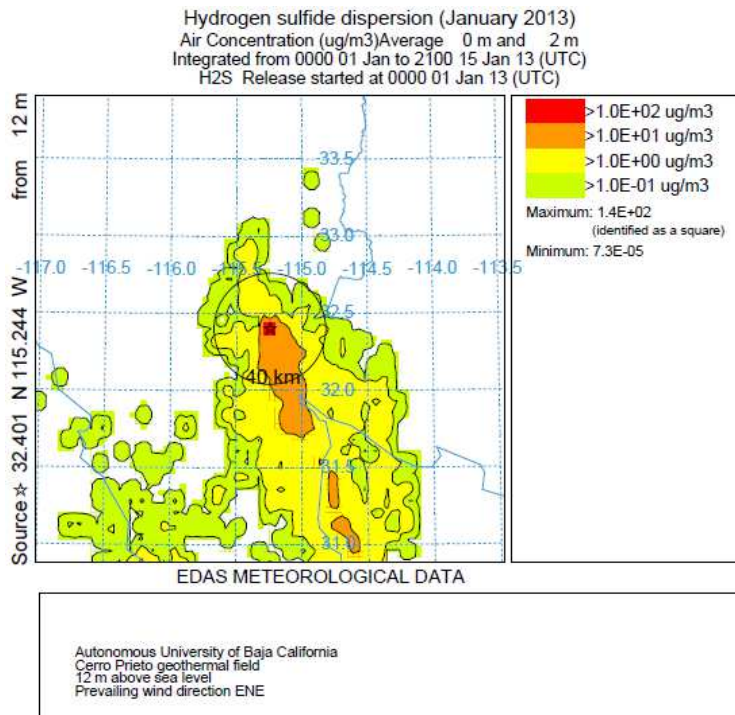
### 5.8.2.2. Modelos de dispersión de H<sub>2</sub>S del año 2013

En la Figura 5.48 se muestra el modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación invierno con meteorología del periodo 01/Ene/13 - 15/Ene/13. En el modelo de dispersión la región de color rojo corresponde a la Planta geotérmica de Cerro Prieto y a los ejidos aledaños, con coordenadas 32.4 latitud norte y

-115.2 longitud oeste, con concentraciones promedio mayores a los  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y valores máximos de  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Las regiones de color naranja, amarillo y verde corresponde a concentraciones promedio mayores a 10, 1 y  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto las emisiones provenientes de la planta geotérmica de Cerro Prieto se transportan hacia el Golfo de California con dirección sureste y hacia Estados Unidos con dirección noroeste.

La planta geotérmica de Cerro Prieto se encuentra a una distancia de 40 km al sureste de la ciudad de Mexicali, por lo tanto las concentraciones promedio a las que podría estar expuesta la población de Mexicali son mayores a 1 y  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



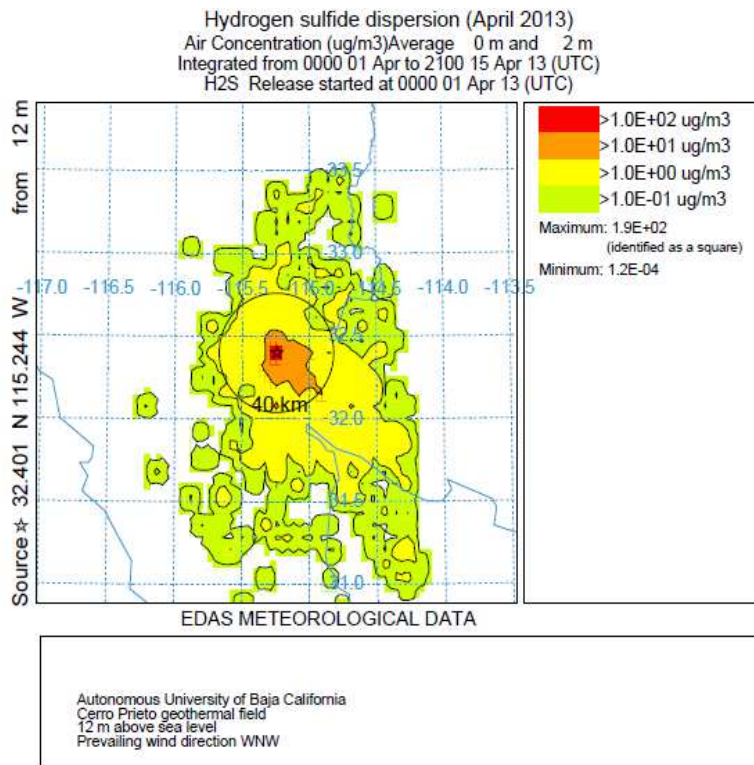
**Figura 5.48.** Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación invierno del periodo del 01/Ene/13 - 15/Ene/13.

En la Figura 5.49 se muestra el modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación primavera con meteorología del periodo 01/Abr/13 - 15/Abr/13. En el modelo de dispersión la región de color rojo corresponde a la Planta geotérmica de Cerro Prieto y a los ejidos aledaños, con coordenadas 32.4 latitud norte y

-115.2 longitud oeste, con concentraciones promedio mayores a los  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y valores máximos de  $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Las regiones de color naranja, amarillo y verde corresponde a concentraciones promedio mayores a 10, 1 y  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, por lo tanto las emisiones provenientes de la planta geotérmica de Cerro Prieto se transportan hacia el Golfo de California con dirección sureste y hacia Estados Unidos con dirección norte .

La planta geotérmica de Cerro Prieto se encuentra a una distancia de 40 km al sureste de la ciudad de Mexicali, por lo tanto las concentraciones promedio a las que podría estar expuesta la población de Mexicali son mayores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 5.49.** Modelo de dispersión a escala regional, correspondiente a la estación primavera del periodo del 01/Abr/13 - 15/Abr/13.

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES**

## 6. CONCLUSIONES

Las concentraciones medidas de H<sub>2</sub>S muestran una gran variabilidad espacial y temporal en los sitios de estudio, cuyos valores oscilan desde 2.6 - 257.2 µg/m<sup>3</sup> (límite de detección de 0.04 µg/m<sup>3</sup> para una hora de exposición o 0.0014 µg/m<sup>3</sup> para 24 horas de exposición) (Radiello, 2006).

Estudios en plantas geotérmicas muestran un descenso rápido de H<sub>2</sub>S con el aumento de la distancia de la fuente de emisión de gases (D'Alessandro et al., 2008). En este trabajo no se observa este comportamiento, debido a que la Estación Delta y el Poblado El Chimi presentan concentraciones promedio y distancias a la fuente de 68.9 µg/m<sup>3</sup> y 5.2 km y 62.2 µg/m<sup>3</sup> y 4.7 km, respectivamente. Sin embargo, se observa una gran correlación entre las concentraciones de H<sub>2</sub>S y la dirección del viento ya que los mayores niveles de H<sub>2</sub>S que se encuentran en la Estación Delta respecto al Poblado El Chimi son consistentes en el hecho de que la Estación Delta se encuentran viento abajo de las unidades C.P. II y C.P. III y el Poblado El Chimi de la unidad C.P. IV en dirección sureste del viento.

Los niveles de H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> en el período otoño-invierno son mayores a los del período primavera-verano. Este comportamiento se le puede atribuir a una menor dispersión, ocasionada por la estabilidad atmosférica.

Los niveles de SO<sub>2</sub> son mayores a los niveles de H<sub>2</sub>S en todo el periodo, lo cual se puede atribuir a dos reacciones; la foto oxidación de H<sub>2</sub>S a SO<sub>2</sub> por oxidantes atmosféricos (OH· y O<sub>3</sub>) y la oxidación química con Fe<sup>+3</sup>, las cuales son más rápidas que el proceso de dispersión (Pham et al., 1995).

La presencia de humedad en la superficie y la concentración de Fe<sup>+3</sup> en el suelo pueden tener un marcado efecto en la magnitud de la absorción de H<sub>2</sub>S.

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio, a través del Índice de Calidad de Aire (ICA), muestran que los poblados que presentan una mala calidad de aire en términos de H<sub>2</sub>S son la Estación Delta y el Poblado El Chimi, mientras que el Ejido Nuevo León presenta una mala calidad de aire en términos de NH<sub>3</sub> y los tres sitios de estudio presentan una mala calidad de aire en términos de SO<sub>2</sub>.

Los resultados obtenidos de los modelos de dispersión a escala local a través del software AERMOD, muestran buena correlación con la dirección del viento, de acuerdo a la rosa de los vientos para los periodos de estudio; otoño-invierno y primavera-verano.

El modelo de dispersión a escala local a través del software AERMOD del periodo otoño-invierno, muestran que los ejidos que se encuentran expuestos a mayores concentraciones de H<sub>2</sub>S son la Estación Delta y el Poblado El Chimi, y la comparación de las concentraciones del modelo con las experimentales mostraron un 80 % de confianza en la Estación Delta.

Asimismo en el periodo primavera-verano, mostraron que los ejidos que se encuentran expuestos a mayores concentraciones de H<sub>2</sub>S son la Estación Delta y el Poblado El Chimi, y la comparación de las concentraciones del modelo con las experimentales mostraron un 80 y 90 % de confianza respectivamente. Sin embargo en el Ejido Nuevo León, se obtuvo una relación del 4 %.

Los resultados obtenidos con el modelo de dispersión de H<sub>2</sub>S a escala regional a través del software Hysplit, mostraron que el transporte en otoño e invierno es en dirección sureste y en primavera y verano en dirección noroeste y sureste respectivamente.

Los modelos de dispersión local y regional mostraron un comportamiento semejante en el transporte de H<sub>2</sub>S.

Los modelos de dispersión son una buena herramienta computacional para predecir la concentración a la que puede estar expuesta la población de una localidad o región, a través de las condiciones meteorológicas existentes.

A pesar de la diferente metodología de muestreo y análisis reportados por Peralta et al., 2013, las concentraciones de H<sub>2</sub>S experimentales, muestran una buena correlación con los resultados obtenidos a través del software AERMOD.

El aumento en la explotación de energía geotérmica afecta en gran medida a las emisiones de H<sub>2</sub>S y en consecuencia, su impacto sobre el medio ambiente local. Esto pone de relieve la importancia de los estudios de evaluación de impacto ambiental antes del desarrollo de nuevas plantas de energía geotérmica.

Por último, es importante señalar los riesgos asociados con la acumulación de  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CO}_2$  en las áreas geotérmicas y aledañas, debido a la densidad, ya que estos son más densos que el aire y en lugares mal ventilados tienden a acumularse por encima del suelo a veces llegando a niveles letales principalmente en la noche.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Adon, M., Galy, C., Yoboué, V., Delon, C., Lacaux, J.P., Castera, P., Gardrat, E., Pienaar, J., Al Ourabi, H., Laouali, D., Diop, B., Sigha-Nkamdjou, L., Akpo, A., Tathy, J.P., Lavenu, F. and Mougín, E. (2010). Long term measurements of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ammonia, nitric acid and ozone in Africa using passive samplers. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 7467-7487.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1998). Toxicological profile for sulfur dioxide. U.S. Department of Health and Human Services. Division of Toxicology/Toxicology Information Branch.

Baek, B., Todd, R., Cole, N. and Koziel, J. (2004). Ammonia and Hydrogen Sulfide Flux and Dry Deposition Velocity Estimates using Vertical Gradient Method at A Commercial Beef Cattle Feedlot.

Barbier, E., (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Pergamon. 6. 17, 22, 51.

Berresheim, H., Wine, P. H. and Davis, D. D. (1995). Sulfur in the atmosphere, in composition, chemistry, and climate of the atmosphere, H. B. Singh, ed., Van Nostrand Reinhold, New York. 251-307.

Chen, M., Chen, L., Wang, Y., Yang, S., Chen, H. and Mao, I. (2003). Characteristics of acid aerosols in the geothermal area of metropolitan Taipei, Taiwan. *Atmospheric Environmental* 37. Pergamon. 2061-2067.

Chow, I. G. (2007). Gaussian modeling of the dispersion of hydrogen sulphide from Hellisheidi power plant, Iceland. *UNU Geothermal Training Programme*. 5. 55-78.

Comisión Federal de Electricidad. (2005). Manifiesto de Impacto Ambiental. Modalidad Particular. Proyecto Geotermoeléctrico Cerro Prieto V. GPG. I-1-VIII-10.

Espinoza, H. (1964). La zona geotérmica de Cerro Prieto Baja California. IIIIE CFE. 17-47.

Fisher, B. (1999). Impact of Power Generation on Air Quality. Environmental Science and Technology, No. 11. Royal Society of Chemistry.

Fuentes, F. and Massol-Deyá, A. (2002). Nutrientes y gases: azufre. Tercera parte. 23. 07.

Gallegos, R., Quintero, M. y García, O. (2000). H<sub>2</sub>S dispersion model at Cerro Prieto geothermoelectric power plant. Proceedings World Geothermal Congress 2000. 579-584.

González, S. (2009). Paralelización de la obtención de datos de entrada del modelo de concentraciones de HYSPLIT. Nota Técnica Digital N° 2. Agencia Estatal de Meteorología (AEMet).

Gregory, C., Martin, F., Narisara, T., Jung-Hun, W., Kentaro, M., Pham, V., Carl, M., Rajasekhar, B., Jariya, B., Pramote, U., Manju, M., Sharad, A., Arun, S., Pienaar, J., Emst, B., Tai, C., Tang, J., Ding, G., Leong, P., Sri, D., Hery, H., Aida, J., Wilson, K., Abdelmalek, K., Jean-Pierre, L., Sandrine, R., Osvaldo, B., Carrasco, J., Augusto, A., Tavares, T., Cotrina, J. and Erdal, B. (2003). Measurements of sulfur dioxide, ozone and ammonia concentrations in Asia, Africa and South America using passive sampler. Atmospheric Environmental 37. Pergamon. 1293-1308.

Haynes, W. (2011). Handbook of Chemistry and Physics. Edition 92.

Horwell, C., Patterson, J., Gamble, J. and Allen, A. (2004). Monitoring and mapping of hydrogen sulphide emissions across an active geothermal field: Rotorua, New Zealand. Elsevier. 139. 259-269.

International Programme on Chemical Safety. (1886). Environmental Health Criteria 54. Ammonia. IPCS Inchem Home. 124.

Ndetei, C. (2010). Noise assessment and H<sub>2</sub>S dispersion at Olkaria geothermal power plant, Kenya. Geothermal Training Programme. 23. 441-462.

Nichols, M.L. and Willits, C.O. (1934). Reactions of Nessler's Solution. Contribution from the Department of Chemistry, Cornell University. 56. 769-774.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2008). Servicio Nacional de Meteorología. La Escala de la Fuerza de los Vientos de Beaufort. [http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream\\_sp/oceano/beaufort\\_sp\\_max.htm](http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream_sp/oceano/beaufort_sp_max.htm).

Olafsdottir, S., Gardarsson, S. and Andradottir, H. (2014). Spatial distribution of hydrogen sulfide from two geothermal power plants in complex terrain. Elsevier. Atmospheric Environment. 60-70.

Pham, M., Muller, JFM, Brasseur, GP, Granier, C. and Megie, GM. (1995). A three dimensional study of the tropospheric sulphur cycle. J Geophys Res. 100:26061-26092.

Peralta, O., Castro, T., Durón, M., Salcido, A., Celada, A., Navarro, R., Márquez, C., García, J., De la Rosa, J., Torres, R., Villegas, R., Carreón, S., Imaz, M., Martínez, A., Saavedra, I., De Luz Espinoza, M. and Torres, A. (2013). H<sub>2</sub>S emissions from Cerro Prieto geothermal power plant, Mexico, and air pollutants measurements in the area. Elsevier. Geothermics. 55-65.

Puchalski, M., Sather, M., Walker, J., Lehmann, C., Gay, D., Mathew, J. and Robarge, W. (2011). Passive ammonia monitoring in the United States: Comparing three different sampling devices. Journal Environmental Monitoring. 3156 -3167.

Radiello. (2006). Manual. Centro di Ricerche Ambientali-Padova. Sigma Aldrich.

Salocks, C., PhD, DABT and Black, K., PhD, DABT. (2003). Technical Support Document: Toxicology Clandestine Drug Labs: Methamphetamine (ammonia). OEHHA. 1. 1. 11.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Programa para mejorar la calidad del aire en Mexicali 2011-2020.

Secretaria de Protección al Ambiente (SPA), (2011).

Seinfeld, J. and Pandis, S. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change. Second edition. JOHN WILEY & SONS, INC. 1191.

Sequeira, H. (2005). Check-Up of the Hydrogen Sulfide Dispersion Model for the Miravalles Geothermal Field after Four Years of Monitoring. Proceedings World Geothermal Congress. 24-29.

Toscano, V. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario oficial (Primera Sección). 49, 50 y 51.

Universidad Pablo de Olavide. Dispersión de contaminantes atmosféricos: modelo gaussiano de la columna de humo. Práctica 1. Asignatura de Contaminación Atmosférica. Área de Química Física.

W., D'Alessandro, Brusca, L., Kyriakopoulos, K., Michas, G. and Papadakis, G. (2008). Hydrogen Sulphide as a natural air contaminant in volcanic/geothermal areas: the case of Sousaki, Corinthia (Greece). Springer-Verlag, Environ Geol. 1723-1728.

WBK & Associates Inc. (2003). Sulphur dioxide: environmental effects, fate and behaviour. Alberta Environmental.

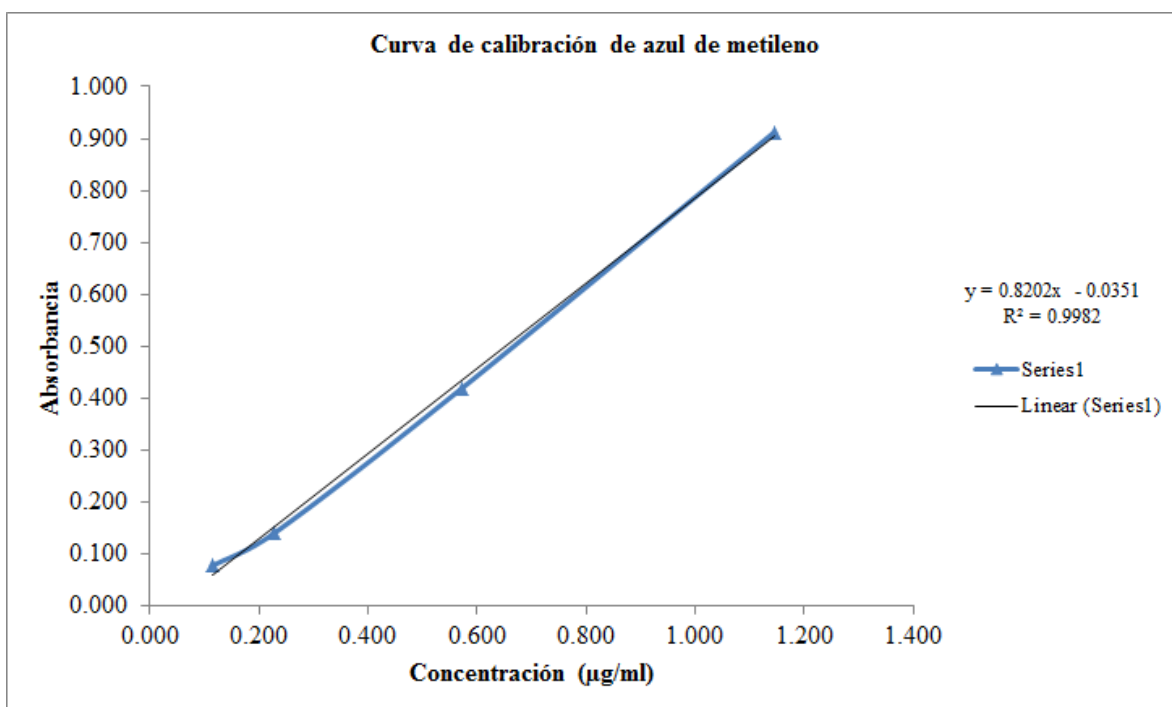
World Health Organization (WHO). (2003). Hydrogen sulfide: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 53. 35.

**ANEXOS**

140

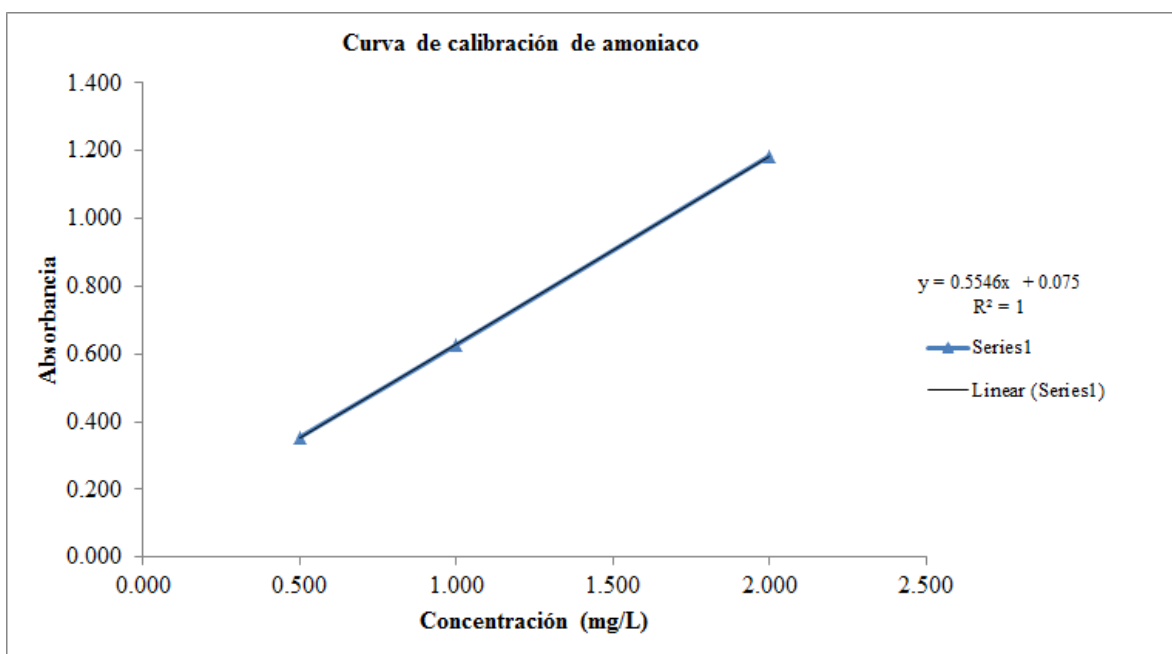
## Anexo 1

Concentración S <sup>2-</sup> (µg/ml)	Absorbancia
1.145	0.912
0.572	0.419
0.229	0.141
0.115	0.078



## Anexo2

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0.500	0.354
1.000	0.627
2.000	1.185



### Anexo 3

Datos de concentración en µg/m <sup>3</sup>																		
Periodo	H <sub>2</sub> S				Periodo	SO <sub>2</sub>				Periodo	NH <sub>3</sub>				Dirección del viento (°N)	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
	Dias	Est. Delta	Ej. N.L.	P. El Chimi		Dias	Est. Delta	Ej. N.L.	P. El Chimi		Dias	Est. Delta	Ej. N.L.	P. El Chimi				
29/11/13-30/11/13	1	130.9	-	-	29/11/13-30/11/13	1	413.1	-	-	29/11/13-30/11/13	1	6.2	-	-	351.8	0.6	13.7	66.8
30/11/13-02/12/13	2	172.6	-	-	30/11/13-02/12/13	2	1441.3	-	-	30/11/13-02/12/13	2	2.6	-	-	268.3	0.6	14.0	63.8
	3	172.6	-	-		3	1441.3	-	-		3	2.6	-	-	268.3	0.6	14.0	63.8
	4	23.5	-	-		4	139.6	-	-		4	7.6	-	-	75.2	1.1	12.3	66.3
02/12/13-05/12/13	5	23.5	-	-	02/12/13-05/12/13	5	139.6	-	-	02/12/13-05/12/13	5	7.6	-	-	75.2	1.1	12.3	66.3
	6	23.5	-	-		6	139.6	-	-		6	7.6	-	-	75.2	1.1	12.3	66.3
	7	11.3	-	-		7	437.6	-	-		7	3.7	-	-	64.6	0.5	7.9	62.1
06/12/13-07/12/13	8	20.6	-	-	06/12/13-07/12/13	8	432.3	-	-	06/12/13-07/12/13	8	8.3	-	-	129.9	0.7	9.2	66
08/12/13-10/12/13	9	139	-	-	08/12/13-10/12/13	9	-	-	-	08/12/13-10/12/13	9	-	191.3	-	228.5	2.0	8.4	40.2
	10	139	3	-		10	-	-	-		10	-	191.3	-	228.5	2.0	8.4	40.2
10/12/13-12/12/13	11	257.2	7.6	-	10/12/13-12/12/13	11	-	-	-	10/12/13-12/12/13	11	-	249.9	-	226.9	1.5	9.6	40.2
	12	257.2	7.6	-		12	-	-	-		12	-	249.9	-	226.9	1.5	9.6	40.2
12/12/13-14/12/13	13	120.5	18.2	-	12/12/13-14/12/13	13	-	-	-	12/12/13-14/12/13	13	-	232.1	-	137.8	1.1	11.7	49.2
	14	120.5	18.2	-		14	-	-	-		14	-	232.1	-	137.8	1.1	11.7	49.2
18/01/14-20/01/14	15	109.1	-	133	18/01/14-20/01/14	15	2251.1	-	204.6	18/01/14-20/01/14	15	37	-	43	349.3	0.7	14.7	38.8
	16	109.1	-	133		16	2251.1	-	204.6		16	37	-	43	349.3	0.7	14.7	38.8
20/01/14-22/01/14	17	114.2	-	140.9	20/01/14-22/01/14	17	203.2	-	203.2	20/01/14-22/01/14	17	20.8	-	18.3	236.7	0.7	15.4	38.4
	18	114.2	-	140.9		18	203.2	-	203.2		18	20.8	-	18.3	236.7	0.7	15.4	38.4
22/01/14-24/01/14	19	149	-	58.7	22/01/14-24/01/14	19	1010.9	-	202.2	22/01/14-24/01/14	19	1.8	-	1.8	119.7	0.9	15.9	40.3
	20	149	-	58.7		20	1010.9	-	202.2		20	1.8	-	1.8	119.7	0.9	15.9	40.3
24/01/14-25/01/14	21	83.1	-	-	24/01/14-25/01/14	21	-	-	-	24/01/14-25/01/14	21	-	-	-	346.1	1.2	17.4	36.2
26/01/14-28/01/14	22	70.4	39.5	45.1	26/01/14-28/01/14	22	-	-	-	26/01/14-28/01/14	22	-	-	-	44.8	0.7	17.0	56.2
	23	70.4	39.5	45.1		23	-	-	-		23	-	-	-	44.8	0.7	17.0	56.2
28/01/14-30/01/14	24	41.9	13.7	23.6	28/01/14-30/01/14	24	-	-	-	28/01/14-30/01/14	24	-	-	-	79.6	1.1	16.8	56.9
	25	41.9	13.7	23.6		25	-	-	-		25	-	-	-	79.6	1.1	16.8	56.9
30/01/14-01/02/14	26	92.3	21	26	30/01/14-01/02/14	26	-	-	-	30/01/14-01/02/14	26	-	-	-	265.8	2.4	14.9	60.2
	27	92.3	21	26		27	-	-	-		27	-	-	-	265.8	2.4	14.9	60.2
01/02/14-04/02/14	28	51.8	22.2	52.2	01/02/14-04/02/14	28	1118.4	994.7	847.1	01/02/14-04/02/14	28	3.5	198.2	19.8	159.3	1.4	11.8	54.6
	29	51.8	22.2	52.2		29	1118.4	994.7	847.1		29	3.5	198.2	19.8	159.3	1.4	11.8	54.6
	30	51.8	22.2	52.2		30	1118.4	994.7	847.1		30	3.5	198.2	19.8	159.3	1.4	11.8	54.6
04/02/14-07/02/14	31	6	13.1	143.9	04/02/14-07/02/14	31	1102.9	829.4	551.4	04/02/14-07/02/14	31	18.2	169.2	37.8	103.9	1.1	13.6	68.9
	32	6	13.1	143.9		32	1102.9	829.4	551.4		32	18.2	169.2	37.8	103.9	1.1	13.6	68.9
	33	6	13.1	143.9		33	1102.9	829.4	551.4		33	18.2	169.2	37.8	103.9	1.1	13.6	68.9
07/02/14-10/02/14	34	6.9	18.7	23	07/02/14-10/02/14	34	-	-	-	07/02/14-10/02/14	34	-	-	-	190.0	1.0	15.9	68.2
	35	6.9	18.7	23		35	-	-	-		35	-	-	-	190.0	1.0	15.9	68.2
	36	6.9	18.7	23		36	-	-	-		36	-	-	-	190.0	1.0	15.9	68.2
10/02/14-13/02/14	37	127.1	26.9	23	10/02/14-13/02/14	37	-	-	-	10/02/14-13/02/14	37	-	-	-	193.1	1.2	18.4	48.5
	38	127.1	26.9	23		38	-	-	-		38	-	-	-	193.1	1.2	18.4	48.5
	39	127.1	26.9	23		39	-	-	-		39	-	-	-	193.1	1.2	18.4	48.5
13/02/14-15/02/14	40	-	-	23	13/02/14-15/02/14	40	-	-	-	13/02/14-15/02/14	40	-	-	-	102.2	0.5	18.9	53.1
	41	-	-	23		41	-	-	-		41	-	-	-	102.2	0.5	18.9	53.1
22/02/14-08/03/14	42	-	-	50.6	22/02/14-08/03/14	42	-	-	-	22/02/14-08/03/14	42	-	-	-	180.2	1.5	18.4	66.4

## Anexo 4

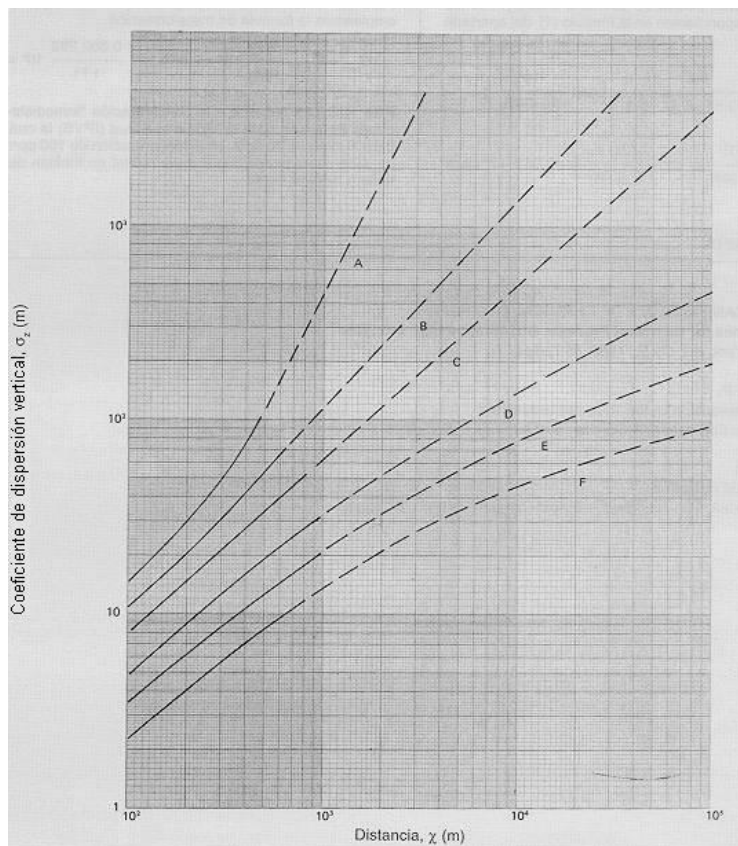
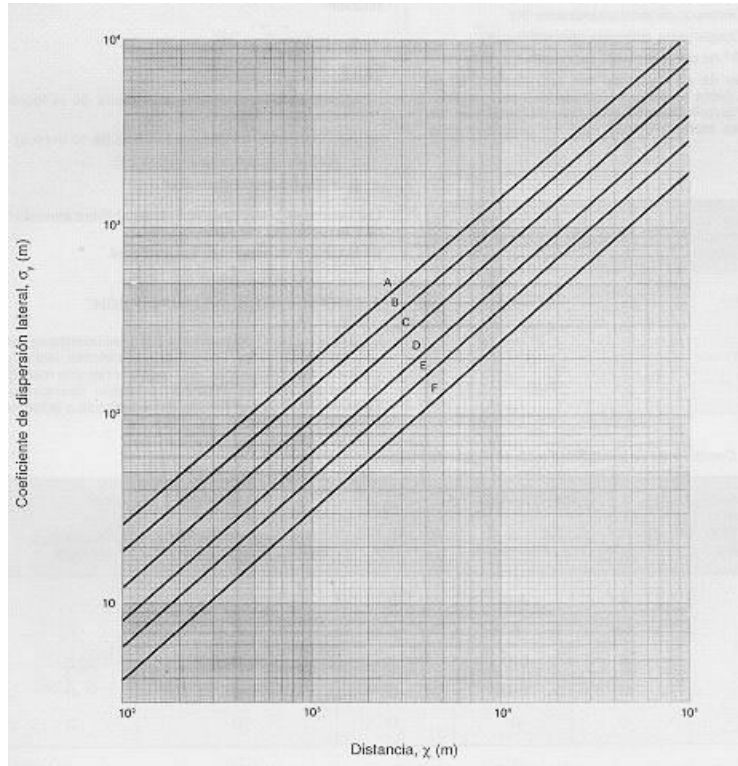
H <sub>2</sub> S				SO <sub>2</sub>				NH <sub>3</sub>				Dirección del viento (°N)	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Periodo	Días	Est. Delta	Ej. N.L.	P. El Chimí	Periodo	Días	Est. Delta	Ej. N.L.	P. El Chimí	Periodo	Días				
22/03/14-26/03/14	1	18.6	45.5	64.8	22/03/14-26/03/14	1	1064.8	183.6	510.6	22/03/14-26/03/14	1	24.8	142.9	47.5	158.3
	2	18.6	45.5	64.8		2	1064.8	183.6	510.6		2	24.8	142.9	47.5	158.3
	3	18.6	45.5	64.8		3	1064.8	183.6	510.6		3	24.8	142.9	47.5	158.3
	4	18.6	45.5	64.8		4	1064.8	183.6	510.6		4	24.8	142.9	47.5	158.3
26/03/14-30/03/14	5	93.1	43.6	106.7	26/03/14-30/03/14	5	-	-	-	26/03/14-30/03/14	5	-	-	-	232.3
	6	93.1	43.6	106.7		6	-	-	-		6	-	-	-	232.3
	7	93.1	43.6	106.7		7	-	-	-		7	-	-	-	232.3
	8	93.1	43.6	106.7		8	-	-	-		8	-	-	-	232.3
30/03/14-03/04/14	9	84.1	16.4	-	30/03/14-03/04/14	9	404.3	593.4	-	30/03/14-03/04/14	9	8.8	128.7	-	215.2
	10	84.1	16.4	-		10	404.3	593.4	-		10	8.8	128.7	-	215.2
	11	84.1	16.4	-		11	404.3	593.4	-		11	8.8	128.7	-	215.2
	12	84.1	16.4	-		12	404.3	593.4	-		12	8.8	128.7	-	215.2
03/04/14-05/04/14	13	38.6	11.3	-	03/04/14-05/04/14	13	-	-	-	03/04/14-05/04/14	13	-	-	-	124.4
	14	38.6	11.3	-		14	-	-	-		14	-	-	-	124.4
	15	80.4	38.5	61.8		15	146.3	-	-		15	8.9	-	-	168.5
	16	80.4	38.5	61.8		16	146.3	-	-		16	8.9	-	-	168.5
05/04/14-10/04/14	17	80.4	38.5	61.8	05/04/14-10/04/14	17	146.3	-	-	05/04/14-10/04/14	17	8.9	-	-	168.5
	18	80.4	38.5	61.8		18	146.3	-	-		18	8.9	-	-	168.5
	19	80.4	38.5	61.8		19	146.3	-	-		19	8.9	-	-	168.5
	20	133.2	23.9	32.2		20	-	-	-		20	-	-	-	137.0
10/04/14-15/04/14	21	133.2	23.9	32.2	10/04/14-15/04/14	21	-	-	-	10/04/14-15/04/14	21	-	-	-	137.0
	22	133.2	23.9	32.2		22	-	-	-		22	-	-	-	137.0
	23	133.2	23.9	32.2		23	-	-	-		23	-	-	-	137.0
	24	133.2	23.9	32.2		24	-	-	-		24	-	-	-	137.0
15/04/14-19/04/14	25	10.5	21.8	32.2	15/04/14-19/04/14	25	-	-	-	15/04/14-19/04/14	25	-	-	-	125.1
	26	10.5	21.8	32.2		26	-	-	-		26	-	-	-	125.1
	27	10.5	21.8	32.2		27	-	-	-		27	-	-	-	125.1
	28	10.5	21.8	32.2		28	-	-	-		28	-	-	-	125.1
19/04/14-26/04/14	29	44.4	16.7	-	19/04/14-26/04/14	29	-	-	-	19/04/14-26/04/14	29	-	-	-	155.8
	30	44.4	16.7	-		30	-	-	-		30	-	-	-	155.8
	31	44.4	16.7	-		31	-	-	-		31	-	-	-	155.8
	32	44.4	16.7	-		32	-	-	-		32	-	-	-	155.8
27/04/14-01/05/14	33	44.4	16.7	-	27/04/14-01/05/14	33	-	-	-	27/04/14-01/05/14	33	-	-	-	155.8
	34	44.4	16.7	-		34	-	-	-		34	-	-	-	155.8
	35	44.4	16.7	-		35	-	-	-		35	-	-	-	155.8
	36	146.7	4.3	77.5		36	96.3	91	283.7		36	8.8	184.1	14.6	345.9
01/05/14-05/05/14	37	146.7	4.3	77.5	01/05/14-05/05/14	37	96.3	91	283.7	01/05/14-05/05/14	37	8.8	184.1	14.6	345.9
	38	146.7	4.3	77.5		38	96.3	91	283.7		38	8.8	184.1	14.6	345.9
	39	5.7	21	26		39	-	-	-		39	-	-	-	144.9
	40	5.7	21	26		40	-	-	-		40	-	-	-	144.9
05/05/14-09/05/14	41	5.7	21	26	05/05/14-09/05/14	41	-	-	-	05/05/14-09/05/14	41	-	-	-	144.9
	42	5.7	21	26		42	-	-	-		42	-	-	-	144.9
	43	38.1	4.4	45.9		43	191.9	104	98.8		43	-	-	-	206.7
	44	38.1	4.4	45.9		44	191.9	104	98.8		44	-	-	-	206.7
10/05/14-13/05/14	45	38.1	4.4	45.9	10/05/14-13/05/14	45	191.9	104	98.8	10/05/14-13/05/14	45	-	-	-	132.5
	46	38.1	4.4	45.9		46	191.9	104	98.8		46	-	-	-	132.5
	47	77.4	4.7	115.7		47	-	-	-		47	-	-	-	255.9
	48	77.4	4.7	115.7		48	-	-	-		48	-	-	-	255.9
13/05/14-16/05/14	49	77.4	4.7	115.7	13/05/14-16/05/14	49	-	-	-	13/05/14-16/05/14	49	-	-	-	255.9
	50	110.9	9.1	192.3		50	-	-	-		50	-	-	-	132.5
	51	110.9	9.1	192.3		51	-	-	-		51	-	-	-	132.5
	52	110.9	9.1	192.3		52	-	-	-		52	-	-	-	132.5
16/05/14-19/05/14	53	36.9	17.3	57.4	16/05/14-19/05/14	53	-	-	-	16/05/14-19/05/14	53	-	-	-	117.8
	54	36.9	17.3	57.4		54	-	-	-		54	-	-	-	117.8
	55	36.9	17.3	57.4		55	-	-	-		55	-	-	-	117.8
	56	53.2	10.1	46.4		56	-	-	-		56	-	-	-	141.7
19/05/14-22/05/14	57	53.2	10.1	46.4	19/05/14-22/05/14	57	-	-	-	19/05/14-22/05/14	57	-	-	-	141.7
	58	53.2	10.1	46.4		58	-	-	-		58	-	-	-	141.7
	59	20.5	29.3	5.2		59	-	-	-		59	-	-	-	130.1
	60	20.5	29.3	5.2		60	-	-	-		60	-	-	-	130.1
22/05/14-24/05/14	61	8	2.4	7.1	22/05/14-24/05/14	61	313.1	167.5	879.8	22/05/14-24/05/14	61	3	44.7	16.5	152.8
	62	8	2.4	7.1		62	313.1	167.5	879.8		62	3	44.7	16.5	152.8
	63	4.1	6.6	-		63	-	-	-		63	-	-	-	128.3
	64	4.1	6.6	-		64	-	-	-		64	-	-	-	128.3
25/05/14-27/05/14	65	6.9	18.5	4.8	25/05/14-27/05/14	65	925.6	208.8	667	25/05/14-27/05/14	65	2	46.4	7.6	118.8
	66	6.9	18.5	4.8		66	925.6	208.8	667		66	2	46.4	7.6	118.8
	67	8.4	36.9	9.3		67	50.2	50.9	97.6		67	15.1	49.4	2.6	130.1
	68	5.4	111	75.8		68	50.2	50.9	97.6		68	15.1	49.4	2.6	149.6
27/05/14-29/05/14	69	5.4	111	75.8	27/05/14-29/05/14	69	50.2	50.9	97.6	27/05/14-29/05/14	69	15.1	49.4	2.6	149.6
	70	2.6	17.4	69.5		70	50.2	50.9	97.6		70	15.1	49.4	2.6	126.2
	71	2.6	17.4	69.5		71	50.2	50.9	97.6		71	15.1	49.4	2.6	126.2
	72	71.5	18.2	139.8		72	50.2	50.9	97.6		72	15.1	49.4	2.6	43.5
29/05/14-31/05/14	73	71.5	18.2	139.8	29/05/14-31/05/14	73	50.2	50.9	97.6	29/05/14-31/05/14	73	15.1	49.4	2.6	43.5
	74	20.6	29.7	138.5		74	159.9	51	513.1		74	8	77.3	-	57.3
	75	20.6	29.7	138.5		75	159.9	51	513.1		75	8	77.3	-	57.3
	76	27.9	16	41.3		76	159.9	51	513.1		76	8	77.3	-	27.1
07/06/14-08/06/14	77	27.9	16	41.3	07/06/14-08/06/14	77	159.9	51	513.1	07/06/14-08/06/14	77	8	77.3	-	27.1
	78	101	36.1	47.8		78	159.9	51	513.1		78	8	77.3	-	74.2
	79	21.4	36.1	47.8		79	159.9	51	513.1		79	8	77.3	-	135.6
	80	18.2	14.5	11.8		80	159.9	51	513.1		80	8	77.3	-	136.8
08/06/14-10/06/14	81	18.2	14.5	11.8	08/06/14-10/06/14	81	159.9	51	513.1	08/06/14-10/06/14	81	15.1	49.4	2.6	130.1
	82	18.2	14.5	11.8		82	159.9	51	513.1		82	15.1	49.4	2.6	130.1
	83	18.2	14.5	11.8		83	159.9	51	513.1		83	15.1	49.4	2.6	130.1
	84	18.2	14.5	11.8		84	159.9	51	513.1		84	15.1	49.4	2.6	130.1
10/06/14-12/06/14	85	18.2	14.5	11.8	10/06/14-12/06/14	85	159.9	51	513.1	10/06/14-12/06/14	85	15.1	49.4	2.6	130.1
	86	18.2	14.5	11.8		86	159.9	51	513.1		86	15.1	49.4	2.6	130.1
	87	18.2	14.5	11.8		87	159.9	51	513.1		87	15.1	49.4	2.6	130.1
	88	18.2	14.5	11.8		88	159.9	51	513.1		88	15.1	49.4	2.6	130.1
12/06/14-14/06/14	89	18.2													

## Anexo 5

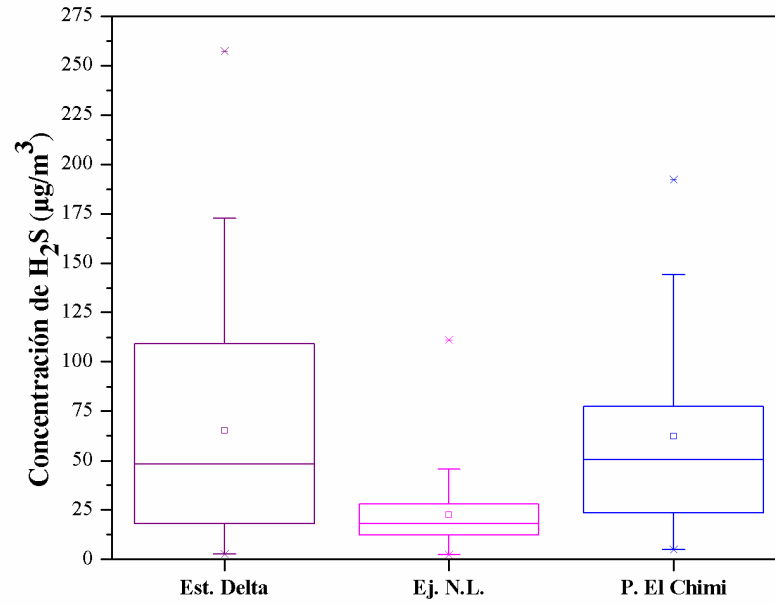
Periodo	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						NH <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )					
	Est. Delta	IC Aire-SO <sub>2</sub>	Ej. N.L.	IC Aire-SO <sub>2</sub>	P. El Chimi	IC Aire-SO <sub>2</sub>	Est. Delta	IC Aire-NH <sub>3</sub>	Ej. N.L.	IC Aire-NH <sub>3</sub>	P. El Chimi	IC Aire-NH <sub>3</sub>	Est. Delta	IC Aire-H <sub>2</sub> S	Ej. N.L.	IC Aire-H <sub>2</sub> S	P. El Chimi	IC Aire-H <sub>2</sub> S
29/11/13-30/11/13	413.1	1.4	-	-	-	-	6.2	0.1	-	-	-	-	130.9	0.9	-	-	-	-
30/11/13-02/12/13	1441.3	5.0	-	-	-	-	2.6	0.0	-	-	-	-	172.6	1.2	-	-	-	-
02/12/13-05/12/13	139.6	0.5	-	-	-	-	7.6	0.1	-	-	-	-	23.5	0.2	-	-	-	-
05/12/13-06/12/13	437.6	1.5	-	-	-	-	0	0.0	-	-	-	-	11.3	0.1	-	-	-	-
06/12/13-07/12/13	432.3	1.5	-	-	-	-	8.3	0.1	-	-	-	-	20.6	0.1	-	-	-	-
08/12/13-10/12/13	-	-	-	-	-	-	-	-	191.3	1.9	-	-	139	0.9	-	-	-	-
10/12/13-12/12/13	-	-	-	-	-	-	-	-	249.9	2.5	-	-	257.2	1.7	7.6	0.1	-	-
12/12/13-14/12/13	-	-	-	-	-	-	-	-	232.1	2.3	-	-	120.5	0.8	18.2	0.1	-	-
18/01/14-20/01/14	2251.1	7.8	-	-	204.6	0.7	37	0.4	-	-	43	0.4	109.1	0.7	-	-	133	0.9
20/01/14-22/01/14	203.2	0.7	-	-	203.2	0.7	20.8	0.2	-	-	18.3	0.2	114.2	0.8	-	-	140.9	0.9
22/01/14-24/01/14	1010.9	3.5	-	-	202.2	0.7	1.8	0.0	-	-	0	0	149	1.0	-	-	58.7	0.4
24/01/14-25/01/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83.1	0.6	-	-	-	-
26/01/14-28/01/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70.4	0.5	39.5	0.3	45.1	0.3
28/01/14-30/01/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.9	0.3	13.7	0.1	23.6	0.2
30/01/14-01/02/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92.3	0.6	21	0.1	26	0.2
01/02/14-04/02/14	1118.4	3.9	994.7	3.5	847.1	2.9	3.5	0.0	198.2	2.0	19.8	0.2	51.8	0.3	22.2	0.1	52.2	0.3
04/02/14-07/02/14	1102.9	3.8	829.4	2.9	551.4	1.9	18.2	0.2	169.2	1.7	37.8	0.4	6	0.0	13.1	0.1	143.9	1.0
07/02/14-10/02/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9	0.0	18.7	0.1	23	0.2
10/02/14-13/02/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127.1	0.8	26.9	0.2	23	0.2
13/02/14-15/02/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	0.2
22/02/14-08/03/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.6	0.3

Periodo	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						NH <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )					
	Est. Delta	IC Aire-SO <sub>2</sub>	Ej. N.L.	IC Aire-SO <sub>2</sub>	P. El Chimi	IC Aire-SO <sub>2</sub>	Est. Delta	IC Aire-NH <sub>3</sub>	Ej. N.L.	IC Aire-NH <sub>3</sub>	P. El Chimi	IC Aire-NH <sub>3</sub>	Est. Delta	IC Aire-H <sub>2</sub> S	Ej. N.L.	IC Aire-H <sub>2</sub> S	P. El Chimi	IC Aire-H <sub>2</sub> S
22/03/14-26/03/14	1064.8	3.7	183.6	0.6	510.6	1.8	24.8	0.2	142.9	1.4	47.5	0.5	18.6	0.1	45.5	0.3	64.8	0.4
26/03/14-30/03/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93.1	0.6	43.6	0.3	106.7	0.7
30/03/14-03/04/14	404.3	1.4	593.4	2.1	-	-	8.8	0.1	128.7	1.3	-	-	84.1	0.6	16.4	0.1	-	-
03/04/14-05/04/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38.6	0.3	11.3	0.1	-	-
05/04/14-10/04/14	146.3	0.5	-	-	-	-	8.9	0.1	-	-	-	-	80.4	0.5	38.5	0.3	61.8	0.4
10/04/14-15/04/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	133.2	0.9	23.9	0.2	61.8	0.4
15/04/14-19/04/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.5	0.1	21.8	0.1	32.2	0.2
19/04/14-26/04/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.4	0.3	16.7	0.1	-	-
27/04/14-01/05/14	96.3	0.3	91	0.3	283.7	1.0	8.8	0.1	184.1	1.8	14.6	0.1	146.7	1.0	4.3	0.0	77.5	0.5
01/05/14-05/05/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.7	0.0	21	0.1	26	0.2
05/05/14-09/05/14	191.9	0.7	104	0.4	98.8	0.3	-	-	-	-	-	-	38.1	0.3	4.4	0.0	45.9	0.3
10/05/14-13/05/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77.4	0.5	4.7	0.0	115.7	0.8
13/05/14-16/05/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110.9	0.7	9.1	0.1	192.3	1.3
16/05/14-19/05/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.9	0.2	17.3	0.1	57.4	0.4
19/05/14-22/05/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.2	0.4	10.1	0.1	46.4	0.3
22/05/14-24/05/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.5	0.1	29.3	0.2	5.2	0.0
25/05/14-27/05/14	313.1	1.1	167.5	0.6	879.8	3.1	3	0.0	44.7	0.4	16.5	0.2	8	0.1	2.4	0.0	7.1	0.0
27/05/14-29/05/14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	0.0	6.6	0.0	-	-
29/05/14-31/05/14	925.6	3.2	208.8	0.7	667	2.3	2	0.0	46.4	0.5	7.6	0.1	6.9	0.0	18.5	0.1	4.8	0.0
07/06/14-08/06/14	50.2	0.2	50.9	0.2	97.6	0.3	15.1	0.2	49.4	0.5	2.6	0.0	8.4	0.1	36.9	0.2	9.3	0.1
08/06/14-10/06/14	50.2	0.2	50.9	0.2	97.6	0.3	15.1	0.2	49.4	0.5	2.6	0.0	5.4	0.0	111	0.7	75.8	0.5
10/06/14-12/06/14	50.2	0.2	50.9	0.2	97.6	0.3	15.1	0.2	49.4	0.5	2.6	0.0	2.6	0.0	17.4	0.1	69.5	0.5
12/06/14-14/06/14	50.2	0.2	50.9	0.2	97.6	0.3	15.1	0.2	49.4	0.5	2.6	0.0	71.5	0.5	18.2	0.1	139.8	0.9
14/06/14-16/06/14	159.9	0.6	51	0.2	513.1	1.8	8	0.1	77.3	0.8	-	-	20.6	0.1	29.7	0.2	138.5	0.9
16/06/14-18/06/14	159.9	0.6	51	0.2	513.1	1.8	8	0.1	77.3	0.8	-	-	27.9	0.2	16	0.1	41.3	0.3
18/06/14-20/06/14	159.9	0.6	51	0.2	513.1	1.8	8	0.1	77.3	0.8	-	-	101	0.7	36.1	0.2	47.8	0.3
20/06/14-21/06/14	159.9	0.6	51	0.2	513.1	1.8	8	0.1	77.3	0.8	-	-	18.2	0.1	14.5	0.1	11.8	0.1

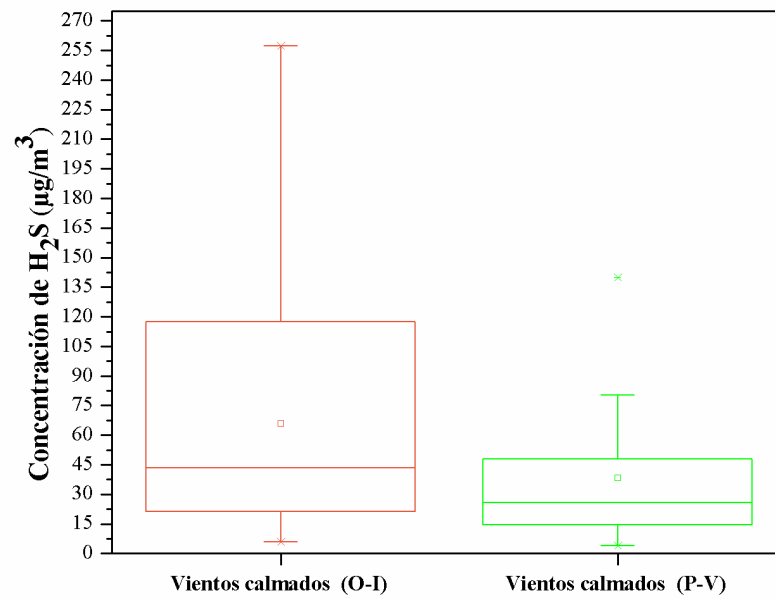
## Anexo 6 Gráficas de estabilidad



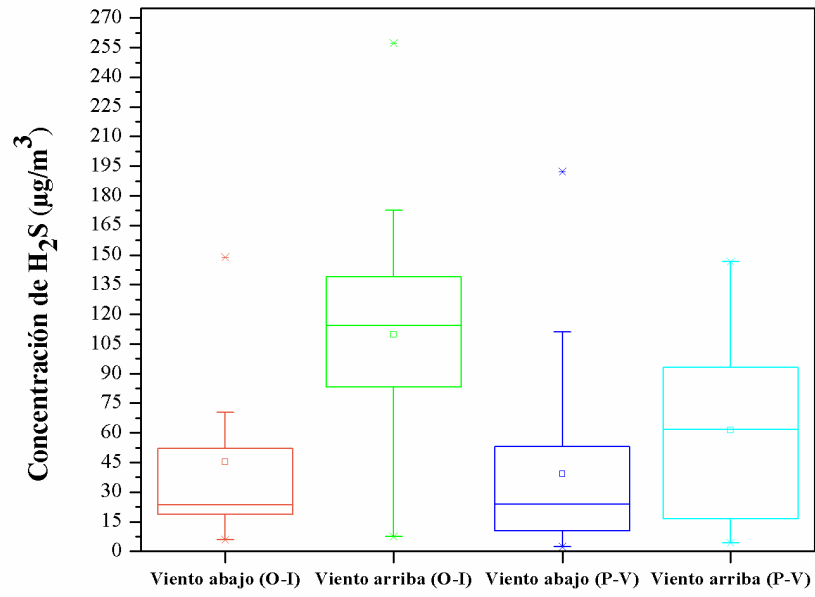
## Anexo 7



## Anexo 8

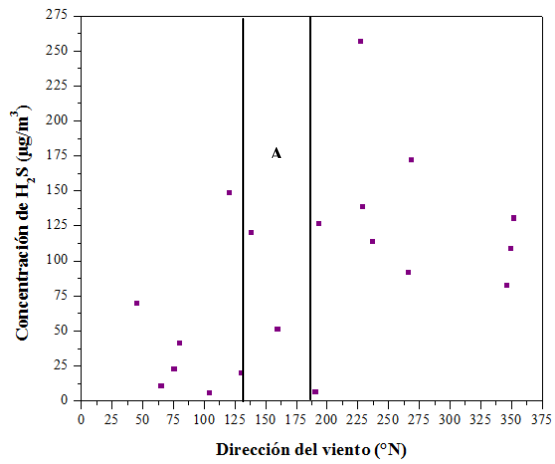


## Anexo 9

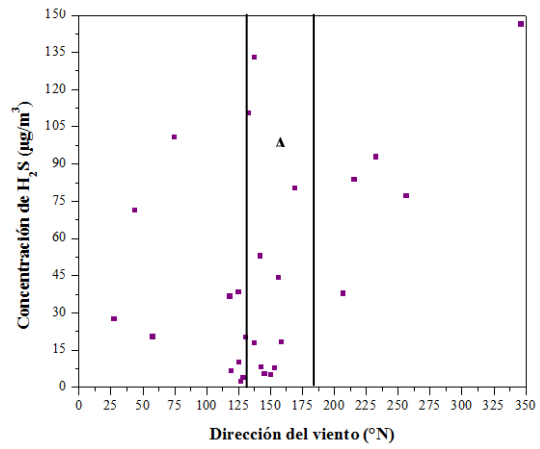


## Anexo 10

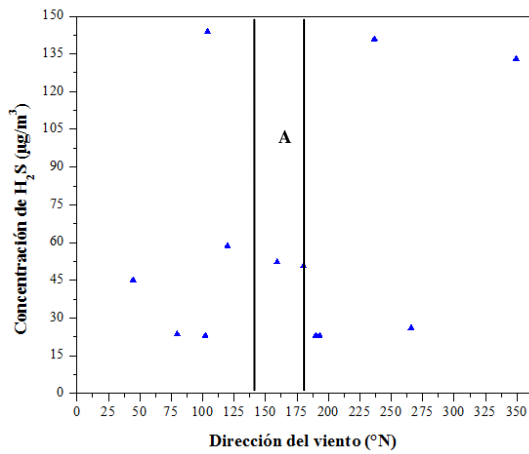
Gráfica de las concentraciones de H<sub>2</sub>S en la Est. Delta con respecto a la dirección del viento durante el periodo otoño-invierno 2013



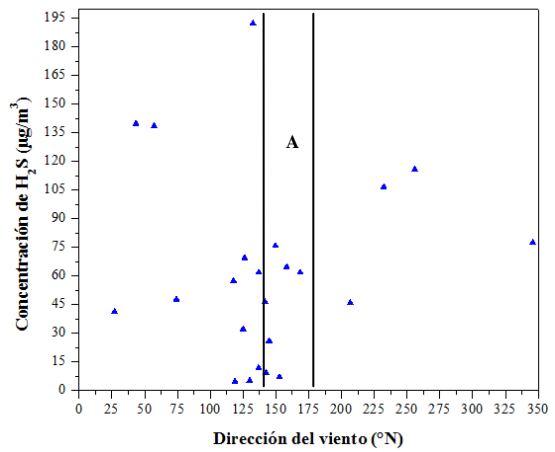
Gráfica de las concentraciones de H<sub>2</sub>S en la Est. Delta con respecto a la dirección del viento durante el periodo primavera-verano 2014



Gráfica de las concentraciones de H<sub>2</sub>S en el P. El Chimi con respecto a la dirección del viento durante el periodo otoño-invierno 2013



Gráfica de las concentraciones de H<sub>2</sub>S en el P. El Chimi con respecto a la dirección del viento durante el periodo primavera-verano 2014



A: Zona viento abajo

### Anexo 11

Estación Delta (Otoño-Invierno)							
Periodo	Viento abajo			Periodo	Viento arriba		
	Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)		Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)
12/Dic/13-14/Dic/13	120.5	137.7 <sup>d</sup>	260	10/Dic/13-12/Dic/13	257.2	226.8	240
01/Feb/14-04/Feb/14	51.8	159.2 <sup>a</sup>	45	08/Dic/13-10/Dic/13	139	228.5	250
10/Feb/14-13/Feb/14	127.1	193.1 <sup>b</sup>	180	30/Nov/13-02/Dic/13	172.6	268.3	250

Estación Delta (Primavera-verano)							
Periodo	Viento abajo			Periodo	Viento arriba		
	Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)		Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)
10/Abr/14-15/Abr/14	133.2	137 <sup>d</sup>	80	18/Jun/14-20/Jun/14	101	74.1	90
19/May/14-22/May/14	53.2	141.7 <sup>a</sup>	80	13/May/14-16/May/14	110.9	132.5 <sup>d</sup>	250
05/Abr/14-10/Abr/14	80.4	168.5 <sup>a</sup>	250	27/Abr/14-01/May/14	146.7	345.9	250

Viento abajo (130°-185°)

## Anexo 12

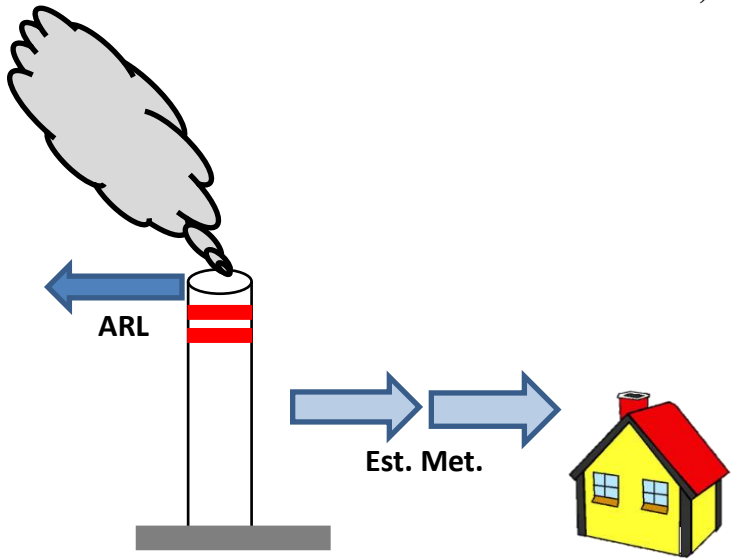
Poblado El Chimi (Otoño-Invierno)							
Viento abajo				Viento arriba			
Periodo	Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)	Periodo	Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)
01/Feb/14-04/Feb/14	52.2	159.2 <sup>a</sup>	45	04/Feb/14-07/Feb/14	143.9	103.9 <sup>b</sup>	180
22/Feb/14-08/Mar/14	50.6	180.2 <sup>a</sup>	70	20/Ene/14-22/Ene/14	140.9	236.6	250
07/Feb/14-10/Feb/14	23	189.9 <sup>b</sup>	110	18/Ene/14-20/Ene/14	133	349.3	250

Poblado El Chimi (Primavera-verano)							
Viento abajo				Viento arriba			
Periodo	Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)	Periodo	Concentración de H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	Est. Met. (2m)	ARL (10 m)
08/Jun/14-10/Jun/14	75.8	149.6 <sup>a</sup>	90	12/Jun/14-14/Jun/14	139.8	43.4	90
22/Mar/14-26/Mar/14	64.8	158.3 <sup>a</sup>	90	14/Jun/14-16/Jun/14	138.5	57.3 <sup>b</sup>	170
05/Abr/14-10/Abr/14	61.8	168.5 <sup>a</sup>	250	13/May/14-16/May/14	192.3	132.5	250

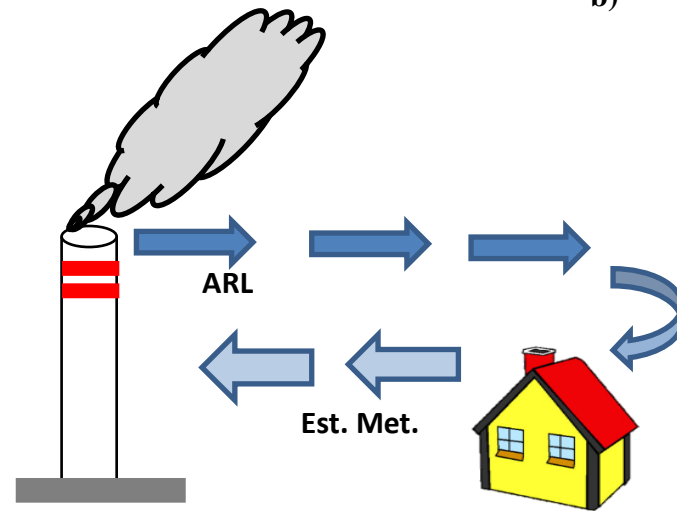
**Viento abajo (145°-180°)**

Anexo 13

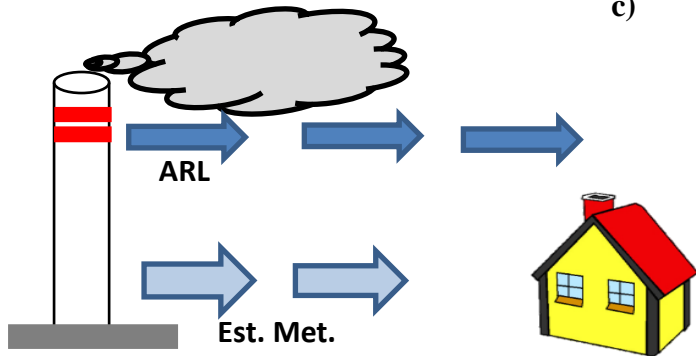
a)



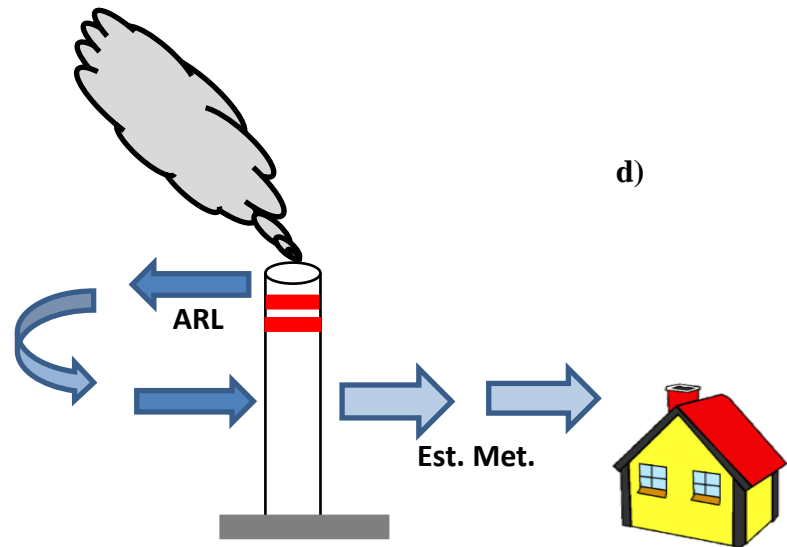
b)



c)

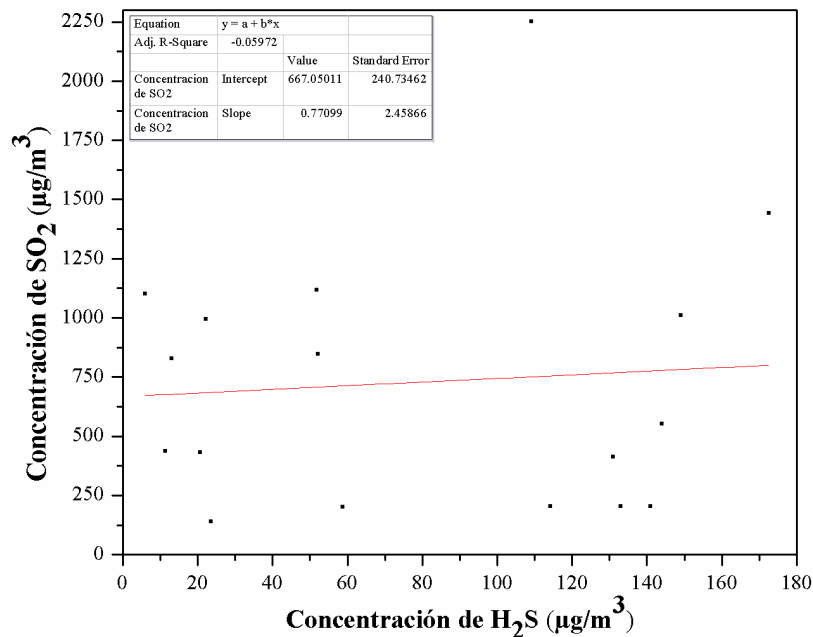


d)



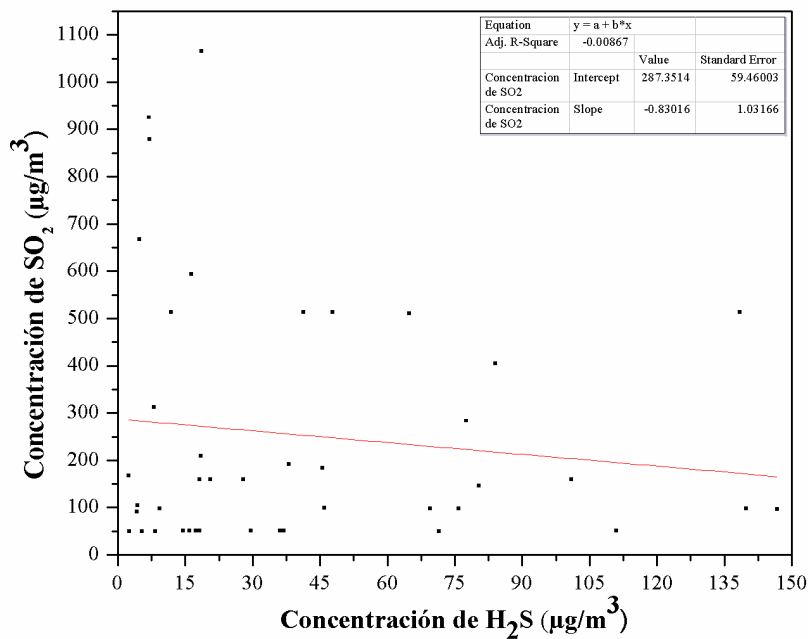
### Anexo 14

Gráfica de las concentraciones SO<sub>2</sub> con respecto a las concentraciones de H<sub>2</sub>S durante el periodo otoño-invierno

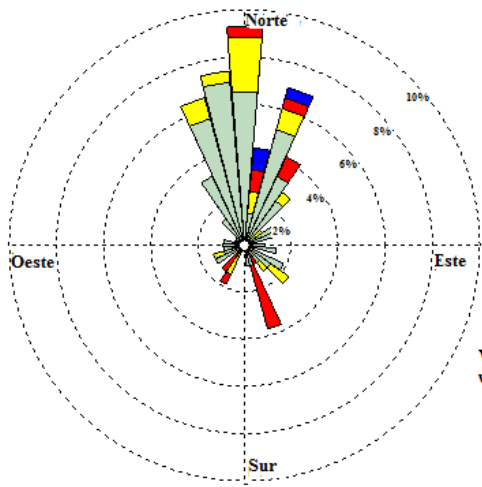


### Anexo 15

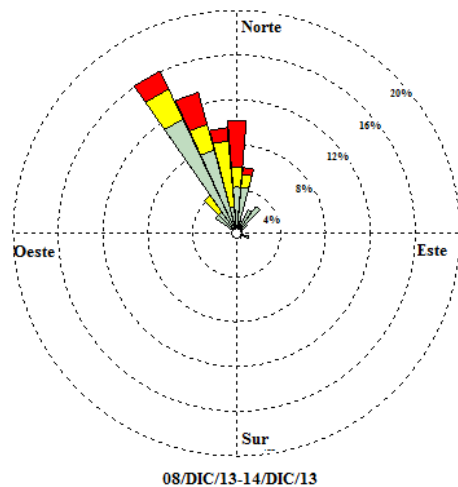
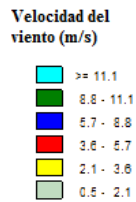
Gráfica de las concentraciones SO<sub>2</sub> con respecto a las concentraciones de H<sub>2</sub>S durante el periodo primavera-verano



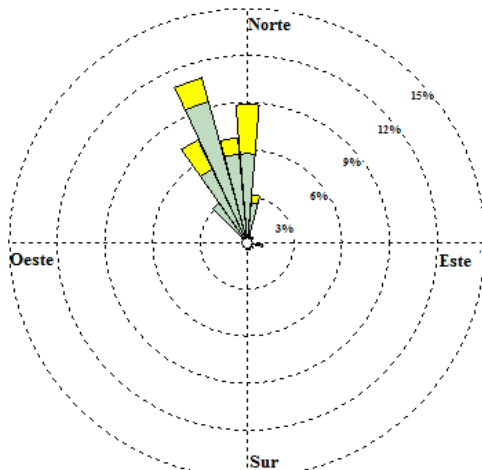
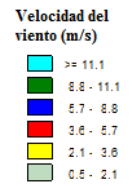
## Anexo 16 Rosa de los vientos (otoño-invierno)



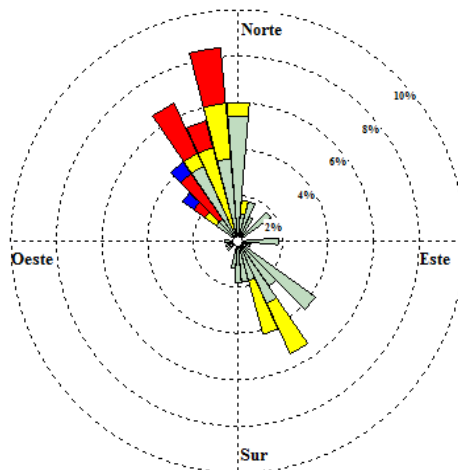
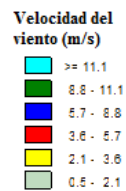
29/NOV/13-07/DIC/13



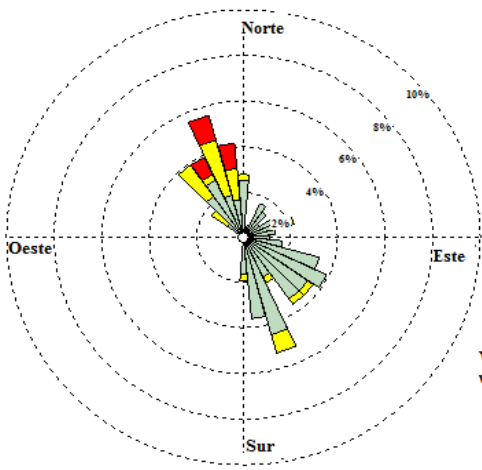
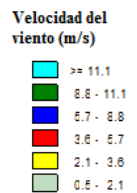
08/DIC/13-14/DIC/13



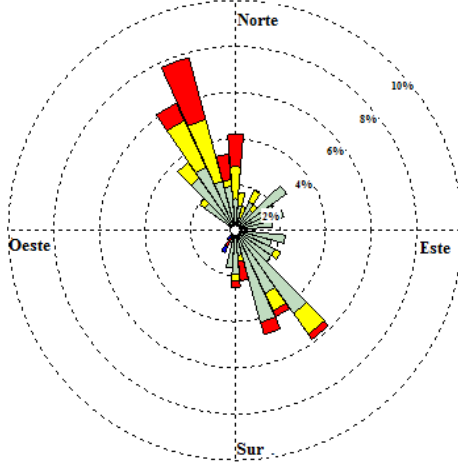
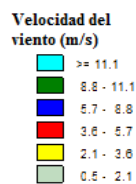
18/ENE/14-25/ENE/14



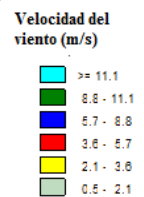
26/ENE/14-01/FEB/14



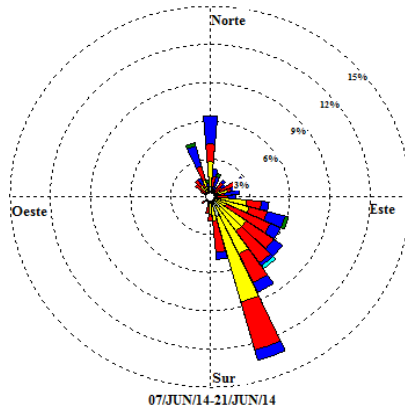
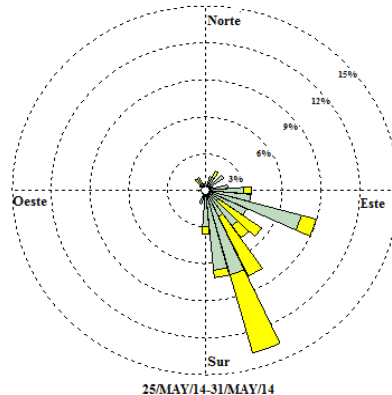
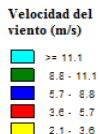
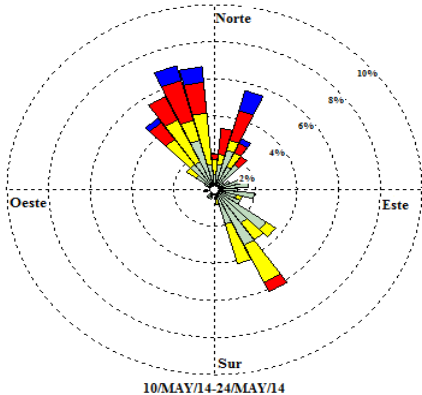
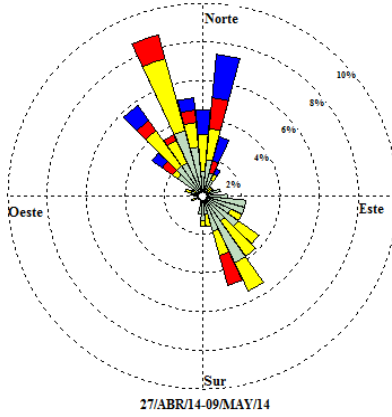
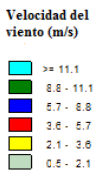
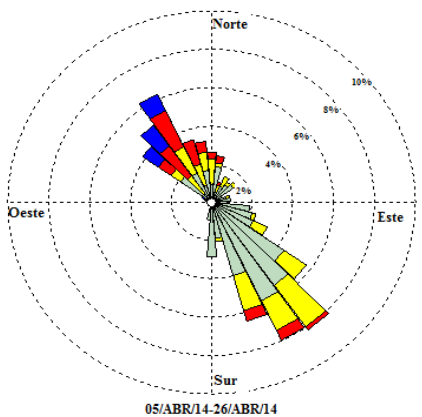
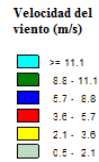
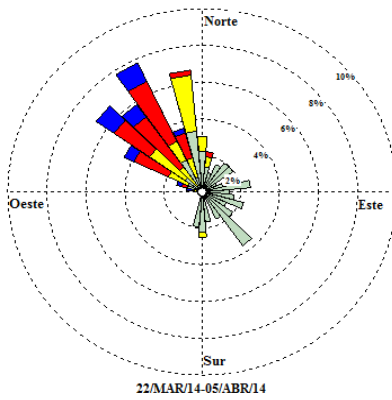
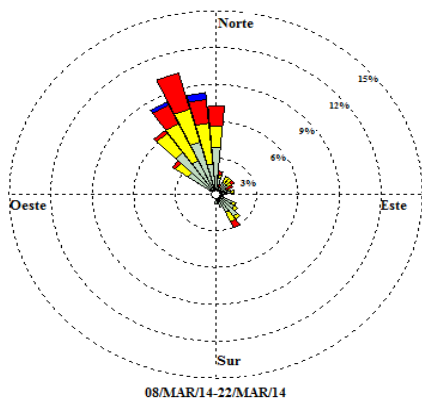
01/FEB/14-15/FEB/14



22/FEB/14-08/MAR/14



## Anexo 17 Rosa de los vientos (primavera-verano)







289.47000	138.64999	117.26348	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	138.64999	138.60878	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	138.64999	165.08676	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	138.64999	197.37195	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	138.64999	234.05161	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	138.64999	275.15009	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	138.64999	320.33060	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	138.64999	365.06882	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	138.64999	405.44867	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	138.64999	439.15747	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	138.64999	462.74069	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	138.64999	471.69904	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	138.64999	462.28775	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	138.64999	432.91776	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	138.64999	385.26529	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	138.64999	326.17819	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	138.64999	265.77051	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	138.64999	212.28151	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	138.64999	169.22383	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	138.64999	136.15077	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	172.78999	99.62312	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	172.78999	118.79420	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	172.78999	141.84251	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	172.78999	170.17189	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	172.78999	205.56093	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	172.78999	248.32462	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	172.78999	298.27148	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	172.78999	353.36218	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	172.78999	406.14865	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	172.78999	451.65210	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	172.78999	489.25421	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	172.78999	515.73291	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	172.78999	525.71967	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	172.78999	513.57471	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	172.78999	474.31531	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	172.78999	411.68054	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	172.78999	338.89197	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	172.78999	269.85132	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	172.78999	212.40909	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	172.78999	168.11183	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	172.78999	134.98575	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	206.92999	99.22884	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	206.92999	119.72409	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	206.92999	144.81432	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	206.92999	175.61002	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	206.92999	214.39876	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	206.92999	263.36789	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	206.92999	322.73044	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	206.92999	388.77213	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	206.92999	449.92358	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	206.92999	497.75867	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	206.92999	536.13318	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	206.92999	564.21039	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	206.92999	576.12061	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	206.92999	562.53967	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	206.92999	513.27429	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	206.92999	435.26682	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	206.92999	349.49414	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	206.92999	273.05768	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	206.92999	212.59944	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	206.92999	167.57260	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	206.92999	134.49919	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	241.06999	98.43256	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	241.06999	119.94370	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	241.06999	146.90779	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	241.06999	180.35254	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	241.06999	222.56749	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	241.06999	277.79144	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	241.06999	347.19043	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	241.06999	424.82712	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	241.06999	493.78415	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	241.06999	536.19019	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	241.06999	565.30463	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	241.06999	591.19727	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	241.06999	608.99817	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	241.06999	600.47778	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	241.06999	542.97693	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	241.06999	450.31525	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	241.06999	354.01181	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	241.06999	272.66956	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	241.06999	211.17355	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	241.06999	166.38203	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	241.06999	133.61655	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	275.20999	97.44157	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	275.20999	119.61710	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	275.20999	147.89828	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	275.20999	183.51611	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	275.20999	228.76418	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	275.20999	289.18161	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	275.20999	368.21161	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	275.20999	456.32306	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	275.20999	529.99579	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	275.20999	557.79822	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	275.20999	557.65271	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	275.20999	569.40375	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2

725.40002	275.20999	600.15369	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	275.20999	610.62085	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	275.20999	552.89117	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	275.20999	449.60062	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	275.20999	346.48099	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	275.20999	265.76321	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	275.20999	206.56819	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	275.20999	163.46613	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	275.20999	131.52676	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	309.35001	96.37617	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	309.35001	119.06645	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	309.35001	148.16559	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	309.35001	185.08058	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	309.35001	231.97571	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	309.35001	293.83444	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	309.35001	379.39749	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	309.35001	475.41891	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	309.35001	542.38770	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	309.35001	554.98804	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	309.35001	516.24908	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	309.35001	490.88251	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	309.35001	525.01379	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	309.35001	563.40479	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	309.35001	517.36322	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	309.35001	419.19235	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	309.35001	323.71951	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	309.35001	250.55414	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	309.35001	197.89001	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	309.35001	158.11191	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	309.35001	127.77007	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	343.48999	95.26962	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	343.48999	118.41084	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	343.48999	148.18576	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	343.48999	185.71805	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	343.48999	231.74355	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	343.48999	287.85706	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	343.48999	369.36694	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	343.48999	473.75568	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	343.48999	532.01416	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	343.48999	521.19879	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	343.48999	463.86862	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	343.48999	396.04462	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	343.48999	379.51181	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	343.48999	417.58856	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	343.48999	404.81281	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	343.48999	345.12610	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	343.48999	281.83411	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	343.48999	228.23199	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	343.48999	185.02469	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	343.48999	150.26627	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	343.48999	122.47366	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	377.63000	94.13533	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	377.63000	117.45043	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	377.63000	147.82881	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	377.63000	185.86816	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	377.63000	229.11774	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	377.63000	272.55518	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	377.63000	327.40884	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	377.63000	429.42435	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	377.63000	499.43445	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	377.63000	467.85147	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	377.63000	381.07892	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	377.63000	291.91498	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	377.63000	221.49168	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	377.63000	221.48311	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	377.63000	240.34875	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	377.63000	243.32233	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	377.63000	230.11584	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	377.63000	201.94521	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	377.63000	170.23540	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	377.63000	141.11179	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	377.63000	116.08963	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	411.76999	93.16577	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	411.76999	116.03993	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	411.76999	145.99405	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	411.76999	183.03593	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	411.76999	223.16759	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	411.76999	253.19267	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	411.76999	264.41556	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	411.76999	318.29053	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	411.76999	381.77173	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	411.76999	339.51364	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	411.76999	251.67989	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	411.76999	190.89600	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	411.76999	146.75826	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	411.76999	127.52029	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	411.76999	127.06275	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	411.76999	160.13516	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	411.76999	185.46527	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	411.76999	178.17416	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	411.76999	155.89319	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	411.76999	131.72595	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	411.76999	109.41322	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	445.91000	92.73364	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	445.91000	114.70641	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2

329.10001	445.91000	142.53152	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	445.91000	174.41954	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	445.91000	203.32068	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	445.91000	211.15390	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	445.91000	200.51350	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	445.91000	189.09369	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	445.91000	206.17236	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	445.91000	169.14020	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	445.91000	134.34804	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	445.91000	132.28781	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	445.91000	127.80972	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	445.91000	116.02409	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	445.91000	102.98772	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	445.91000	124.93086	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	445.91000	160.16835	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	445.91000	161.87689	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	445.91000	144.64745	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	445.91000	123.77222	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	445.91000	103.47527	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	480.04999	92.91835	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	480.04999	114.32674	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	480.04999	139.96095	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	480.04999	165.05782	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	480.04999	174.43556	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	480.04999	151.40327	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	480.04999	143.46419	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	480.04999	133.17836	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	480.04999	126.24171	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	480.04999	97.74146	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	480.04999	89.44102	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	480.04999	117.55802	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	480.04999	122.30045	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	480.04999	109.66727	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	480.04999	94.87049	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	480.04999	114.59722	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	480.04999	152.57123	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	480.04999	155.57890	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	480.04999	138.78053	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	480.04999	118.69114	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	480.04999	99.24743	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	514.19000	92.80631	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	514.19000	114.07229	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	514.19000	138.97424	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	514.19000	161.24803	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	514.19000	160.90665	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	514.19000	127.80232	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	514.19000	121.31673	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	514.19000	127.73701	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	514.19000	128.19911	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	514.19000	108.09587	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	514.19000	96.70565	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	514.19000	119.14448	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	514.19000	118.59701	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	514.19000	104.00869	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	514.19000	93.85027	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	514.19000	120.64082	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	514.19000	153.09056	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	514.19000	152.57646	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	514.19000	135.26758	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	514.19000	115.32384	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	514.19000	96.26883	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	548.33002	91.36038	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	548.33002	112.04954	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	548.33002	136.35196	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	548.33002	158.11124	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	548.33002	158.87178	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	548.33002	127.21048	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	548.33002	121.92855	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	548.33002	130.36636	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	548.33002	136.50146	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	548.33002	132.27361	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	548.33002	131.34163	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	548.33002	132.55077	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	548.33002	120.42472	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	548.33002	106.67747	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	548.33002	109.73338	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	548.33002	139.17546	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	548.33002	156.49486	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	548.33002	148.79968	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	548.33002	130.74925	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	548.33002	111.26850	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	548.33002	93.07549	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	582.46997	88.43843	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	582.46997	107.90411	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	582.46997	131.08412	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	582.46997	153.11246	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	582.46997	161.37933	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	582.46997	138.94318	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	582.46997	124.39055	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	582.46997	132.16536	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	582.46997	144.49873	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	582.46997	158.71323	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	582.46997	179.82942	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	582.46997	171.48100	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	582.46997	147.87032	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2

765.03003	582.46997	137.19283	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	582.46997	145.03711	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	582.46997	157.96358	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	582.46997	156.96445	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	582.46997	143.04613	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	582.46997	124.73803	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	582.46997	105.94578	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	582.46997	89.00573	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	616.60999	84.28702	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	616.60999	101.98704	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	616.60999	123.34499	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	616.60999	145.31192	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	616.60999	161.18451	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	616.60999	158.72827	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	616.60999	143.79298	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	616.60999	143.38950	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	616.60999	159.84305	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	616.60999	190.81859	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	616.60999	213.33365	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	616.60999	206.23726	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	616.60999	187.16362	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	616.60999	174.26170	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	616.60999	169.38942	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	616.60999	163.64392	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	616.60999	151.67203	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	616.60999	134.94818	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	616.60999	117.11578	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	616.60999	99.55745	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	616.60999	84.17245	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	650.75000	79.25469	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	650.75000	94.83985	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	650.75000	113.73283	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	650.75000	134.45438	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	650.75000	153.32491	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	650.75000	165.77309	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	650.75000	169.68013	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	650.75000	174.91342	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	650.75000	189.40916	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	650.75000	208.03563	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	650.75000	216.62343	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	650.75000	210.46074	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	650.75000	197.09596	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	650.75000	182.89056	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	650.75000	170.18773	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	650.75000	156.75114	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	650.75000	141.31064	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	650.75000	124.90552	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	650.75000	108.06821	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	650.75000	92.41125	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	650.75000	78.79476	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
249.84000	684.89001	73.71302	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
289.47000	684.89001	87.07636	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
329.10001	684.89001	103.14657	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
368.73001	684.89001	121.31885	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
408.35999	684.89001	139.65073	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
447.98999	684.89001	155.88580	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
487.62000	684.89001	169.05606	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
527.25000	684.89001	180.19374	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
566.88000	684.89001	190.87914	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
606.51001	684.89001	198.50456	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
646.14001	684.89001	199.67165	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
685.77002	684.89001	194.05989	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
725.40002	684.89001	183.34755	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
765.03003	684.89001	170.63983	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
804.66003	684.89001	157.23569	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
844.29004	684.89001	143.22173	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
883.92004	684.89001	128.57118	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
923.54999	684.89001	113.26588	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
963.17999	684.89001	98.40617	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1002.81000	684.89001	84.90401	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2
1042.44006	684.89001	73.13874	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000072	UCART2

\*\* CONCUNIT ug/m^3

\*\* DEFPUNIT g/m^2

\* AERMOD (07026): C:\Users\Carolina\Documents\Lakes\AERMOD View\TESIS8\TESIS8.isc  
 \* MODELING OPTIONS USED:

\* CONC

DEFAULT ELEV

PLOT FILE OF PERIOD VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL

FOR A TOTAL OF 441 RECEPTORS.

FORMAT: (3(1X,F13.5),3(1X,F8.2),2X,A6,2X,A8,2X,I8.8,2X,A8)

X	Y	AVERAGE CONC	ZELEV	ZHILL	ZFLAG	AVE	GRP	NUM HRS	NET ID
251.09000	0.07000	75.95862	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	0.07000	79.85105	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	0.07000	83.51056	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	0.07000	86.84482	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	0.07000	89.75651	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	0.07000	92.14231	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	0.07000	93.96475	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	0.07000	95.27012	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	0.07000	96.16129	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	0.07000	96.71073	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	0.07000	96.91005	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	0.07000	96.68152	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	0.07000	95.87770	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	0.07000	94.34524	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	0.07000	91.99081	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	0.07000	88.67862	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	0.07000	84.24677	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	0.07000	78.65370	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	0.07000	72.10186	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	0.07000	64.99978	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	0.07000	57.78934	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	34.33000	80.54546	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	34.33000	85.58386	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	34.33000	90.48610	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	34.33000	95.13395	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	34.33000	99.38565	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	34.33000	103.09576	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	34.33000	106.11158	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	34.33000	108.39101	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	34.33000	109.98291	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	34.33000	110.96259	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	34.33000	111.29547	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	34.33000	110.84128	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	34.33000	109.39182	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	34.33000	106.81145	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	34.33000	103.05440	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	34.33000	98.09871	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	34.33000	91.91403	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	34.33000	84.56774	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	34.33000	76.37878	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	34.33000	67.86900	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	34.33000	59.58789	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	68.59000	85.26794	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	68.59000	91.65571	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	68.59000	98.06016	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	68.59000	104.34625	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	68.59000	110.36149	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	68.59000	115.88419	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	68.59000	120.61811	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	68.59000	124.35789	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	68.59000	127.06155	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	68.59000	128.78375	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	68.59000	129.46353	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	68.59000	128.82114	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	68.59000	126.57751	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	68.59000	122.63371	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	68.59000	117.06542	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	68.59000	110.03146	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	68.59000	101.60535	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	68.59000	91.94949	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	68.59000	81.62939	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	68.59000	71.37932	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	68.59000	61.77174	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	102.85000	90.06174	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	102.85000	98.03646	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	102.85000	106.24241	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	102.85000	114.58047	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	102.85000	122.88895	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	102.85000	130.87065	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	102.85000	138.08116	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	102.85000	144.00699	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	102.85000	148.43993	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	102.85000	151.38768	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	102.85000	152.67358	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	102.85000	151.89833	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	102.85000	148.63306	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	102.85000	142.83443	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	102.85000	134.82655	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	102.85000	125.00367	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	102.85000	113.58177	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	102.85000	100.91918	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	102.85000	87.91595	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	102.85000	75.54523	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	102.85000	64.43678	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	137.11000	94.84489	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	137.11000	104.64488	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	137.11000	115.03082	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1

367.84998	137.11000	125.93767	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	137.11000	137.21291	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	137.11000	148.53033	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	137.11000	159.24382	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	137.11000	168.49185	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	137.11000	175.62617	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	137.11000	180.45171	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	137.11000	182.69643	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	137.11000	181.82346	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	137.11000	177.24825	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	137.11000	168.84901	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	137.11000	157.39221	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	137.11000	143.74713	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	137.11000	128.22511	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	137.11000	111.55117	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	137.11000	95.19320	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	137.11000	80.33405	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	137.11000	67.51326	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	171.37000	99.50229	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	171.37000	111.42689	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	171.37000	124.44508	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	171.37000	138.53955	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	171.37000	153.64146	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	171.37000	169.37935	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	171.37000	184.80360	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	171.37000	198.78314	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	171.37000	209.63770	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	171.37000	217.23247	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	171.37000	221.25209	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	171.37000	220.43808	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	171.37000	213.92958	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	171.37000	202.11366	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	171.37000	186.22765	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	171.37000	167.20123	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	171.37000	145.87965	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	171.37000	123.86146	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	171.37000	103.32516	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	171.37000	85.56982	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	171.37000	70.89452	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	205.62999	103.89153	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	205.62999	118.26221	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	205.62999	134.45242	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	205.62999	152.49127	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	205.62999	172.33699	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	205.62999	193.61751	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	205.62999	215.55005	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	205.62999	236.22026	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	205.62999	253.37590	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	205.62999	265.55789	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	205.62999	271.90781	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	205.62999	269.82248	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	205.62999	260.10004	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	205.62999	243.29181	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	205.62999	221.63150	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	205.62999	196.21646	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	205.62999	166.79149	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	205.62999	137.75061	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	205.62999	112.18170	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	205.62999	91.15139	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	205.62999	74.52000	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	239.88998	107.83897	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	239.88998	124.98354	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	239.88998	144.93170	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	239.88998	167.72227	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	239.88998	193.37956	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	239.88998	222.27876	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	239.88998	252.72891	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	239.88998	283.15662	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	239.88998	309.89627	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	239.88998	326.73956	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	239.88998	333.70816	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	239.88998	330.50232	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	239.88998	317.45419	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	239.88998	293.84595	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	239.88998	263.73477	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	239.88998	228.43542	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	239.88998	189.75256	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	239.88998	152.80907	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	239.88998	121.37525	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	239.88998	96.85603	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	239.88998	78.33684	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	274.14999	111.10804	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	274.14999	131.27524	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	274.14999	155.56554	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	274.14999	183.94897	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	274.14999	217.18535	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	274.14999	255.47989	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	274.14999	297.40106	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	274.14999	339.68793	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	274.14999	375.65732	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	274.14999	395.15869	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	274.14999	398.51276	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	274.14999	397.10284	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	274.14999	385.31720	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	274.14999	357.11890	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1

795.96997	274.14999	317.18787	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	274.14999	266.30710	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	274.14999	212.85844	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	274.14999	166.94402	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	274.14999	130.52303	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	274.14999	102.70489	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	274.14999	82.51665	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	308.40997	113.40639	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	308.40997	136.73732	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	308.40997	165.73500	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	308.40997	201.07513	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	308.40997	243.67271	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	308.40997	291.78265	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	308.40997	345.20193	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	308.40997	396.50571	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	308.40997	435.52982	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	308.40997	448.73135	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	308.40997	436.12952	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	308.40997	436.32370	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	308.40997	440.85535	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	308.40997	424.83615	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	308.40997	378.74652	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	308.40997	307.50314	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	308.40997	235.43886	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	308.40997	178.42514	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	308.40997	138.50287	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	308.40997	108.97584	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	308.40997	87.25217	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	342.66998	114.49394	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	342.66998	140.86098	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	342.66998	174.80702	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	342.66998	218.12930	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	342.66998	269.01746	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	342.66998	327.20355	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	342.66998	391.81900	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	342.66998	444.77826	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	342.66998	468.93896	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	342.66998	480.53311	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	342.66998	492.50720	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	342.66998	475.92712	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	342.66998	454.33942	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	342.66998	465.20547	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	342.66998	425.50336	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	342.66998	338.31537	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	342.66998	252.72322	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	342.66998	188.68425	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	342.66998	145.66225	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	342.66998	115.93798	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	342.66998	92.51482	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	376.92999	114.11932	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	376.92999	143.20100	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	376.92999	181.89474	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	376.92999	230.99146	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	376.92999	292.24045	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	376.92999	363.80508	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	376.92999	430.03094	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	376.92999	474.93689	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	376.92999	499.66095	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	376.92999	514.81549	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	376.92999	535.27832	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	376.92999	474.43439	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	376.92999	356.92621	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	376.92999	376.49918	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	376.92999	391.62738	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	376.92999	338.26480	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	376.92999	263.33188	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	376.92999	200.21408	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	376.92999	154.22916	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	376.92999	122.67514	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	376.92999	97.68363	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	411.18997	112.11690	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	411.18997	143.12973	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	411.18997	185.25845	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	411.18997	239.42918	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	411.18997	313.24451	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	411.18997	394.43332	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	411.18997	441.48160	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	411.18997	464.58862	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	411.18997	525.12952	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	411.18997	547.09796	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	411.18997	514.31287	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	411.18997	347.16656	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	411.18997	180.18886	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	411.18997	168.82573	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	411.18997	244.23047	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	411.18997	310.29794	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	411.18997	275.20248	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	411.18997	213.63100	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	411.18997	163.10806	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	411.18997	128.08722	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	411.18997	101.61837	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	445.44998	108.43406	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	445.44998	140.46132	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	445.44998	183.40636	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	445.44998	242.54681	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1

406.76999	445.44998	324.19458	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	445.44998	398.20309	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	445.44998	367.17319	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	445.44998	285.51501	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	445.44998	372.18811	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	445.44998	477.32944	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	445.44998	430.87460	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	445.44998	228.44252	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	445.44998	173.88138	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	445.44998	142.17332	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	445.44998	142.75078	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	445.44998	282.01123	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	445.44998	283.19669	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	445.44998	221.69681	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	445.44998	167.84727	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	445.44998	130.62341	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	445.44998	103.45254	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	479.70999	103.39760	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	479.70999	134.88231	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	479.70999	176.18449	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	479.70999	235.79504	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	479.70999	313.76096	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	479.70999	339.10825	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	479.70999	240.79921	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	479.70999	203.75410	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	479.70999	240.84439	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	479.70999	319.79657	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	479.70999	402.38309	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	479.70999	240.14552	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	479.70999	184.81047	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	479.70999	140.42366	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	479.70999	124.57380	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	479.70999	271.09073	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	479.70999	283.49139	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	479.70999	221.70325	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	479.70999	167.31604	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	479.70999	129.99396	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	479.70999	102.98614	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	513.96997	97.66087	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	513.96997	127.23250	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	513.96997	164.95441	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	513.96997	220.08540	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	513.96997	285.63971	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	513.96997	252.44563	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	513.96997	170.46661	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	513.96997	189.02864	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	513.96997	235.15143	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	513.96997	305.81131	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	513.96997	417.95483	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	513.96997	273.86569	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	513.96997	179.13937	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	513.96997	135.03741	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	513.96997	168.23438	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	513.96997	289.39688	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	513.96997	275.62003	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	513.96997	214.17690	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	513.96997	162.32228	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	513.96997	126.75517	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	513.96997	100.54095	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	548.22998	92.25423	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	548.22998	119.58076	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	548.22998	154.30962	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	548.22998	204.28885	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	548.22998	264.72052	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	548.22998	242.26622	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	548.22998	156.41313	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	548.22998	176.85718	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	548.22998	221.90656	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	548.22998	289.18573	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	548.22998	444.46896	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	548.22998	381.05194	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	548.22998	247.09154	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	548.22998	215.79660	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	548.22998	275.71301	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	548.22998	301.29034	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	548.22998	256.37192	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	548.22998	198.88242	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	548.22998	153.07144	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	548.22998	121.25404	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	548.22998	96.48360	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	582.48999	87.21423	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	582.48999	112.17435	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	582.48999	144.53384	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	582.48999	188.62869	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	582.48999	245.83887	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	582.48999	270.88239	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	582.48999	178.41609	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	582.48999	169.98021	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	582.48999	207.19983	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	582.48999	313.19504	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	582.48999	440.69153	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	582.48999	423.71722	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	582.48999	365.14413	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	582.48999	332.91803	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	582.48999	316.40149	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1

834.88995	582.48999	279.57834	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	582.48999	227.42825	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	582.48999	178.56009	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	582.48999	140.90457	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	582.48999	113.78627	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	582.48999	90.96182	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	616.75000	81.76369	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	616.75000	103.70471	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	616.75000	132.66090	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	616.75000	168.81116	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	616.75000	217.44016	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	616.75000	264.67056	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	616.75000	275.11798	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	616.75000	255.38255	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	616.75000	289.32217	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	616.75000	361.36987	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	616.75000	387.34674	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	616.75000	373.50818	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	616.75000	346.61401	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	616.75000	318.04044	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	616.75000	281.37067	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	616.75000	238.44083	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	616.75000	194.98647	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	616.75000	157.08075	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	616.75000	127.82047	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	616.75000	104.14242	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	616.75000	84.43970	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	651.00995	75.61656	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	651.00995	94.12221	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	651.00995	119.05478	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	651.00995	147.94617	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	651.00995	184.46870	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	651.00995	226.34245	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	651.00995	263.58832	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	651.00995	289.02036	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	651.00995	306.95862	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	651.00995	317.12778	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	651.00995	313.70798	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	651.00995	300.71872	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	651.00995	283.82602	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	651.00995	260.48282	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	651.00995	229.79842	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	651.00995	196.63367	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	651.00995	164.69893	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	651.00995	137.18103	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	651.00995	114.47240	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	651.00995	93.90807	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	651.00995	77.47546	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
251.09000	685.26996	69.11137	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
290.01001	685.26996	84.26000	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
328.92999	685.26996	103.93983	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
367.84998	685.26996	127.98161	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
406.76999	685.26996	154.10527	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
445.69000	685.26996	183.82898	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
484.60999	685.26996	213.41733	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
523.52997	685.26996	236.69519	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
562.44995	685.26996	250.18613	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
601.37000	685.26996	252.37617	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
640.28998	685.26996	247.07903	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
679.20996	685.26996	238.56163	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
718.13000	685.26996	225.93105	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
757.04999	685.26996	206.88400	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
795.96997	685.26996	184.95564	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
834.88995	685.26996	161.77966	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
873.80994	685.26996	139.65373	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
912.72998	685.26996	119.54986	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
951.64996	685.26996	100.34561	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
990.56995	685.26996	83.92542	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1
1029.48999	685.26996	70.48421	0.00	0.00	0.00	PERIOD	ALL	00000096	UCART1

\*\* CONCUNIT ug/m^3

\*\* DEPUNIT g/m^2