

**ANÁLISIS  
DE DATOS DE CONCENTRACIONES  
DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>) Y DE  
COMPUESTOS DE AZUFRE TOTALMENTE  
REDUCIDO (TRS) EN AIRE MEDIDOS EN  
EL ESTE DEL DEPARTAMENTO  
GUALEGUAYCHÚ DE LA PROVINCIA DE  
ENTRE RÍOS**

**PERÍODO:** 1 de noviembre de 2008 – 31 de  
enero de 2009

Dr. Nicolás A. Mazzeo

## 1. Introducción

Entre el 1 de noviembre de 2008 a las 00:00hs y el 6 de diciembre de 2008 a las 14:00hs, el sensor muestreador-analizador (marca Thermo, modelo 450i) efectuó mediciones de concentraciones horarias de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), de azufre totalmente reducido (TRS) (expresado como  $\text{SH}_2$ ) y de azufre combinado (CS) en aire a nivel del suelo en la zona de Arroyo Verde (Provincia de Entre Ríos). Posteriormente, por razones de seguridad el sensor-muestreador fue trasladado a un área localizada al noroeste de la anterior. En esa posición el período de funcionamiento del mismo comprendió entre el 15 de diciembre de 2008 a las 19:00hs y el 31 de enero de 2009 a las 23:00hs.

Simultáneamente, se efectuaron mediciones de velocidad y dirección del viento.

En este Informe se analizan los datos de velocidad y dirección del viento y de concentraciones de dióxido de azufre y de azufre totalmente reducido (expresado como sulfuro de hidrógeno), en aire a nivel del suelo determinados en los lugares de medición durante el período mencionado.

En algunas oportunidades, por diferentes motivos, principalmente por cortes en el suministro de energía eléctrica y para calibración de los instrumentos, los sensores no estuvieron en operación. Los datos obtenidos mediante las mediciones fueron consistidos y depurados utilizando algunos procedimientos habituales (CEPIS, 1984), entre ellos el doble del desvío estándar del logaritmo de las concentraciones horarias. Por otra parte, durante la primera parte del período de mediciones los valores de las concentraciones de dióxido de azufre fueron estimados a partir de los datos de las concentraciones de TRS (expresados como  $\text{SH}_2$ ) y de azufre combinado (CS).

## 2. Análisis de los datos del período comprendido entre el 1 de noviembre de 2008 a las 00:00hs y el 6 de diciembre de 2008 a las 14:00hs

### 2.1. Análisis de los datos de variables meteorológicas

#### a) Dirección del viento

El número de datos de dirección del viento correspondiente al período de mediciones es 841. Por lo tanto, hay 14 horas del período que no tienen datos de dirección del viento.

En la Tabla I se presentan los valores de las frecuencias relativas porcentuales de dirección del viento.

En la Figura 1 se presenta la distribución de frecuencias de direcciones de viento. Se observa que las direcciones de viento más frecuentes son Este-noreste (26.41%), Noreste (19.02%) y Nor-noreste (13.08%) y las menos frecuentes corresponden al Suroeste (1.20%) y al Oeste-sudoeste (1.20%). No se presentan casos con calmas.

La dirección del viento que transportaría los contaminantes emitidos desde Botnia hacia el área de medición es  $155^\circ$  (sector SSE), respecto del norte. La frecuencia de ocurrencia de vientos de dirección del sector SSE es 4.76%. Las direcciones fueron consideradas según sectores de  $22.5^\circ$ . Suponiendo una distribución de direcciones equi-espaciadas en cada sector y que los contaminantes son transportados hacia la zona si la dirección del viento abarca un ángulo de  $5^\circ$ , la frecuencia correspondiente se ajustará a 1.06%.

#### b) Velocidad del viento

El número de datos de velocidad del viento correspondiente al período de mediciones es 841. Por lo tanto, hay 14 horas del período que no tienen datos de velocidad del viento.

En la Tabla II se incluyen los valores de las velocidades medias del viento para cada dirección.

En la Figura 2 se presenta la distribución de la velocidad media del viento para cada dirección.

Se puede observar que las velocidades medias más altas del viento corresponden al Sur con 5.18m/s y al Sur-suroeste con 4.44m/s y las menores al Oeste y Oeste-noroeste con 0.59m/s.

La velocidad máxima horaria en el período fue 9.94m/s.

La velocidad media correspondiente a la dirección SSE fue 4.25m/s.

En la Tabla III se incluyen los valores de las frecuencias relativas porcentuales acumuladas de diferentes intervalos de la velocidad horaria del viento.

En la Figura 3 se encuentran representadas las frecuencias porcentuales acumuladas de velocidades del viento correspondientes al período analizado. Se

puede observar que durante el 81.45% de las horas la velocidad del viento fue inferior a 4.0m/s.

En la Tabla IV se incluyen los valores medios horarios de la velocidad del viento para el período considerado.

En la Figura 4 se presenta la variación horaria de la velocidad media del viento durante el período analizado. Se observa que la mayor velocidad media horaria del viento corresponde a las 12:00hs con 3.4m/s y la menor a las 01:00hs y 04:00hs con 1.7m/s.

Los sensores de temperatura y humedad relativa del aire funcionaron en forma discontinua durante el período.

2.1 Análisis de los datos de concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y de compuestos de azufre totalmente reducido (TRS) expresados como SH<sub>2</sub> en aire medidos en la zona de Arroyo Verde (Provincia de Entre Ríos)

a) Concentraciones de dióxido de azufre en aire

Luego del proceso de consistencia y de depuración de los datos quedaron 821 valores horarios de concentración de SO<sub>2</sub> en aire. No se consideró la concentración de dióxido de azufre en aire durante 35 horas.

En las Figura 5 se encuentra graficada la variación temporal de la concentración horaria de dióxido de azufre en aire correspondiente al período considerado.

En la siguiente Tabla se incluyen los valores de diferentes parámetros estadísticos de la serie de valores de la concentración horaria de dióxido de azufre en aire:

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 1 hora)

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	821
Promedio	0.16 ppb
Valor máximo	0.50 ppb
Valor mínimo	0.0 ppb
Desvío estándar	0.079 ppb
Mediana	0.100 ppb
Coficiente de asimetría	0.51782
Coficiente de sesgo	0.623559

En la Figura 6 se presenta la distribución de frecuencias correspondientes a diferentes intervalos de valores de concentración horaria de SO<sub>2</sub> en aire para los datos incluidos en este Estudio.

Esas frecuencias se adaptan a una distribución log-normal con los siguientes valores característicos:

a) media geométrica ( $\mu_g$ ): 0.151ppb

b) desviación estándar geométrica ( $S_g$ ): 1.514

En la Figura 7 se presenta el gráfico de la distribución de frecuencias acumuladas observadas ajustadas a una representación log-normal, de los valores horarios de la concentración de SO<sub>2</sub> en aire para los datos correspondientes al período considerado.

Con el objeto de vincular la concentración horaria de SO<sub>2</sub> en aire con la dirección del viento correspondiente, se elaboraron las rosas de contaminación media y máxima (ver Figuras 8 y 9) para el período considerado. El mayor valor de la concentración media de dióxido de azufre en aire corresponde a la dirección NNW con 0.19ppb y el menor valor a la dirección SSE con 0.13ppb. Para la dirección del viento que posibilitan el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor medio de la concentración de SO<sub>2</sub> en aire es 0.13ppb.

Por otra parte, el mayor valor de la concentración máxima de dióxido de azufre corresponde a la dirección NE con 0.5ppb y el menor a la dirección WSW con 0.2ppb. Para la dirección del viento que posibilita el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor máximo de la concentración de SO<sub>2</sub> es 0.3ppb.

En la Tabla siguiente se presentan los estándares correspondientes a la Provincia de Entre Ríos, la ciudad de Buenos Aires, la Provincia de Buenos Aires y EE.UU. y niveles guía de calidad de aire para el dióxido de azufre establecidos por la Unión Europea y la Organización Mundial de la Salud (sólo se incluyen los valores cuyos tiempos de promedio posibilitan su comparación con los datos medidos o calculados a partir de las mediciones).

<b>Distrito u Organización</b>	<b>Tiempo de promedio</b>	<b>Valor (ppb)</b>
Provincia de Entre Ríos. Argentina. (Decreto 5837/91 reglamentario de la Ley 6260).	24 horas	50
Ciudad de Buenos Aires. Argentina. (Decreto 198/06 reglamentario de la Ley 1356).	3 horas	500
	24 horas	140
Provincia de Buenos Aires. Argentina. (Decreto 3395/96 reglamentario de la Ley 5965).	3 horas	500
	24 horas	140
EE.UU.	3 horas	500
	24 horas	140
Unión Europea	24 horas	48
Organización Mundial de la Salud	24 horas	8

Utilizando los valores horarios de la concentración de SO<sub>2</sub> medida en aire se calcularon los valores medios (tiempo de promedio: 3 horas y tiempo de promedio: 24 horas).

En la Figura 10 se presenta la distribución de frecuencias de las concentraciones medias (tiempo de promedio: 3 horas) de SO<sub>2</sub> en aire correspondiente al período considerado.

En la Tabla siguiente se incluyen los valores de los parámetros estadísticos correspondientes.

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 3 horas)

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	274
Promedio	0.156 ppb
Valor máximo	0.333 ppb
Valor mínimo	0.033 ppb
Desvío estándar	0.049 ppb
Mediana	0.167 ppb
Coficiente de asimetría	0.52931
Coficiente de sesgo	0.33381

El valor máximo (0.333ppb) de la concentración (período de promedio: 3 horas) obtenida para el período considerado, representa el 0.07 % de las normas de calidad del aire correspondientes a la ciudad de Buenos Aires (Argentina), la Provincia de Buenos Aires (Argentina) y EE.UU.

En la Figura 11 se presentan las distribuciones de frecuencias de las concentraciones medias (tiempo de promedio: 24 horas) de SO<sub>2</sub> en aire.

En la Tabla siguiente se incluyen los valores de los parámetros estadísticos correspondientes.

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 24 horas)

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	35
Promedio	0.155 ppb
Valor máximo	0.217 ppb
Valor mínimo	0.096 ppb
Desvío estándar	0.079 ppb
Mediana	0.154 ppb
Coefficiente de asimetría	-0.23791
Coefficiente de sesgo	-0.40966

La comparación con el nivel guía de calidad de aire para el dióxido de azufre más restrictivo (Organización Mundial de la Salud) para el tiempo de promedio de 24 horas, permite encontrar que el máximo valor (0.217ppb) determinado para el período considerado es el 2.7 % del valor de dicho nivel guía.

b) Análisis de las concentraciones de azufre total reducido (expresado como sulfuro de hidrógeno)

i) Calidad de aire

Luego del proceso de consistencia y de depuración de los datos quedaron 827 valores horarios de concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire.

En las Figura 6, también, se encuentra graficada la variación temporal de la concentración horaria (ppb) de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire correspondiente al período considerado. Asimismo, en esta Figura se presenta el gráfico de las variaciones temporales de la concentración en aire del azufre combinado (CS).

En la siguiente Tabla se incluyen los valores de diferentes parámetros estadísticos de la serie de 827 valores medidos de la concentración horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire:

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	827
Promedio	1.13 ppb
Valor máximo	2.10 ppb
Valor mínimo	0.40 ppb
Desvío estándar	0.30 ppb
Mediana	1.10 ppb
Coefficiente de asimetría	0.595044
Coefficiente de sesgo	0.331407

En la Figura 12 se presenta la distribución de frecuencias por diferentes intervalos de valores de concentración horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire para los datos incluidos en este Estudio.

Esas frecuencias se adaptan a una distribución log-normal con los siguientes valores característicos:

- a) media geométrica ( $\mu_g$ ): 1.086ppb
- b) desviación estándar geométrica ( $S_g$ ): 1.308.

En la Figura 13 se presenta el gráfico de la distribución de frecuencias acumuladas observadas ajustadas a una representación log-normal, de los valores horarios de la concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire para los datos correspondientes al período considerado.

Con el objeto de vincular la concentración horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire con la dirección del viento correspondiente, se elaboraron las rosas de contaminación media y máxima (ver Figuras 14 y 15) para el período considerado. El mayor valor de la concentración media de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire corresponde a la dirección WNW con 1.34ppb y el menor valor a la dirección ESE con 0.96ppb. Para la dirección del viento que posibilita el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor medio de la concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire es 0.99ppb. Por otra parte, el mayor valor de la concentración máxima de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) corresponde a las direcciones SSE y S con 2.1ppb y el menor a la dirección SW con 1.5ppb. Para la dirección del viento que posibilita el transporte de contaminantes

emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor máximo de la concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire es 2.1ppb.

Las emisiones de TRS originadas por la planta de pasta de celulosa Botnia están integradas por sus componentes (sulfuro de hidrógeno, mercaptano de metilo, disulfuro de metilo y disulfuro de dimetilo), según información de mediciones realizadas en otras Plantas de pulpa de celulosa. La distribución de cada uno de los componentes de TRS para la caldera de recuperación y el horno de cal se encuentra en la Tabla siguiente:

Contaminante	Porcentaje de emisiones de TRS	
	Caldera de recuperación	Horno de cal
Sulfuro de Hidrógeno (SH <sub>2</sub> )	34%	96%
Mercaptano de metilo (CH <sub>4</sub> S)	40%	1%
Sulfuro de dimetilo (DMS)	16%	1%
Disulfuro de dimetilo (DMDS)	10%	1%

Como se presenta en la Tabla anterior, las emisiones de TRS provenientes de una planta de pulpa de celulosa no sólo están constituidas por SH<sub>2</sub>. Sin embargo, no es posible discernir la composición de los distintos componentes de TRS medidos como concentración en aire a nivel del suelo. Debido a ello, se considerará como condición de máxima que todo el TRS estuvo compuesta totalmente por SH<sub>2</sub>.

La Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000) recomienda el siguiente nivel guía de calidad de aire para el sulfuro de hidrógeno:

Contaminante	Concentración	Tiempo de promedio
Sulfuro de hidrógeno	0.15mg/m <sup>3</sup> -108ppb	24hs.

Para poder comparar con este nivel guía de calidad de aire se calcularon los valores de la concentración media (período de promedio: 24 horas) de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire a nivel del suelo. A continuación se presenta la Tabla conteniendo parámetros estadísticos de esos valores:

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 24 horas)

Parámetro	
Número de datos	35
Promedio	1.118 ppb
Valor máximo	1.438 ppb
Valor mínimo	0.688 ppb
Desvío estándar	0.171 ppb
Mediana	1.100 ppb
Coefficiente de asimetría	-0.16394
Coefficiente de sesgo	-0.27911

En la Figura 16 se presenta la distribución de frecuencias de los valores de concentración diaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire para los datos incluidos en este Estudio.

Suponiendo, como condición ambiental y potencialmente comprometida, que los TRS están constituidos sólo por SH<sub>2</sub> se encuentra que los valores medidos son inferiores al nivel guía de calidad de aire recomendado por la World Health Organization (2000).

## ii) Percepción de olor

La Organización Mundial de la Salud estableció para el sulfuro de hidrógeno umbrales de detección, reconocimiento y valor guía de olor basados en datos proporcionados por paneles de expertos y estudios experimentales (World Health Organization, 2000), que se presentan en la siguiente Tabla:

Contaminante	Umbral de detección (mg/m <sup>3</sup> )	Umbral de reconocimiento (mg/m <sup>3</sup> )	Valor guía (mg/m <sup>3</sup> )
Sulfuro de hidrógeno	0.0002-0.002	0.0006-0.006	0.007 (período de promedio: 30min.)

Suponiendo que los TRS están constituidos sólo por sulfuro de hidrógeno, los valores medios (período de promedio: 30 minutos) de las concentraciones de TRS (expresados como SH<sub>2</sub>) en aire no superan el valor guía recomendado para el olor por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000).

2.3. Análisis estadístico de las diferencias de las concentraciones medias de dióxido de azufre y azufre totalmente reducido (expresado como sulfuro de hidrógeno) en aire a nivel del suelo correspondientes a diferentes direcciones de viento

a) Concentración de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo

Se efectúa la comparación entre los valores de las concentraciones horarias de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo correspondientes a la dirección del viento SSE con los valores horarios medidos para las otras direcciones de viento.

Esta comparación se realiza con el objeto de determinar si las dos muestras (la correspondiente a la dirección SSE y la de las otras direcciones de viento) corresponden o no a una misma población. Se aplicó la prueba de la distribución “t” de “Student” para comprobar si la diferencia de las medias de ambas muestras es significativa a los niveles de 0.01 (1%) y 0.05 (5%). En caso contrario procederían de una misma población.

Los valores calculados de los parámetros necesarios para aplicar el “t” de “Student” fueron los siguientes:

	Dirección SSE	Todas las otras direcciones	t	Grados de libertad	t <sub>.995</sub>	t <sub>.975</sub>
Nº de datos	40	772	-2.5672	810	2.58	1.96
Valor medio	0.125	0.158				
Desvío estándar	0.083972	0.078118				

a) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.01 (1%), se rechazará la hipótesis de que no existe diferencia esencial entre las dos muestras si t se encuentra fuera del rango  $-t_{0.995}$  a  $t_{0.995}$ , que para N = 810 grados de libertad es el intervalo  $-2.58$  a  $2.58$ .

Como el valor de t calculado se encuentra que en este intervalo, no se puede rechazar la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los valores medios de la concentración horaria de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo de los dos grupos considerados.

b) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.05 (5%), se rechazará la hipótesis de que no hay diferencia esencial entre las dos muestras si t se encuentra fuera del rango  $-t_{0.975}$  a  $t_{0.975}$ , que para N = 810 grados de libertad es el rango  $-1.96$  a  $1.96$ .

Como el valor de t calculado se encuentra que fuera de este intervalo, para el nivel de significación del 0.05 (5%), se rechaza la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los valores medios de la concentración correspondiente a los dos grupos considerados.

b) Concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire a nivel del suelo

Los valores medios (ppb) y los desvíos estándares (ppb) de las concentraciones horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire a nivel del suelo conjuntamente con los grados de libertad, los valores calculados del t de Student y los valores del t de Student correspondientes a los niveles de significación del 0.01(1%) y 0.05 (5%), para la dirección del viento SSE y para las otras direcciones de viento en general.

Los valores calculados de los parámetros necesarios para aplicar el “t” de “Student” fueron los siguientes:

	Dirección SSE	Todas las otras direcciones	t	Grados de libertad	t <sub>.995</sub>	t <sub>.975</sub>
Nº de datos	40	778	-2.9201	816	2.58	1.96
Valor medio	0.99	1.131362				
Desvío estándar	0.313622	0.297814				

a) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.01 (1%), se rechazará la hipótesis de que no existe diferencia esencial entre las dos muestras si t se encuentra fuera del rango  $-t_{0.995}$  a  $t_{0.995}$ , que para N = 816 grados de libertad es el intervalo  $-2.58$  a  $2.58$ .

Como el valor de t calculado se encuentra fuera de este intervalo, se rechaza la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los dos grupos considerados.

b) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.05 (5%), se rechazará la hipótesis de que no hay diferencia esencial entre las dos muestras si t se encuentra fuera del rango  $-t_{0.975}$  a  $t_{0.975}$ , que para N = 816 grados de libertad es el rango  $-1.96$  a  $1.96$ .

Como el valor de t calculado se encuentra fuera de este intervalo, se rechaza la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los dos grupos considerados.

Por lo tanto, se encuentra que existe diferencia significativa entre los valores medios de las concentraciones horarias de TRS (expresado como  $\text{SH}_2$ ) en aire a nivel del suelo cuando el viento proviene del sector SSE o cuando proviene de las direcciones restantes.

### **3. Análisis de los datos del período comprendido entre el 15 de diciembre de 2008 a las 19:00hs y el 31 de enero de 2009 a las 23:00hs.**

La información meteorológica y de calidad de aire correspondiente al período 28-31 de enero de 2009 no fue considerada en este Informe debido a mal funcionamiento de los sensores.

#### **3.1. Análisis de los datos de variables meteorológicas**

##### **a) Dirección del viento**

El número de datos de dirección del viento correspondiente al período utilizado en este Informe es 1007. Por lo tanto, hubieron 126 horas del período cuyos datos de dirección del viento no fueron considerados.

En la Tabla V se presentan los valores de las frecuencias relativas porcentuales de dirección del viento.

En la Figura 17 se presenta la distribución de frecuencias de direcciones de viento. Se observa que las direcciones de viento más frecuentes son Este (18.77%) y Sudeste (14.40%) y las menos frecuentes corresponden al Sudoeste y Oeste-sudoeste (1.00%). No se presentan casos con calmas.

La dirección del viento que transportaría los contaminantes emitidos desde Botnia hacia el área de medición es  $145^\circ$  (sector SE), respecto del norte. La frecuencia de ocurrencia de vientos de dirección del sector SE es 14.40%. Las direcciones fueron consideradas según sectores de  $22.5^\circ$ . Suponiendo una distribución de direcciones equi-espaciadas en cada sector y que los contaminantes son transportados hacia la zona si la dirección del viento abarca un ángulo de  $5^\circ$ , la frecuencia correspondiente se ajustará a 3.20%.

##### **b) Velocidad del viento**

El número de datos de velocidad del viento utilizado en este informe es 1032. Por lo tanto, hubieron 101 horas del período que no tienen datos de velocidad del viento.

En la Tabla VI se incluyen los valores de las velocidades medias del viento para cada dirección.

En la Figura 18 se presenta la distribución de la velocidad media del viento para cada dirección.

Se puede observar que las velocidades medias más altas del viento corresponden al NNW con 4.02m/s y al SE con 3.35m/s y las menores, al ENE con 1.30m/s y al WSW con 1.73m/s.

La velocidad máxima horaria en el período fue 12.6m/s.

Por lo tanto, la velocidad media correspondiente a la dirección SE fue 3.35m/s.

En la Tabla VII se incluyen los valores de las frecuencias relativas porcentuales acumuladas de diferentes intervalos de la velocidad horaria del viento.

En la Figura 19 se encuentran representadas las frecuencias porcentuales acumuladas de velocidades del viento correspondientes al período analizado. Se puede observar que durante el 85.37% de las horas la velocidad del viento fue inferior a 4.0m/s.

En la Tabla VIII se incluyen los valores medios horarios de la velocidad del viento para el período considerado.

En la Figura 20 se presenta la variación horaria de la velocidad media del viento durante el período analizado. Se observa que la mayor velocidad media horaria del viento corresponde a las 07:00hs con 3.56m/s y la menor a las 19:00hs con 1.65m/s.

Los sensores de temperatura y humedad relativa del aire funcionaron en forma discontinua durante el período.

3.1.2. Análisis de los datos de concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y de compuestos de azufre totalmente reducido (TRS) expresados como SH<sub>2</sub> en aire medidos en la zona.

c) Concentraciones de dióxido de azufre en aire

Luego del proceso de consistencia y de depuración de los datos quedaron 1032 valores horarios de concentración de SO<sub>2</sub> en aire.

En las Figura 21 se encuentra graficada la variación temporal de la concentración horaria de dióxido de azufre en aire correspondiente al período considerado.

En la siguiente Tabla se incluyen los valores de diferentes parámetros estadísticos de la serie de valores de la concentración horaria de dióxido de azufre en aire:

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 1 hora)

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	1032
Promedio	0.1204 ppb
Valor máximo	0.5 ppb
Valor mínimo	0.0 ppb
Desvío estándar	0.070 ppb
Mediana	0.100 ppb
Coefficiente de asimetría	0.508694
Coefficiente de sesgo	1.405232

En la Figura 22 se presenta la distribución de frecuencias correspondientes a diferentes intervalos de valores de concentración horaria de SO<sub>2</sub> en aire para los datos incluidos en este Estudio.

Esas frecuencias se adaptan a una distribución log-normal con los siguientes valores característicos:

- a) media geométrica ( $\mu_g$ ): 0.128ppb
- b) desviación estándar geométrica ( $S_g$ ): 1.430

En la Figura 23 se presenta el gráfico de la distribución de frecuencias acumuladas observadas ajustadas a una representación log-normal, de los valores horarios de la concentración de SO<sub>2</sub> en aire para los datos correspondientes al período considerado.

Con el objeto de vincular la concentración horaria de SO<sub>2</sub> en aire con la dirección del viento correspondiente, se elaboraron las rosas de contaminación media y máxima (ver Figuras 24 y 25) para el período considerado. El mayor valor de la concentración media de dióxido de azufre en aire corresponde a la dirección S con 0.153ppb y el menor valor a la dirección W con 0.054ppb. Para la dirección del viento que posibilitan el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor medio de la concentración de SO<sub>2</sub> en aire es 0.127ppb.

Por otra parte, el mayor valor de la concentración máxima de dióxido de azufre corresponde a las direcciones S y SE con 0.5ppb y el menor a la dirección SW con

0.1ppb. Para la dirección del viento que posibilitan el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor máximo de la concentración de SO<sub>2</sub> es 0.5ppb.

En la Tabla siguiente se presentan los estándares correspondientes a la Provincia de Entre Ríos, la ciudad de Buenos Aires, la Provincia de Buenos Aires y EE.UU. y niveles guía de calidad de aire para el dióxido de azufre establecidos por la Unión Europea y la Organización Mundial de la Salud (sólo se incluyen los valores cuyos tiempos de promedio posibilitan su comparación con los datos medidos o calculados a partir de las mediciones).

<b>Distrito u Organización</b>	<b>Tiempo de promedio</b>	<b>Valor (ppb)</b>
Provincia de Entre Ríos. Argentina. (Decreto 5837/91 reglamentario de la Ley 6260).	24 horas	19
Ciudad de Buenos Aires. Argentina. (Decreto 198/06 reglamentario de la Ley 1356).	3 horas	500
	24 horas	140
Provincia de Buenos Aires. Argentina. (Decreto 3395/96 reglamentario de la Ley 5965).	3 horas	500
	24 horas	140
EE.UU.	3 horas	500
	24 horas	140
Unión Europea	24 horas	48
Organización Mundial de la Salud	24 horas	8

Utilizando los valores horarios de la concentración de SO<sub>2</sub> medida en aire se calcularon los valores medios (tiempo de promedio: 3 horas y tiempo de promedio: 24 horas).

En la Figura 26 se presenta la distribución de frecuencias de las concentraciones medias (tiempo de promedio: 3 horas) de SO<sub>2</sub> en aire correspondiente al período considerado.

En la Tabla siguiente se incluyen los valores de los parámetros estadísticos correspondientes.

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 3 horas)

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	344
Promedio	0.120 ppb
Valor máximo	0.300 ppb
Valor mínimo	0.033 ppb
Desvío estándar	0.044 ppb
Mediana	0.133 ppb
Coefficiente de asimetría	0.49762
Coefficiente de sesgo	0.98539

El valor máximo (0.300ppb) de la concentración (período de promedio: 3 horas) representa el 0.06 % de la norma de calidad del aire correspondiente a la ciudad de Buenos Aires (Argentina), la Provincia de Buenos Aires (Argentina) y EE.UU. obtenido para el período considerado.

En la Figura 27 se presentan las distribuciones de frecuencias de las concentraciones medias (tiempo de promedio: 24 horas) de SO<sub>2</sub> en aire.

En la Tabla siguiente se incluyen los valores de los parámetros estadísticos correspondientes.

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 24 horas)

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	43
Promedio	0.120 ppb
Valor máximo	0.171 ppb
Valor mínimo	0.075 ppb
Desvío estándar	0.021 ppb
Mediana	0.117 ppb
Coefficiente de asimetría	0.01048
Coefficiente de sesgo	-0.21795

La comparación con el nivel guía de calidad de aire para el dióxido de azufre más restrictivo (Organización Mundial de la Salud) para el tiempo de promedio de 24 horas, permite encontrar que el máximo valor (0.171ppb) determinado para el período considerado es el 2.1 % del valor de dicho nivel guía.

d) Análisis de las concentraciones de azufre total reducido (expresado como sulfuro de hidrógeno)

i) Calidad de aire

Luego del proceso de consistencia y de depuración de los datos quedaron 1032 valores horarios de concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire.

En las Figura 6, también, se encuentra graficada la variación temporal de la concentración horaria (ppb) de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire correspondiente al período considerado. Asimismo, en esta Figura se presenta el gráfico de las variaciones temporales de la concentración en aire del azufre combinado (CS).

En la siguiente Tabla se incluyen los valores de diferentes parámetros estadísticos de la serie de valores medidos de la concentración horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire:

Parámetro	
Número de datos	1032
Promedio	1.059 ppb
Valor máximo	2.100 ppb
Valor mínimo	0.10 ppb
Desvío estándar	0.325 ppb
Mediana	1.00 ppb
Coefficiente de asimetría	0.613353
Coefficiente de sesgo	-0.026669

En la Figura 28 se presenta la distribución de frecuencias por diferentes intervalos de valores de concentración horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire para los datos incluidos en este Estudio.

Esas frecuencias se adaptan a una distribución log-normal con los siguientes valores característicos:

a) media geométrica ( $\mu_g$ ): 1.010ppb

b) desviación estándar geométrica ( $S_g$ ): 1.370.

En la Figura 29 se presenta el gráfico de la distribución de frecuencias acumuladas observadas ajustadas a una representación log-normal, de los valores horarios de la concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire para los datos correspondientes al período considerado.

Con el objeto de vincular la concentración horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire con la dirección del viento correspondiente, se elaboraron las rosas de contaminación media y máxima (ver Figuras 30 y 31) para el período considerado. El mayor valor de la concentración media de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire corresponde a la dirección WSW con 1.32ppb y el menor valor a la dirección NE con 0.90ppb. Para la dirección del viento que posibilita el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor medio de la concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire es 1.10ppb. Por otra parte, el mayor valor de la concentración máxima de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) corresponde a las direcciones E, SE y S con 2.10ppb y el menor a la dirección SW con 1.6ppb. Para la dirección del viento que posibilita el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia la zona de medición, el valor máximo de la concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire es 2.1ppb.

Las emisiones de TRS originadas por la planta de pasta de celulosa Botnia están integradas por sus componentes (sulfuro de hidrógeno, mercaptano de metilo, disulfuro de metilo y disulfuro de dimetilo), según información de mediciones realizadas en otras Plantas de pulpa de celulosa. La distribución de cada uno de los componentes de TRS para la caldera de recuperación y el horno de cal se encuentra en la Tabla siguiente:

Contaminante	Porcentaje de emisiones de TRS	
	Caldera de recuperación	Horno de cal
Sulfuro de Hidrógeno (SH <sub>2</sub> )	34%	96%
Mercaptano de metilo (CH <sub>4</sub> S)	40%	1%
Sulfuro de dimetilo (DMS)	16%	1%
Disulfuro de dimetilo (DMDS)	10%	1%

Como se presenta en la Tabla anterior, las emisiones de TRS provenientes de una planta de pulpa de celulosa no sólo están constituidas por SH<sub>2</sub>. Sin embargo, no es posible discernir la composición de los distintos componentes de TRS medidos como concentración en aire a nivel del suelo. Debido a ello, se considerará como manifestación de máxima que estuvo compuesta totalmente por SH<sub>2</sub>.

La Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000) recomienda el siguiente nivel guía de calidad de aire para el sulfuro de hidrógeno:

<i>Contaminante</i>	Concentración	Tiempo de promedio
Sulfuro de hidrógeno	0.15mg/m <sup>3</sup> -108ppb	24hs.

Para poder comparar con este nivel guía de calidad de aire se calcularon los valores de la concentración media (período de promedio: 24 horas) de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire a nivel del suelo. A continuación se presenta la Tabla conteniendo parámetros estadísticos de esos valores:

Estadísticos correspondientes a los valores medios (tiempo de promedio: 24 horas)

<b>Parámetro</b>	
Número de datos	43
Promedio	1.058 ppb
Valor máximo	1.288 ppb
Valor mínimo	0.730 ppb
Desvío estándar	0.142 ppb
Mediana	1.050 ppb
Coefficiente de asimetría	-0.06510
Coefficiente de sesgo	-0.84580

En la Figura 32 se presenta la distribución de frecuencias de los valores de concentración diaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire para los datos incluidos en este Estudio.

Suponiendo, como condición ambiental y potencialmente comprometida, que los TRS están constituidos sólo por SH<sub>2</sub> se encuentra que los valores medidos son inferiores al nivel guía de calidad de aire recomendado por la World Health Organization (2000).

## ii) Percepción de olor

La Organización Mundial de la Salud estableció para el sulfuro de hidrógeno umbrales de detección, reconocimiento y valor guía de olor basados en datos proporcionados por paneles de expertos y estudios experimentales (World Health Organization, 2000), que se presentan en la siguiente Tabla:

Contaminante	Umbral de detección (mg/m <sup>3</sup> )	Umbral de reconocimiento (mg/m <sup>3</sup> )	Valor guía (mg/m <sup>3</sup> )
Sulfuro de hidrógeno	0.0002-0.002	0.0006-0.006	0.007 (período de promedio: 30min.)

Suponiendo que los TRS están constituidos sólo por sulfuro de hidrógeno, los valores medios (período de promedio: 30 minutos) de las concentraciones de TRS (expresados como SH<sub>2</sub>) en aire no superan el valor guía recomendado para el olor por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000).

3.1.3. Análisis estadístico de las diferencias de las concentraciones medias de dióxido de azufre y azufre totalmente reducido (expresado como sulfuro de hidrógeno) en aire a nivel del suelo correspondientes a diferentes direcciones de viento

a) Concentración de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo

Se efectúa la comparación entre los valores de las concentraciones horarias de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo correspondientes a la dirección del viento SSE con los valores medios horarios de las otras direcciones de viento.

Esta comparación se realiza con el objeto de determinar si las dos muestras (la correspondiente a la dirección SSE y la de las otras direcciones de viento) corresponden o no a una misma población. Se aplicó la prueba de la distribución “t” de “Student” para comprobar si la diferencia de las medias de ambas muestras es significativa a los niveles de 0.01 (1%) y 0.05 (5%). En caso contrario procederían de una misma población.

Los valores calculados de los parámetros necesarios para aplicar el “t” de “Student” fueron los siguientes:

	Dirección SE	Todas las otras direcciones	t	Grados de libertad	t <sub>.995</sub>	t <sub>.975</sub>
Nº de datos	145	862	1.2349	1005	2.58	1.96
Valor medio	0.29525	0.267426				
Desvío estándar	0.148931	0.141586				

a) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.01 (1%), se rechazará la hipótesis de que no existe diferencia esencial entre las dos muestras si t se encuentra fuera del rango  $-t_{0.995}$  a  $t_{0.995}$ , que para N = 1005 grados de libertad es el intervalo  $-2.58$  a  $2.58$ .

Como el valor de t calculado se encuentra en este intervalo, no se puede rechazar la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los dos grupos considerados.

b) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.05 (5%), se rechazará la hipótesis de que no hay diferencia esencial entre las dos muestras si t se encuentra fuera del rango  $-t_{0.975}$  a  $t_{0.975}$ , que para N = 1005 grados de libertad es el rango -1.96 a 1.96.

Como el valor de t calculado se encuentra en este intervalo, para el nivel de significación del 0.05 (5%), no se puede rechazar la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los dos grupos considerados.

Por lo tanto, se encuentra que no existe diferencia significativa entre los valores medios de las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> en aire a nivel del suelo correspondientes a la dirección del viento SE y a las otras direcciones.

b) Concentración de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire a nivel del suelo

Los valores medios (ppb) y los desvíos estándares (ppb) de las concentraciones horaria de TRS (expresado como SH<sub>2</sub>) en aire a nivel del suelo conjuntamente con los grados de libertad, los valores calculados del t de Student y los valores del t de Student correspondientes a los niveles de significación del 0.01(1%) y 0.05 (5%), para la dirección del viento SSE y para las otras direcciones de viento en general.

Los valores calculados de los parámetros necesarios para aplicar el “t” de “Student” fueron los siguientes:

	Dirección SSE	Todas las otras direcciones	t	Grados de libertad	t <sub>.995</sub>	t <sub>.975</sub>
Nº de datos	145	862	1.7090	1005	2.58	1.96
Valor medio	1.104138	1.053944				
Desvío estándar	0.322076	0.328056				

a) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.01 (1%), se rechazará la hipótesis de que no existe diferencia esencial entre las dos muestras si t se encuentra fuera del rango  $-t_{0.995}$  a  $t_{0.995}$ , que para N = 1005 grados de libertad es el intervalo -2.58 a 2.58.

Como el valor de  $t$  calculado se encuentra en este intervalo, no se puede rechazar la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los dos grupos considerados.

b) Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.05 (5%), se rechazará la hipótesis de que no hay diferencia esencial entre las dos muestras si  $t$  se encuentra fuera del rango  $-t_{0,975}$  a  $t_{0,975}$ , que para  $N = 1005$  grados de libertad es el rango  $-1.96$  a  $1.96$ .

Como el valor de  $t$  calculado se encuentra en este intervalo, no se puede rechazar la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los dos grupos considerados.

Por lo tanto, se encuentra que no existe diferencia significativa entre los valores medios de las concentraciones horarias de TRS (expresado como  $\text{SH}_2$ ) en aire a nivel del suelo cuando el viento proviene del sector SE o cuando proviene de las direcciones restantes.

#### **4. Consideraciones finales**

En general, la concentración de contaminantes en el aire depende de la emisión de los mismos, de las condiciones atmosféricas y de las características del terreno. Las condiciones atmosféricas relacionadas con el transporte y la dispersión de contaminantes varían temporal y espacialmente.

La dirección inicial del transporte de contaminantes emitidos por sus fuentes está determinada por la dirección del viento. Las concentraciones en el aire de contaminantes emitidos desde una fuente puntual de emisión son muy sensibles a la dirección del viento (Arya, 1999).

Uno de los efectos de la velocidad del viento es diluir continuamente los contaminantes emitidos desde las fuentes de emisión. Esta dilución tiene lugar en la dirección del transporte de la pluma de contaminantes. Por otra parte, la velocidad del viento, también, afecta al tiempo de transporte de los contaminantes entre la fuente y los receptores. Cuando los contaminantes son emitidos con impulso y con temperatura mayor que la del aire ambiente, la elevación de los mismos en la atmósfera está afectada por la velocidad del viento.

La turbulencia atmosférica (de origen mecánico y térmico) contribuye a los más importantes procesos de mezcla en el aire que influyen sobre la dispersión de los contaminantes. El tamaño y la influencia de los torbellinos sobre la expansión vertical

de las plumas están relacionados con la estructura térmica vertical de la atmósfera (Seinfeld y Pandis, 2006).

a) Período comprendido entre el 1 de noviembre de 2008 a las 00:00hs y el 6 de diciembre de 2008 a las 14:00hs

La dirección del viento que transportaría los contaminantes emitidos desde Botnia hacia el área de medición es  $155^\circ$  (sector SSE), respecto del norte, durante el período comprendido entre el 1 de noviembre de 2008 a las 00:00hs y el 6 de diciembre de 2008 a las 14:00hs. La frecuencia de ocurrencia de vientos de dirección del sector SSE es 4.76%. Las direcciones fueron consideradas según sectores de  $22.5^\circ$ . Suponiendo una distribución de direcciones equi-espaciadas en cada sector y que los contaminantes son transportados hacia la zona si la dirección del viento abarca un ángulo de  $5^\circ$ , la frecuencia correspondiente se ajustará a 1.06%.

El valor máximo (0.333ppb), obtenido para el período considerado, de la concentración (período de promedio: 3 horas) de  $\text{SO}_2$  en aire representa el 0.07 % de la norma de calidad del aire para el dióxido de azufre correspondiente a la ciudad de Buenos Aires (Argentina), la Provincia de Buenos Aires (Argentina) y EE.UU..

La comparación con el nivel guía de calidad de aire (tiempo de promedio de 24 horas) más restrictivo (Organización Mundial de la Salud) para el dióxido de azufre, permite encontrar que el máximo valor (0.217ppb) determinado para el período considerado es el 2.7% del valor de dicho nivel guía.

Suponiendo que los TRS están constituidos sólo por  $\text{SH}_2$ , se encuentra que los valores de concentración media (período de promedio: 24 horas) de TRS en aire obtenidos son inferiores al nivel guía de calidad de aire recomendado por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000).

Considerando que los TRS están constituidos sólo por sulfuro de hidrógeno, los valores medios (período de promedio: 30 minutos) de las concentraciones de TRS en aire no superan el valor guía recomendado para el olor por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000).

Se encuentra que probablemente puede no existir diferencia significativa entre los valores medios de las concentraciones horarias de  $\text{SO}_2$  y de TRS (expresado como  $\text{SH}_2$ ) en aire a nivel del suelo cuando el viento proviene del sector SSE o cuando proviene de las otras direcciones.

b) Período comprendido entre el 15 de diciembre de 2008 a las 19:00hs y el 31 de enero de 2009 a las 23:00hs.

Por razones de seguridad de los instrumentos, el sensor-muestrador fue trasladado trasladado a un área localizada al noroeste de la anterior.

La dirección del viento que transportaría los contaminantes emitidos desde Botnia hacia el área de medición es  $147^\circ$  (sector SE), respecto del norte, durante el período comprendido entre el 15 de diciembre de 2008 a las 19:00hs y el 31 de enero de 2009 a las 23:00hs. La frecuencia de ocurrencia de vientos de dirección del sector SE es 14.40%. Las direcciones fueron consideradas según sectores de  $22.5^\circ$ . Suponiendo una distribución de direcciones equi-espaciadas en cada sector y que los contaminantes son transportados hacia la zona si la dirección del viento abarca un ángulo de  $5^\circ$ , la frecuencia correspondiente se ajustará a 3.20%.

El valor máximo (0.300ppb), obtenido para el período considerado, de la concentración (período de promedio: 3 horas) de  $\text{SO}_2$  en aire representa el 0.06 % de la norma de calidad del aire para el dióxido de azufre correspondiente a la ciudad de Buenos Aires (Argentina), la Provincia de Buenos Aires (Argentina) y EE.UU..

La comparación con el nivel guía de calidad de aire (tiempo de promedio de 24 horas) más restrictivo (Organización Mundial de la Salud) para el dióxido de azufre, permite encontrar que el máximo valor (0.171ppb) determinado para el período considerado es el 2.1% del valor de dicho nivel guía.

Suponiendo que los TRS están constituidos sólo por  $\text{SH}_2$ , se encuentra que los valores de concentración media (período de promedio: 24 horas) de TRS en aire obtenidos son inferiores al nivel guía de calidad de aire recomendado por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000).

Considerando que los TRS están constituidos sólo por sulfuro de hidrógeno, los valores medios (período de promedio: 30 minutos) de las concentraciones de TRS en aire no superan el valor guía recomendado para el olor por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2000).

Se encuentra que no existe diferencia significativa entre los valores medios de las concentraciones horarias de  $\text{SO}_2$  y de TRS (expresado como  $\text{SH}_2$ ) en aire a nivel del suelo cuando el viento proviene del sector SSE o cuando proviene de las otras direcciones.

Es recomendable la continuidad de las mediciones de los niveles de contaminación del aire y de parámetros meteorológicos en la zona. Esto posibilitaría contar con una cantidad mayor de información para convalidar o no los resultados obtenidos.

## Referencias

CEPIS. 1984. Análisis e interpretación de datos de vigilancia del aire. Documentos Técnicos N° 9. Lima, Perú.

Arya S. P. 1999. Air Pollution Meteorology and Dispersion. Oxford University Press. – NY.

Seinfeld J. H. and Pandis S. N. 2006. Atmospheric Chemistry and Physics. John Wiley & Sons, Inc. NY.

World Health Organization. 2000. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. European Series, N° 91.

# TABLAS

Tabla I. Valores de frecuencias relativas porcentuales de cada dirección del viento. Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00.

<b>Dirección del viento</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>
N	4.87
NNE	13.08
NE	19.02
ENE	26.41
E	6.31
ESE	4.52
SE	5.71
SSE	4.76
S	4.64
SSW	2.88
SW	1.20
WSW	1.20
W	1.31
WNW	1.55
NW	1.31
NNW	1.30
CALMAS	0.0

Tabla II. Valores de la velocidad media del viento para cada dirección. Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00.

<b>Dirección del viento</b>	<b>Velocidad media del viento (m/s)</b>
N	1.34
NNE	1.51
NE	2.23
ENE	2.42
E	2.52
ESE	3.18
SE	4.09
SSE	4.25
S	5.18
SSW	4.44
SW	2.98
WSW	2.36
W	0.59
WNW	0.59
NW	0.84
NNW	1.13
CALMAS	0.00

Tabla III. Valores de frecuencia relativa porcentual acumulada de diferentes intervalos de velocidades del viento. Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00.

<b>Límite superior del intervalo (m/s)</b>	<b>Frecuencia relativa porcentual acumulada (%)</b>
1	16.77
2	48.16
3	69.32
4	81.45
5	90.84
6	94.41
7	96.79
8	98.10
9	99.41
10	100.00

Tabla IV. Valores medios horarios de la velocidad del viento. Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00.

<b>Hora</b>	<b>Velocidad media del viento (m/s)</b>
0	2.01
1	1.72
2	2.07
3	2.01
4	1.74
5	1.81
6	2.62
7	3.27
8	2.61
9	2.63
10	2.82
11	2.95
12	3.44
13	3.30
14	3.34
15	3.15
16	2.98
17	3.02
18	2.79
19	1.78
20	2.13
21	1.95
22	2.24
23	1.94

Tabla V. Valores de frecuencias relativas porcentuales de cada dirección del viento. Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00.

<b>Dirección del viento</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>
N	2.88
NNE	11.83
NE	12.90
ENE	8.90
E	18.77
ESE	13.60
SE	14.40
SSE	2.58
S	1.50
SSW	2.00
SW	1.00
WSW	1.00
W	1.30
WNW	3.17
NW	3.07
NNW	1.10
CALMAS	0.0

Tabla VI. Valores de la velocidad media del viento para cada dirección.  
Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00.

<b>Dirección del viento</b>	<b>Velocidad media del viento (m/s)</b>
N	3.14
NNE	3.27
NE	2.16
ENE	1.30
E	2.01
ESE	2.64
SE	3.35
SSE	2.62
S	1.89
SSW	1.94
SW	1.75
WSW	1.73
W	1.87
WNW	2.15
NW	3.21
NNW	4.02
CALMAS	0.00

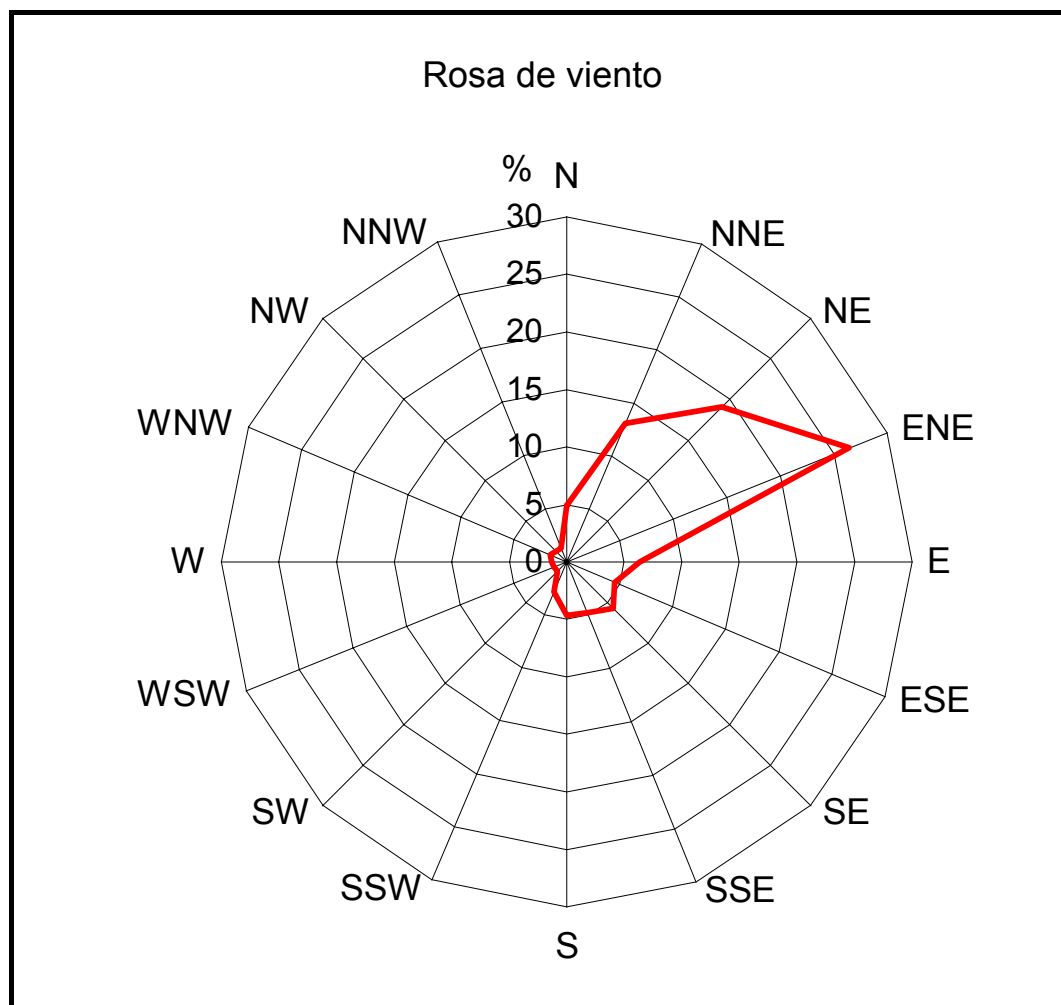
Tabla VII. Valores de frecuencia relativa porcentual acumulada de diferentes intervalos de velocidades del viento. Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00.

<b>Límite superior del intervalo (m/s)</b>	<b>Frecuencia relativa porcentual acumulada (%)</b>
1	15.60
2	43.22
3	68.12
4	85.37
5	94.28
6	98.16
7	99.52
8	99.90
9	99.90
10	99.90
11	99.90
12	99.90
13	100.00

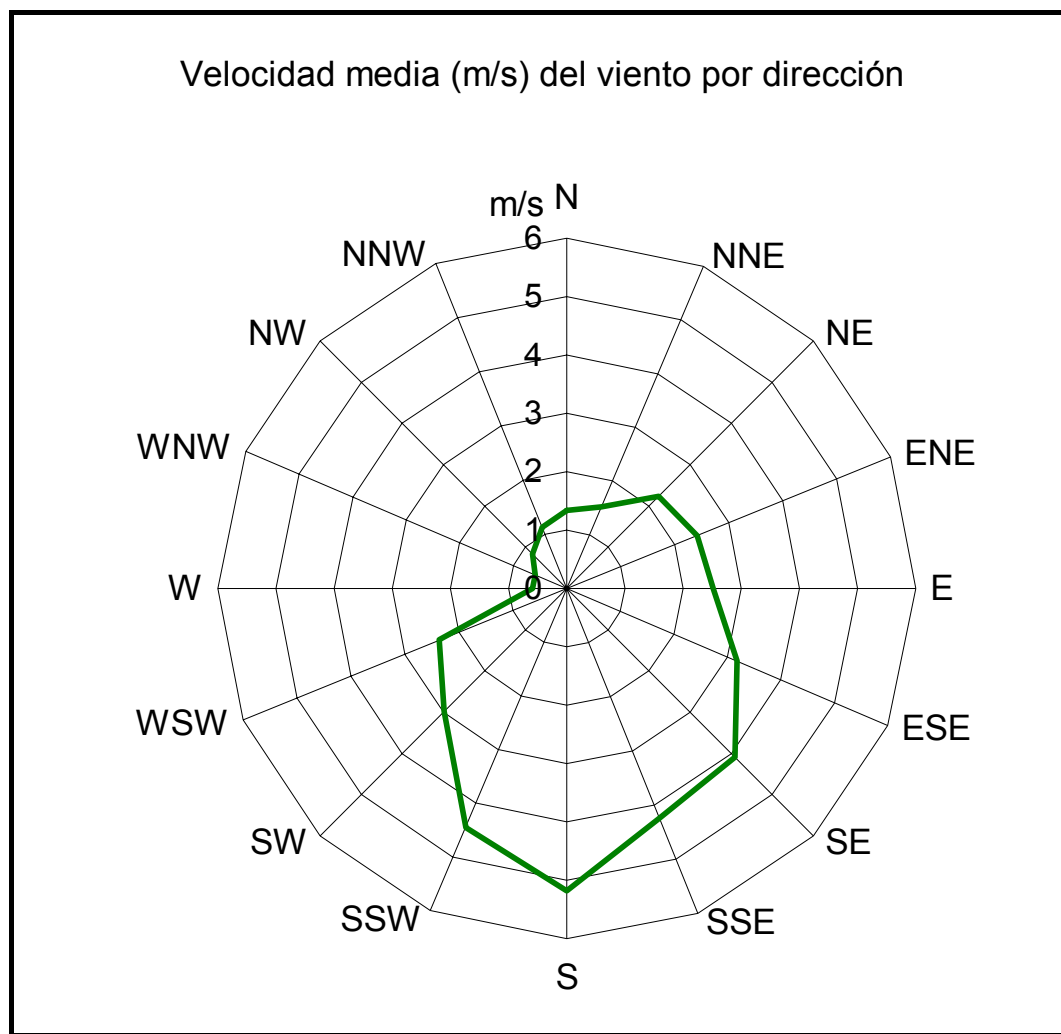
Tabla VIII. Valores medios horarios de la velocidad del viento. Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00.

<b>Hora</b>	<b>Velocidad media del viento (m/s)</b>
0	2.13
1	2.04
2	1.89
3	1.84
4	1.97
5	1.89
6	2.48
7	3.56
8	3.52
9	3.33
10	2.98
11	2.77
12	3.25
13	2.93
14	2.86
15	2.67
16	2.62
17	2.50
18	2.30
19	1.65
20	1.77
21	1.98
22	1.80
23	1.94

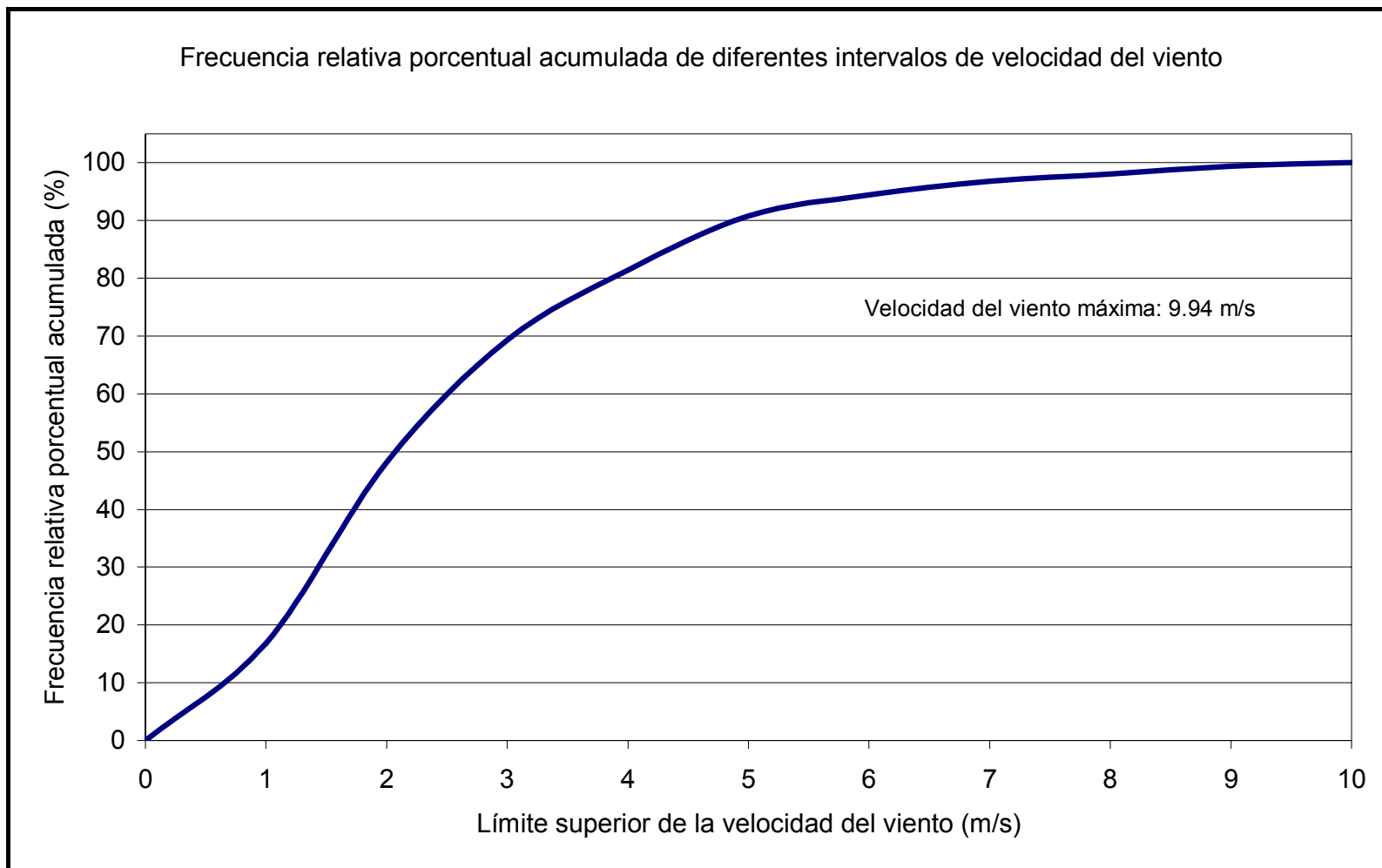
# FIGURAS



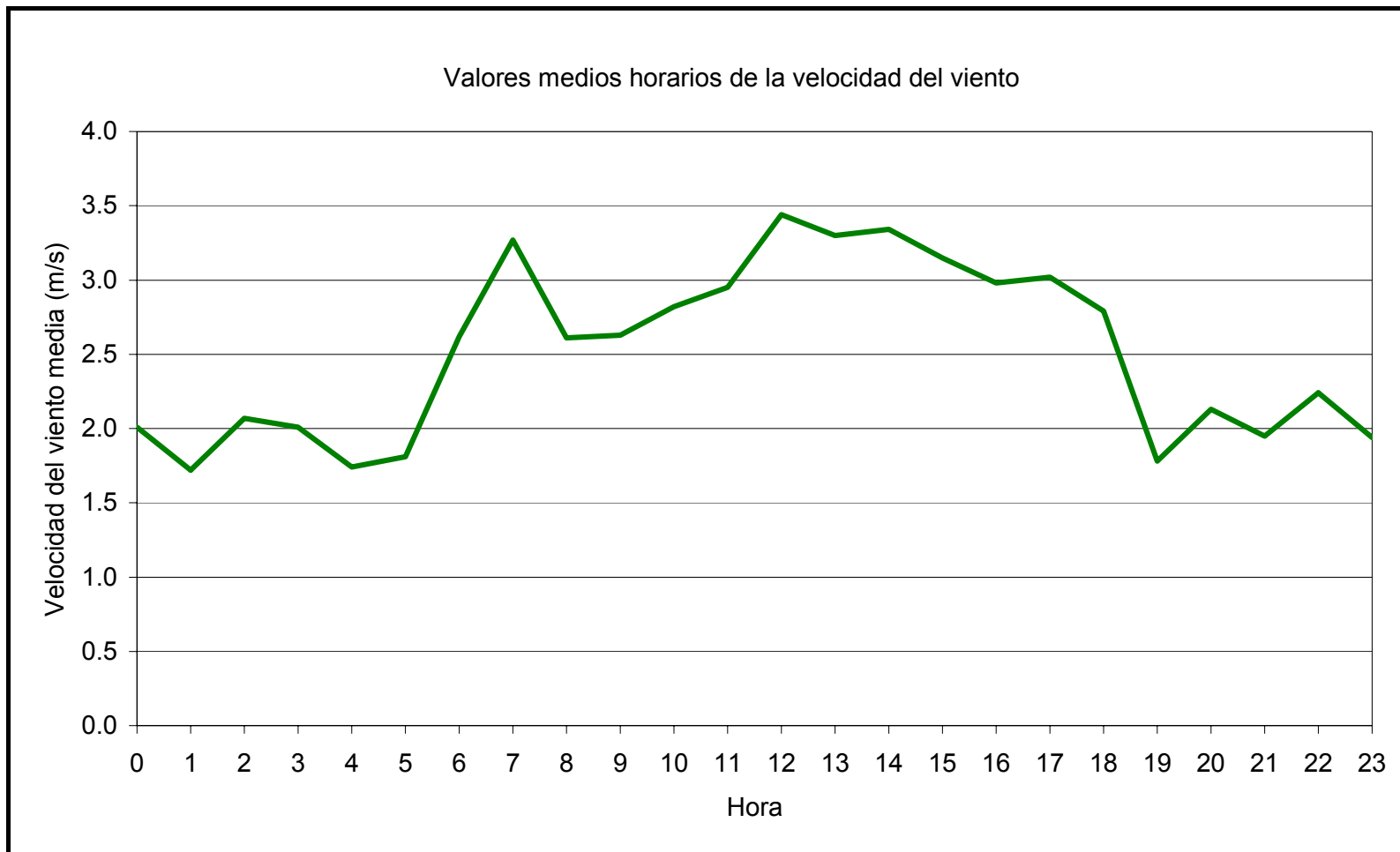
**FIGURA 1.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



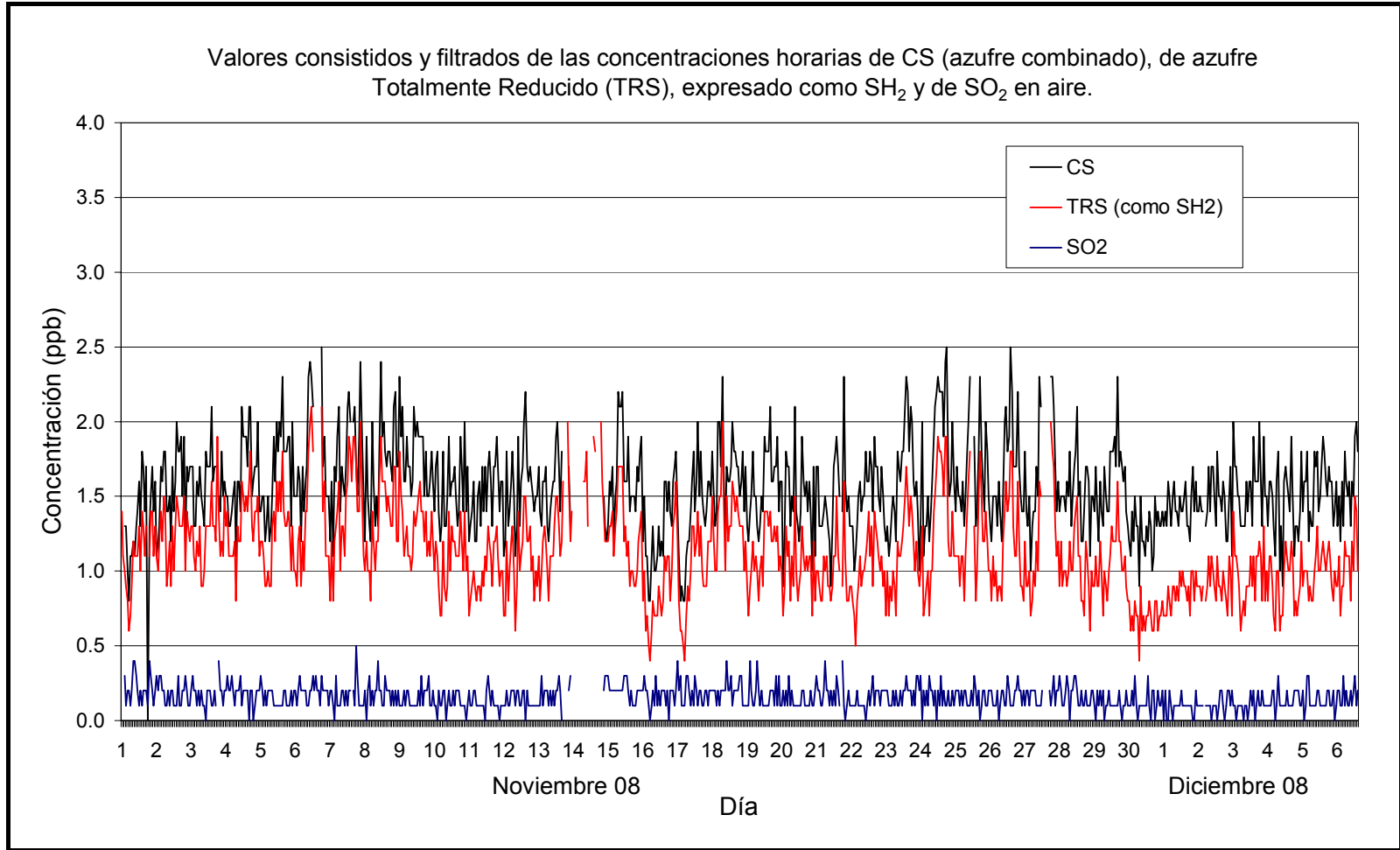
**FIGURA 2.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



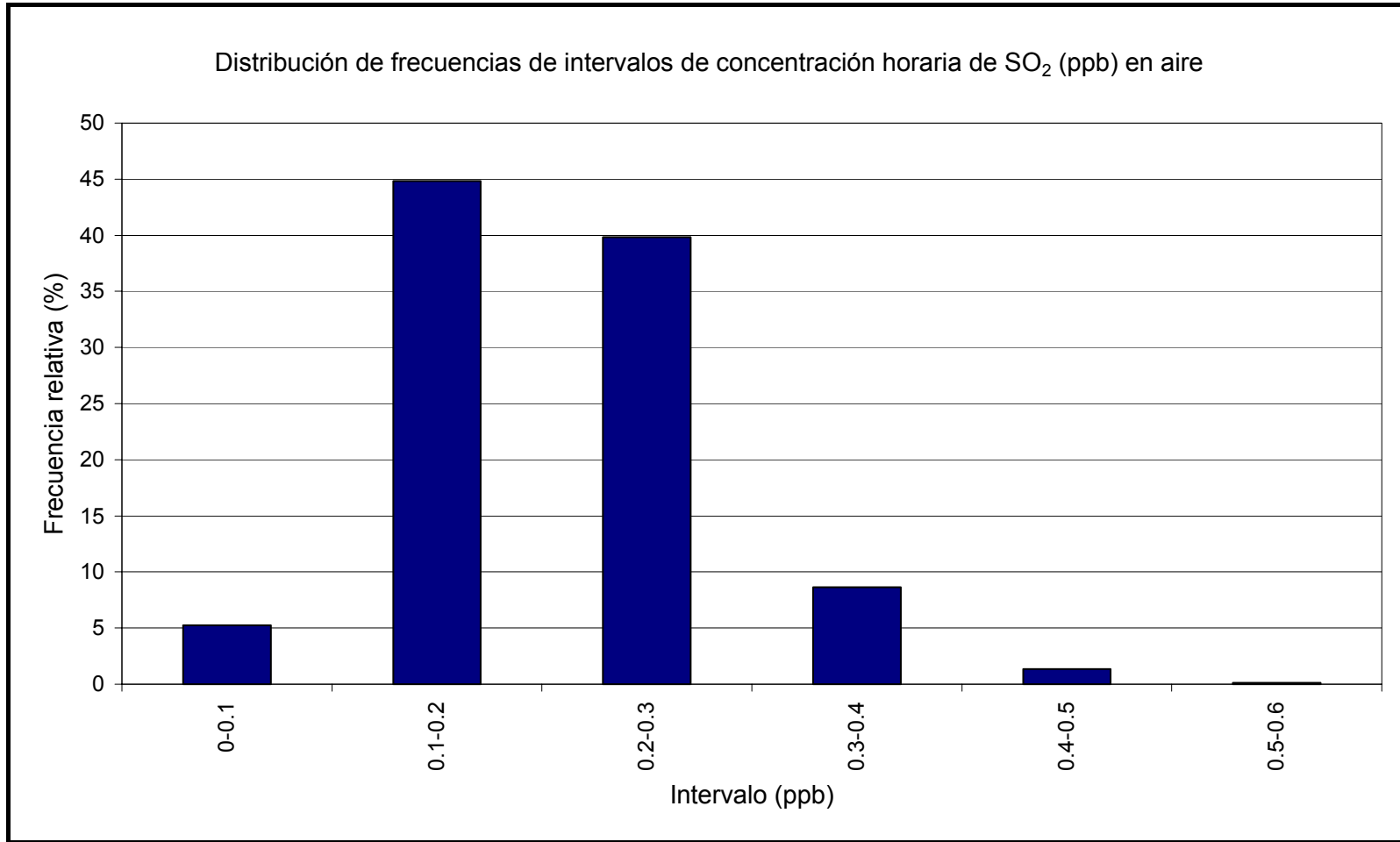
**FIGURA 3.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



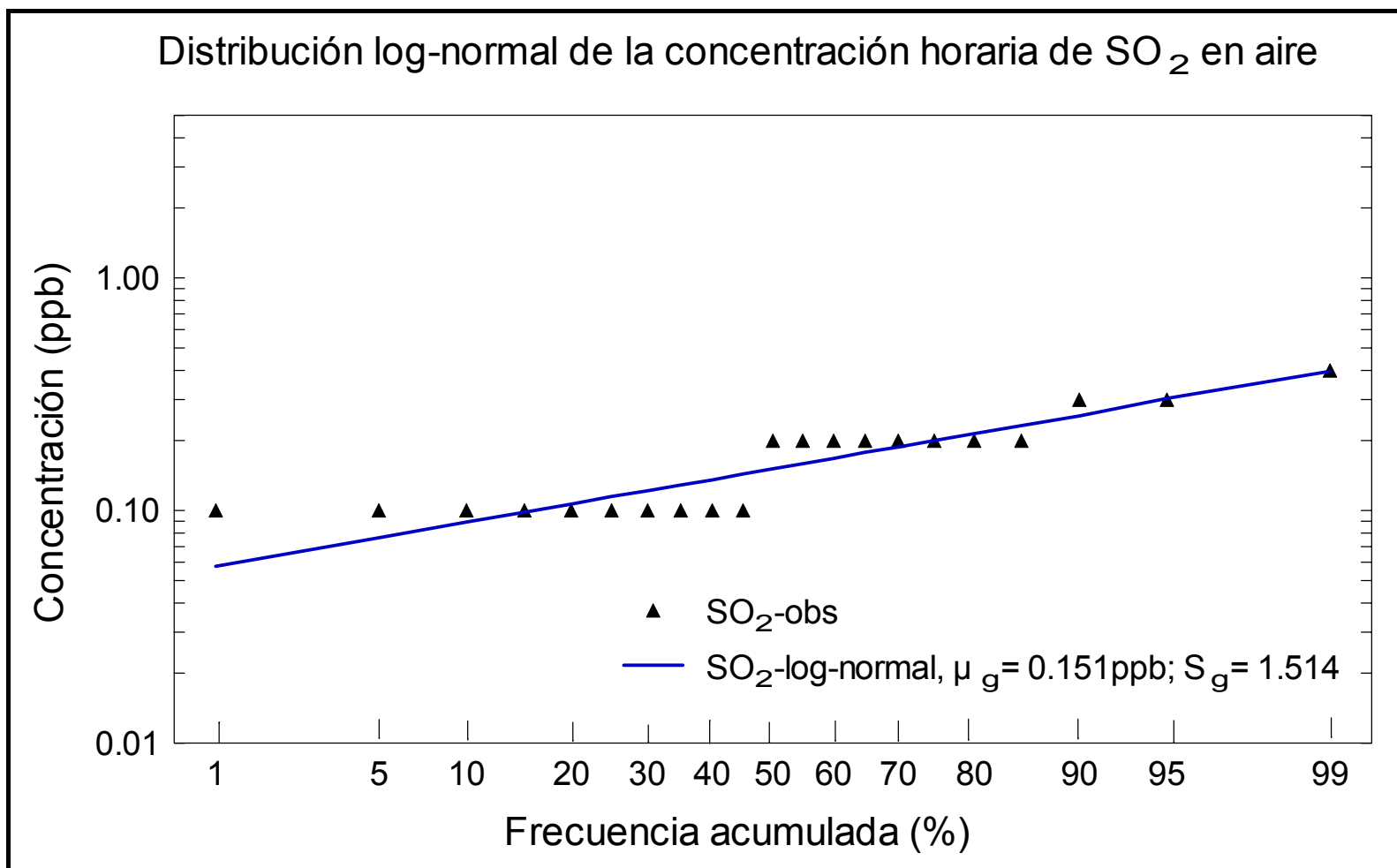
**FIGURA 4.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



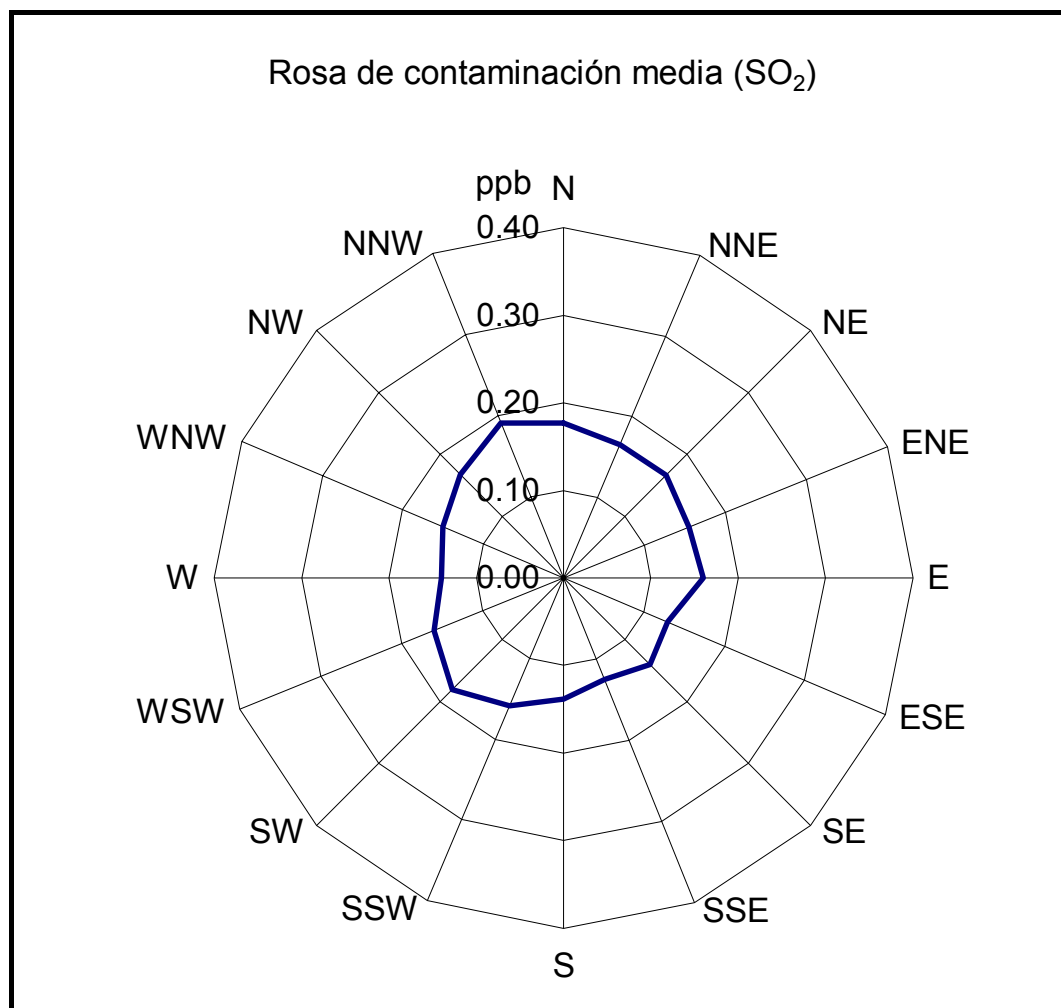
**FIGURA 5.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



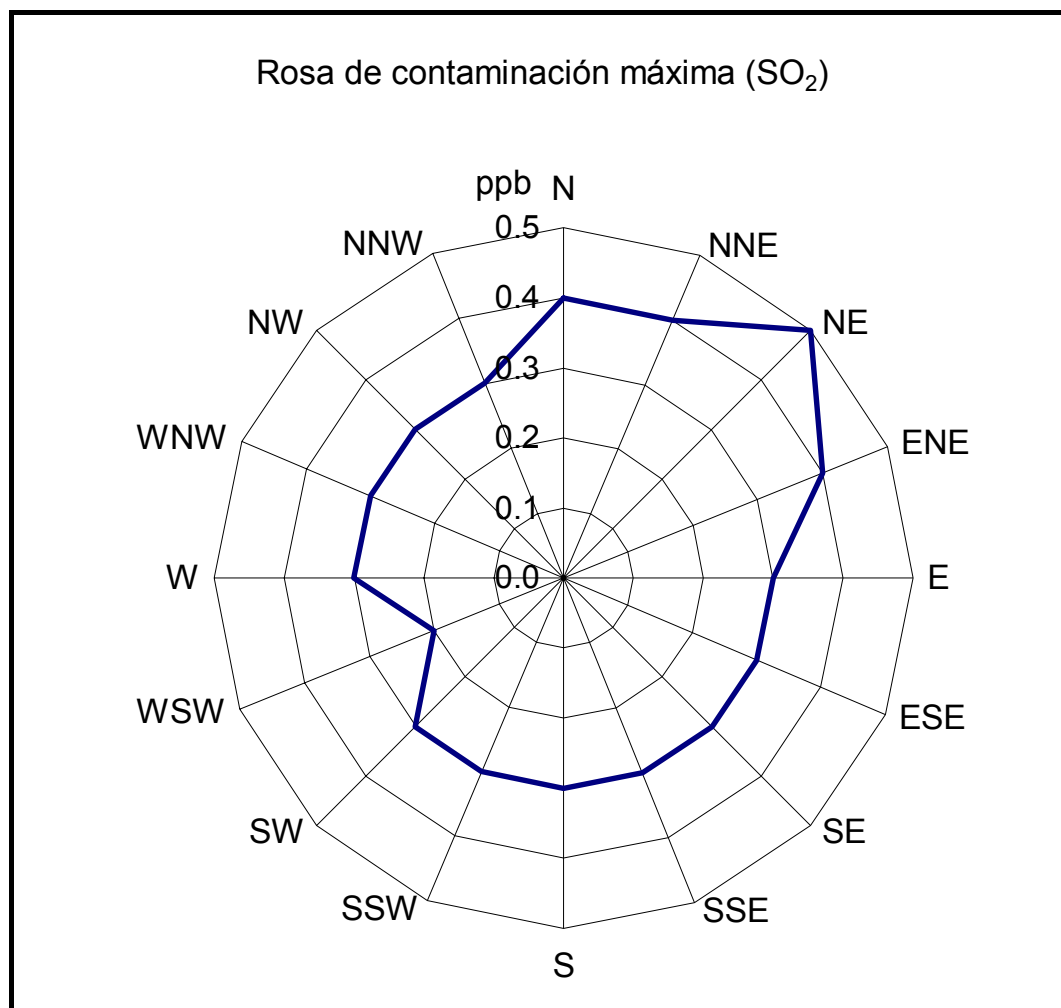
**FIGURA 6.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



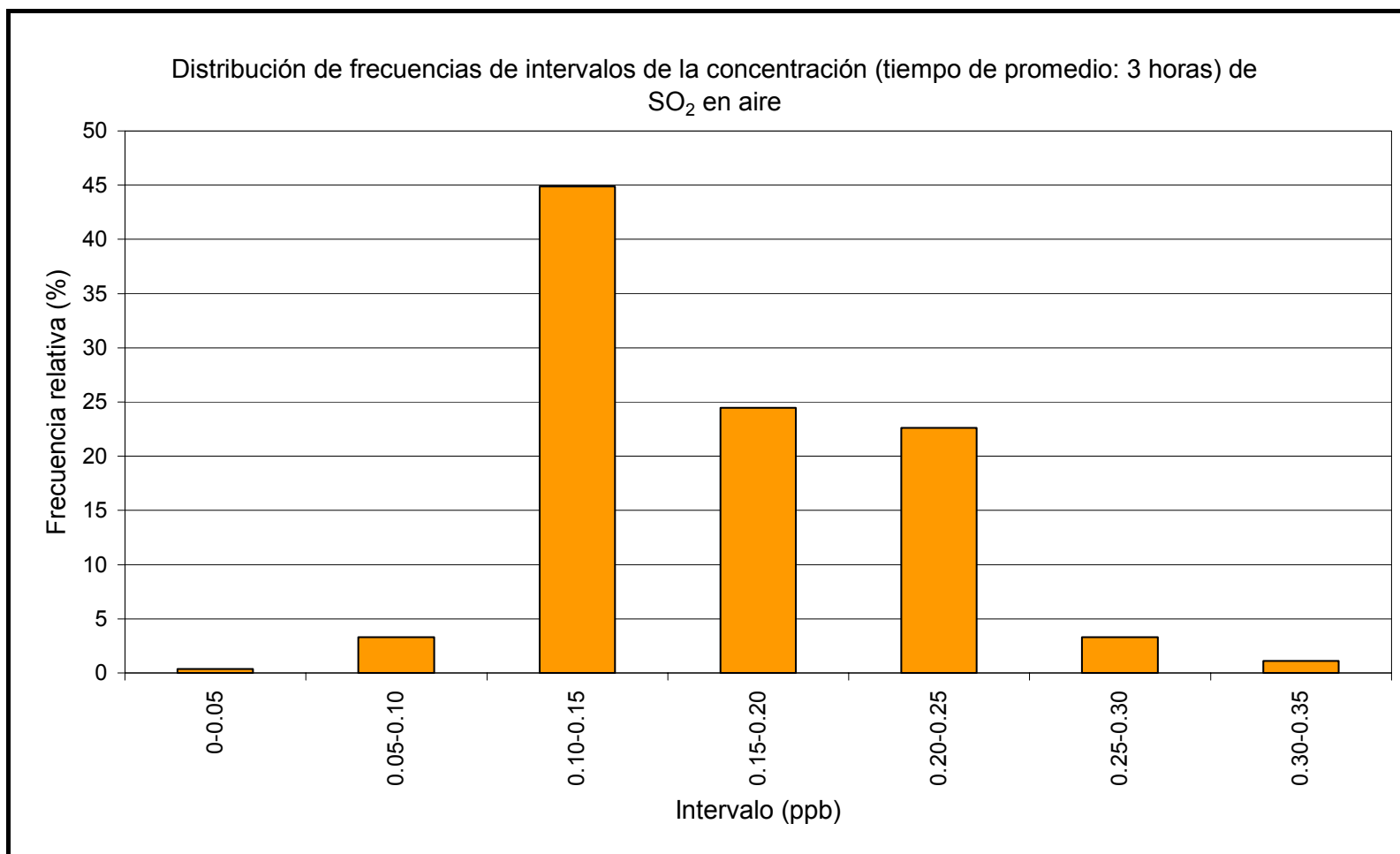
**FIGURA 7.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



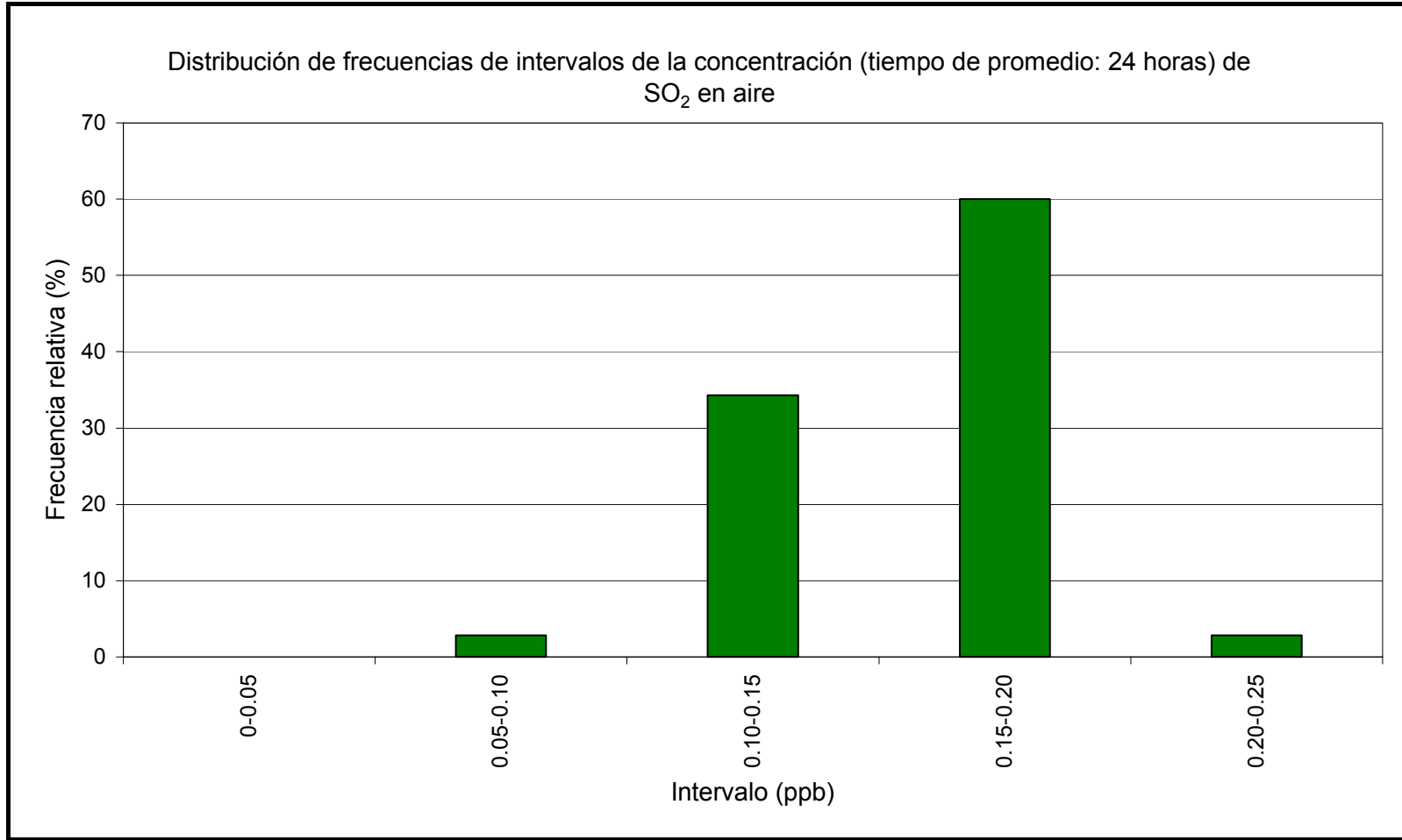
**FIGURA 8.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



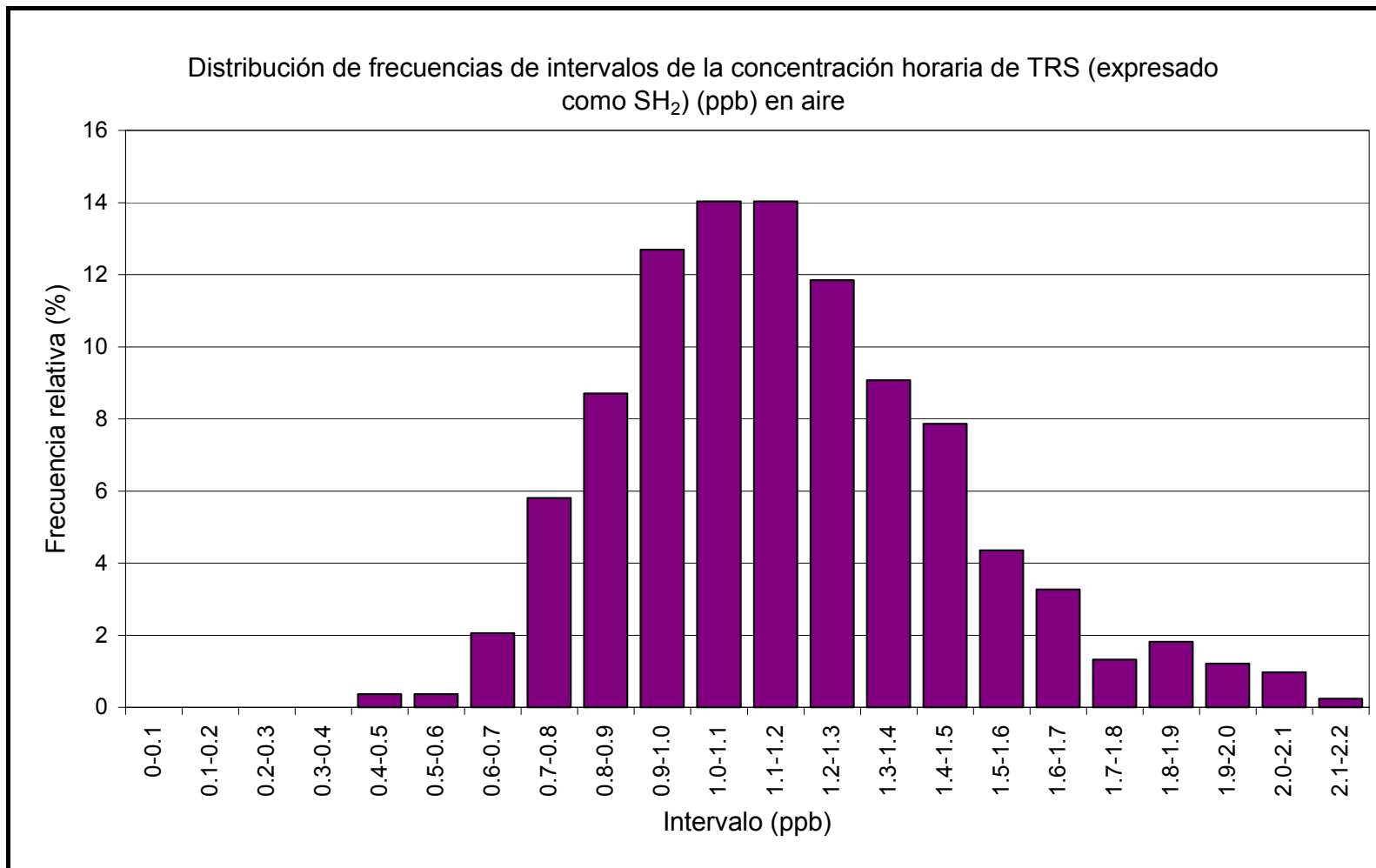
**FIGURA 9.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



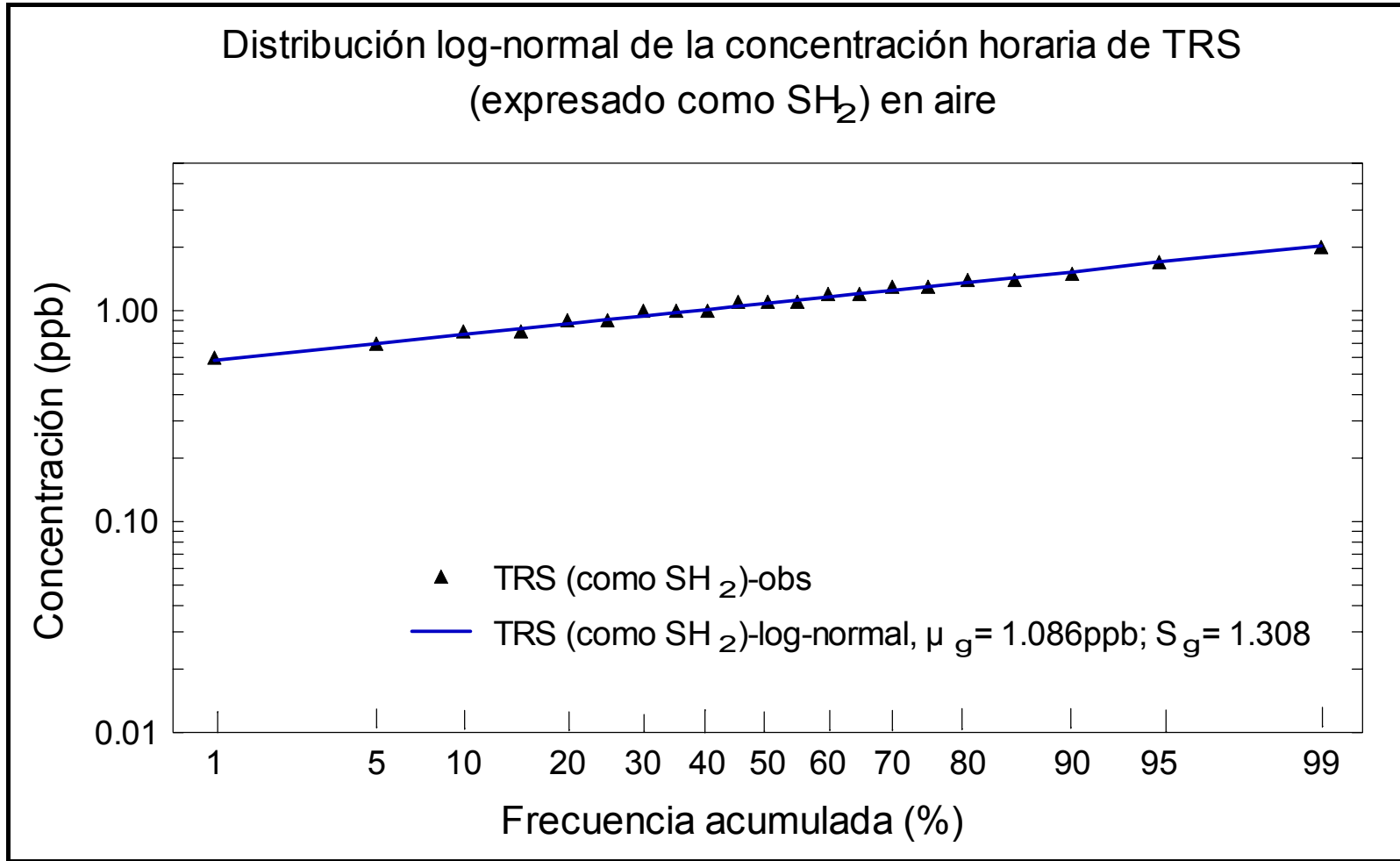
**FIGURA 10.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



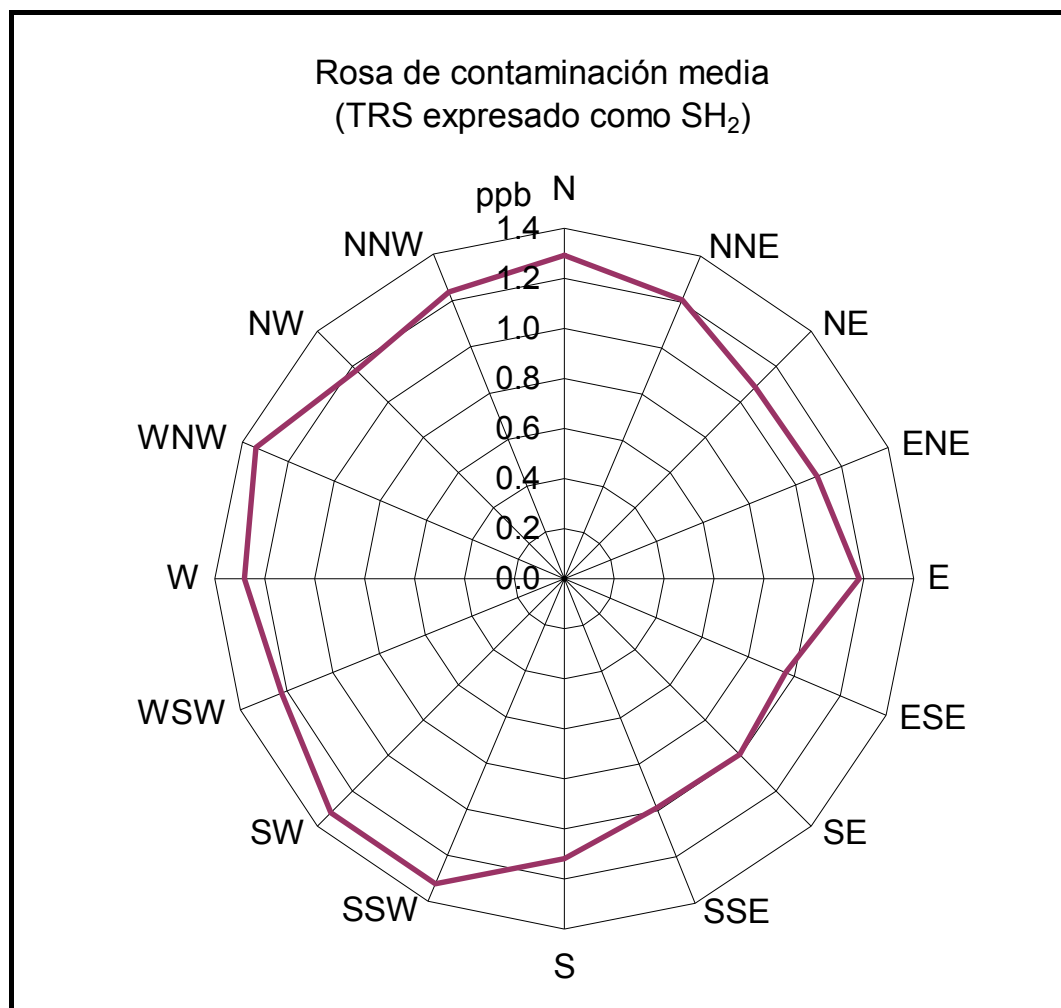
**FIGURA 11.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



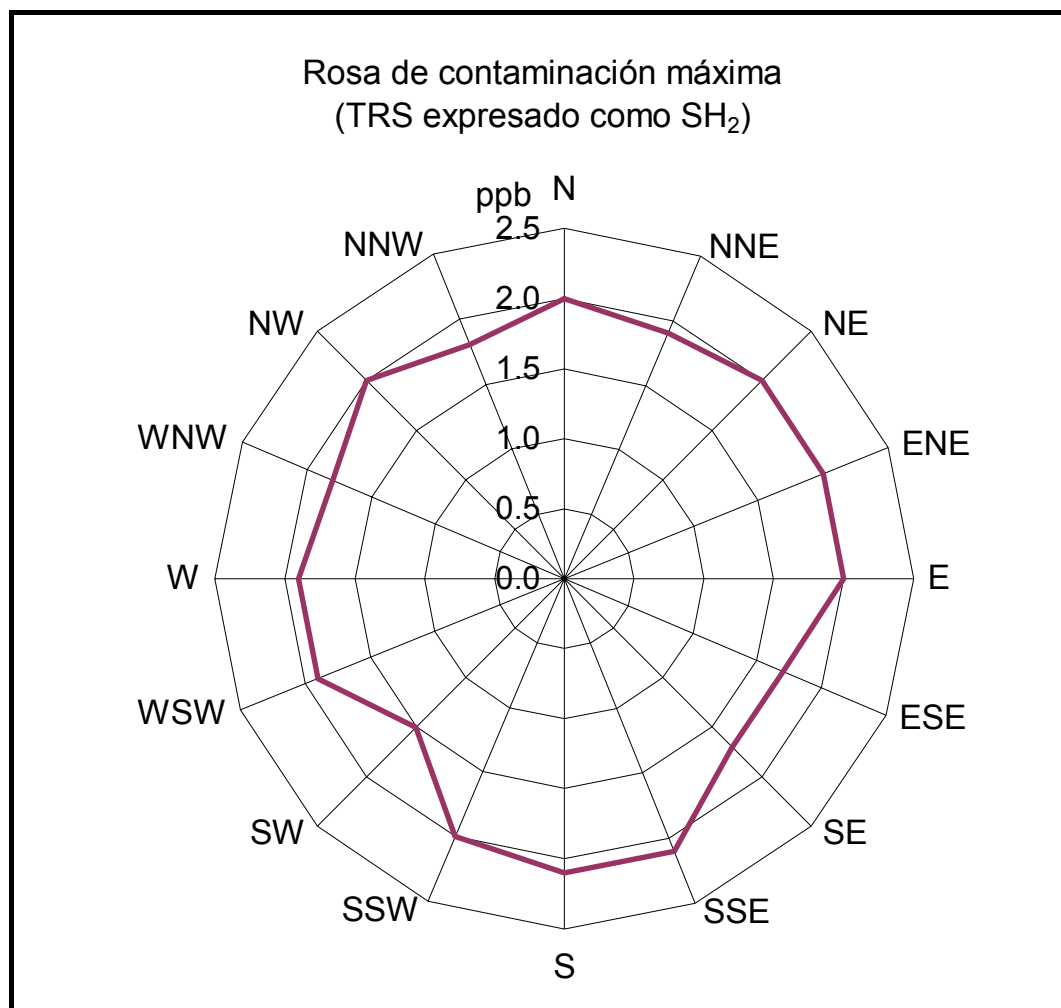
**FIGURA 12.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



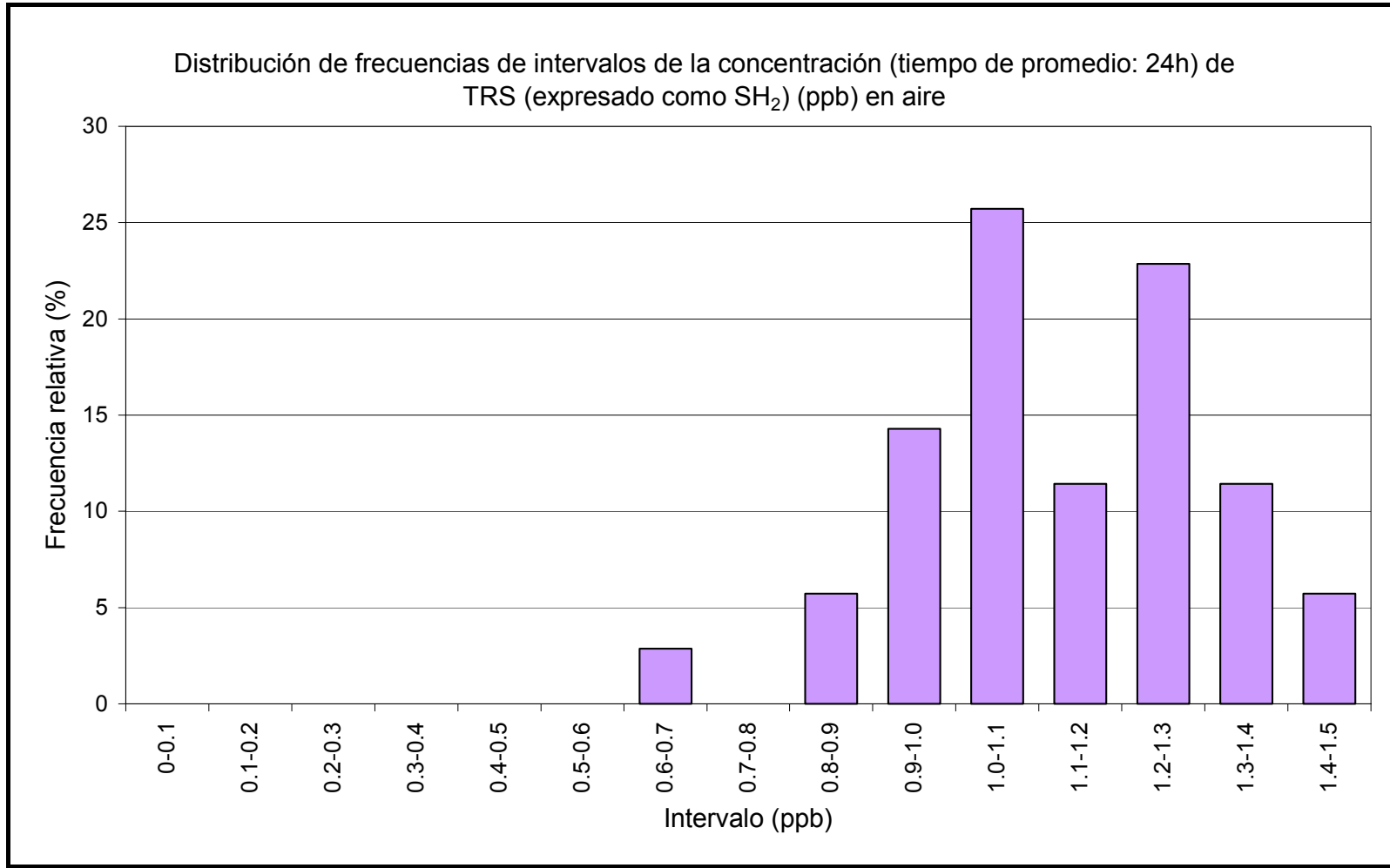
**FIGURA 13.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



**FIGURA 14.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



**FIGURA 15.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00



**FIGURA 16.** Período: 01/11/08, 00:00 – 06/12/08, 14:00

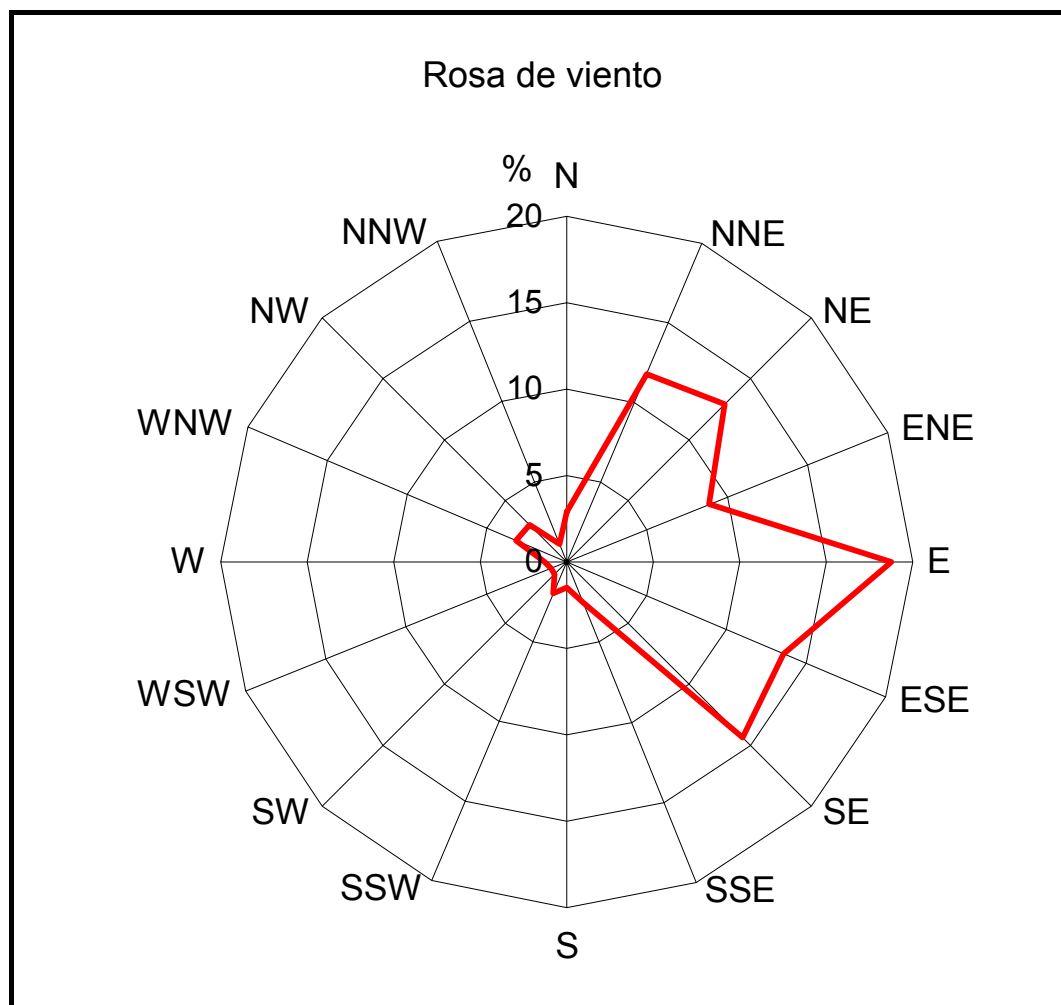
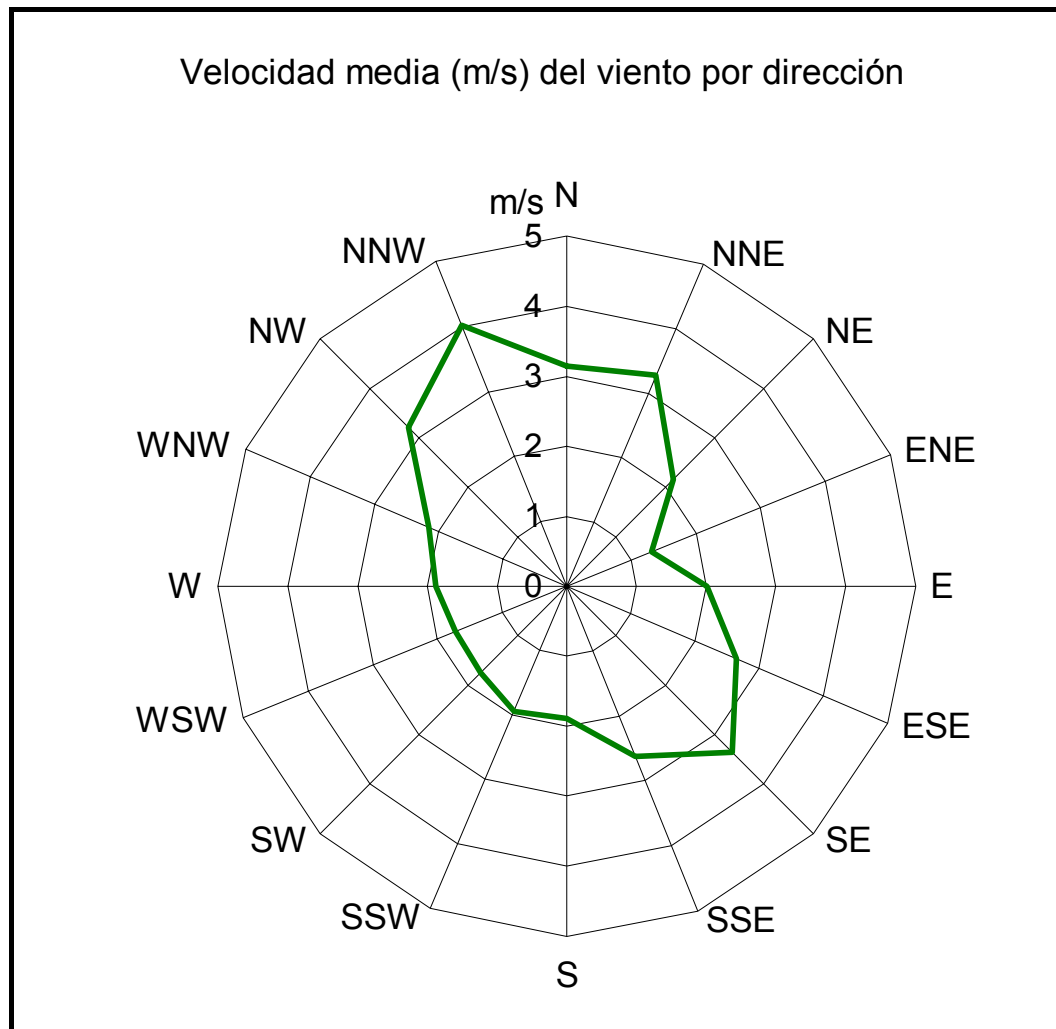
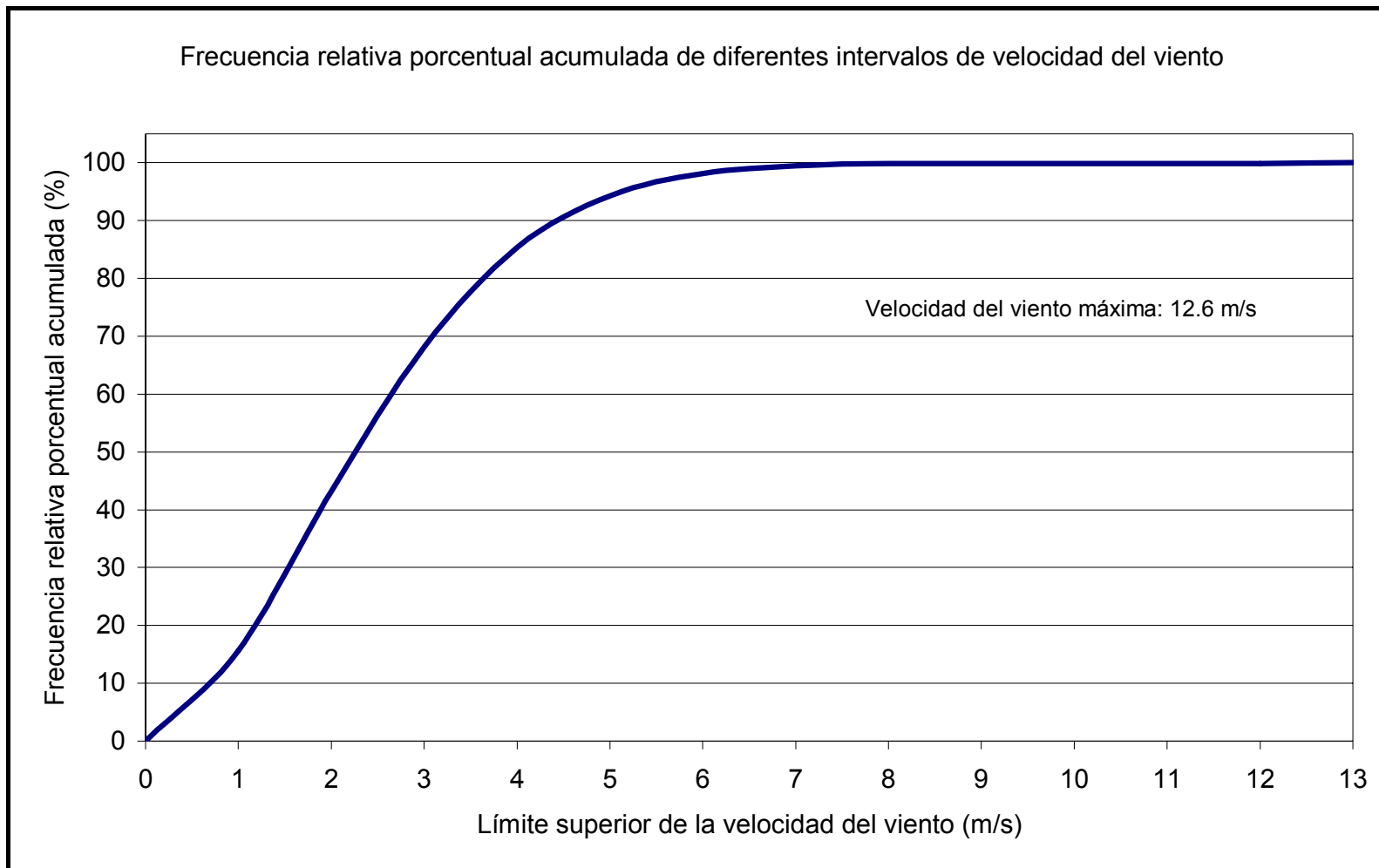


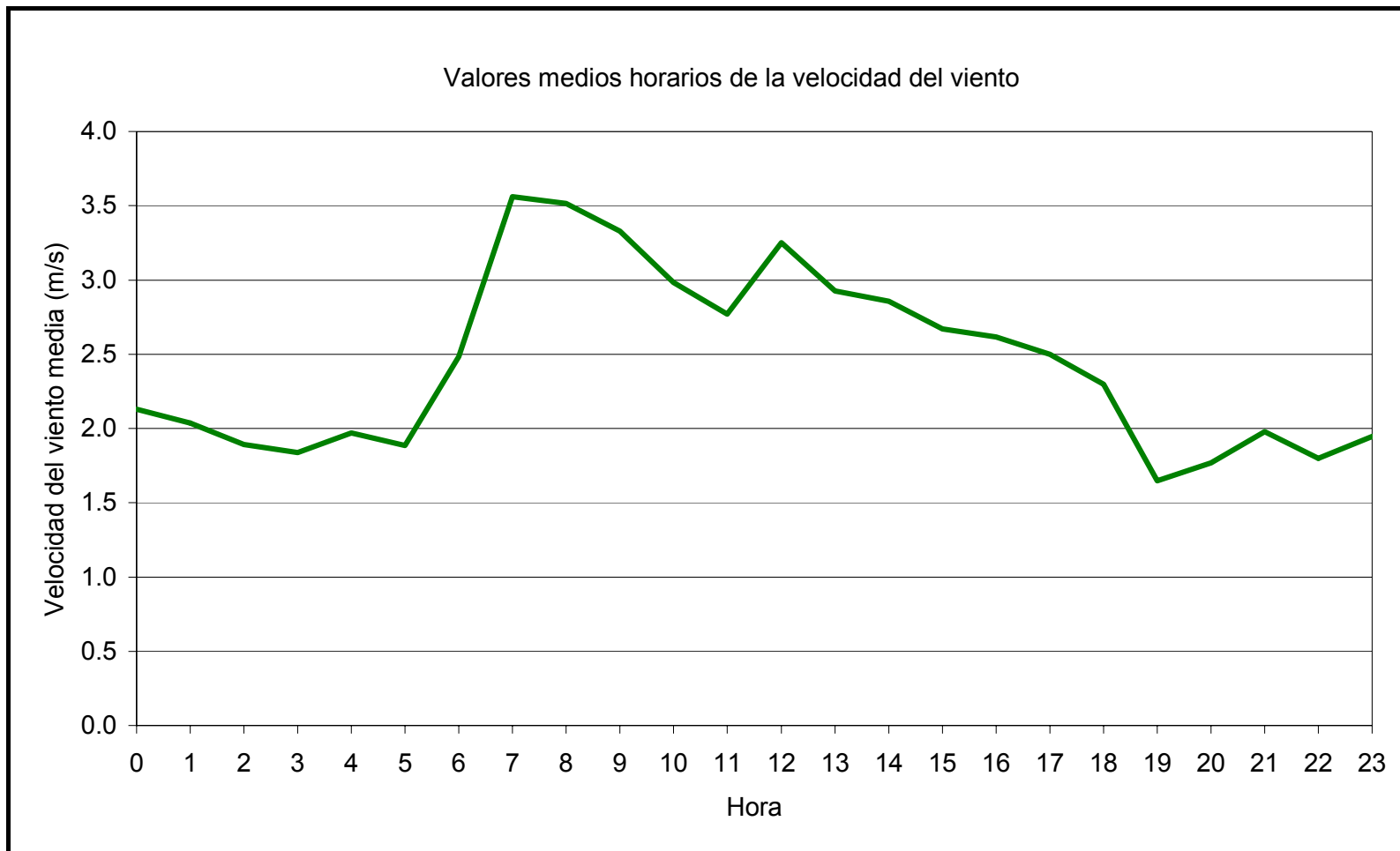
FIGURA 17. Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



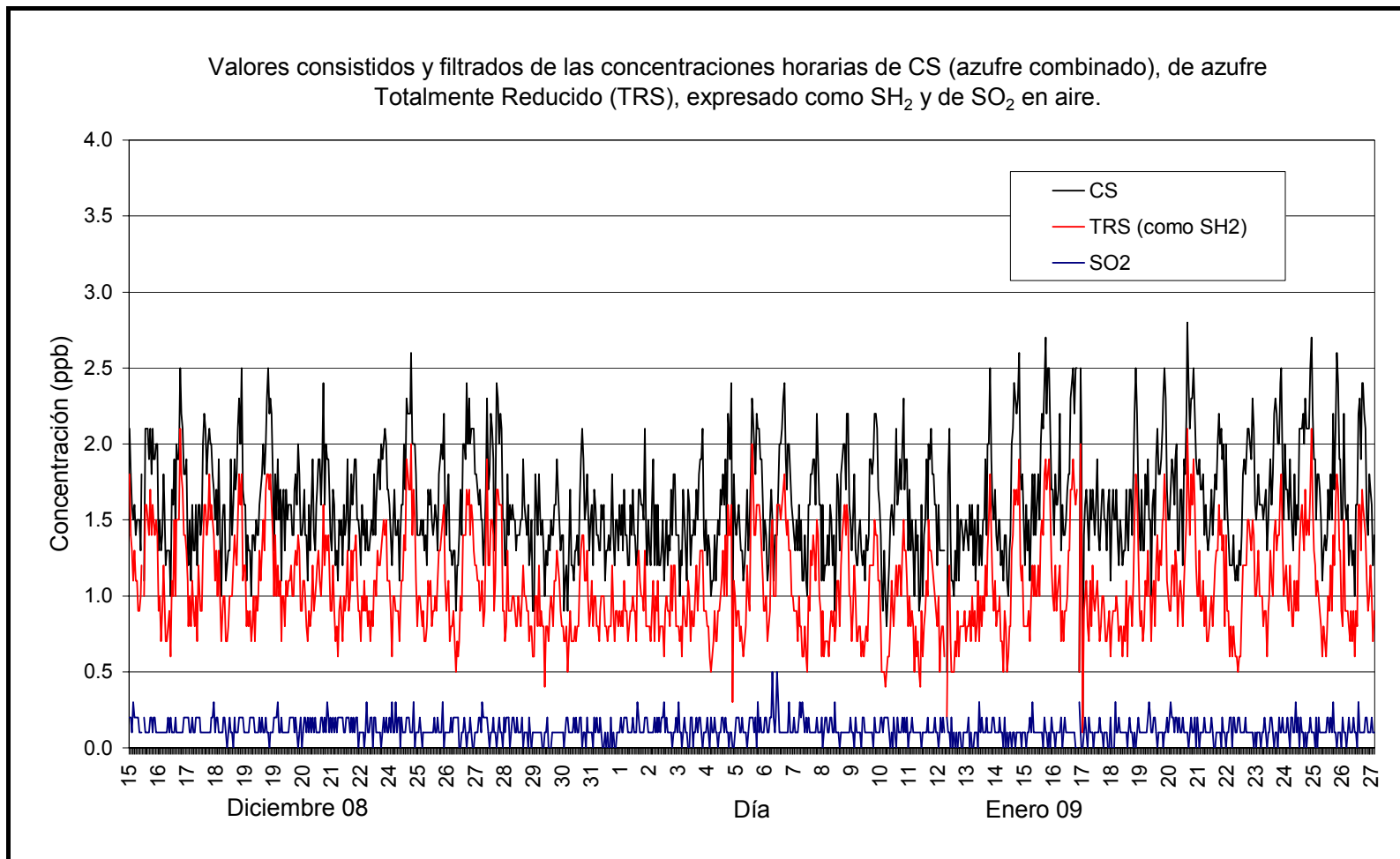
**FIGURA 18.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



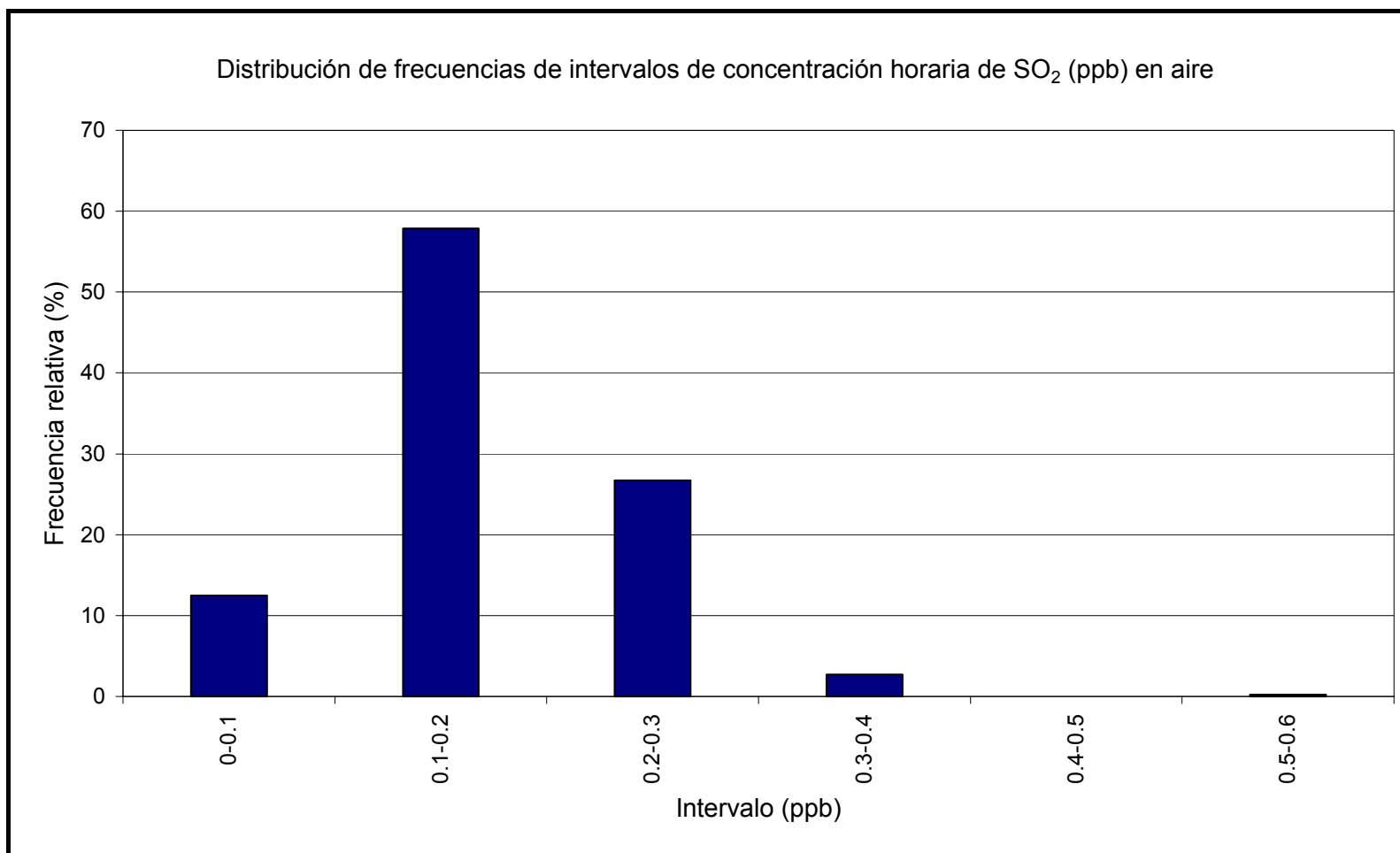
**FIGURA 19.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



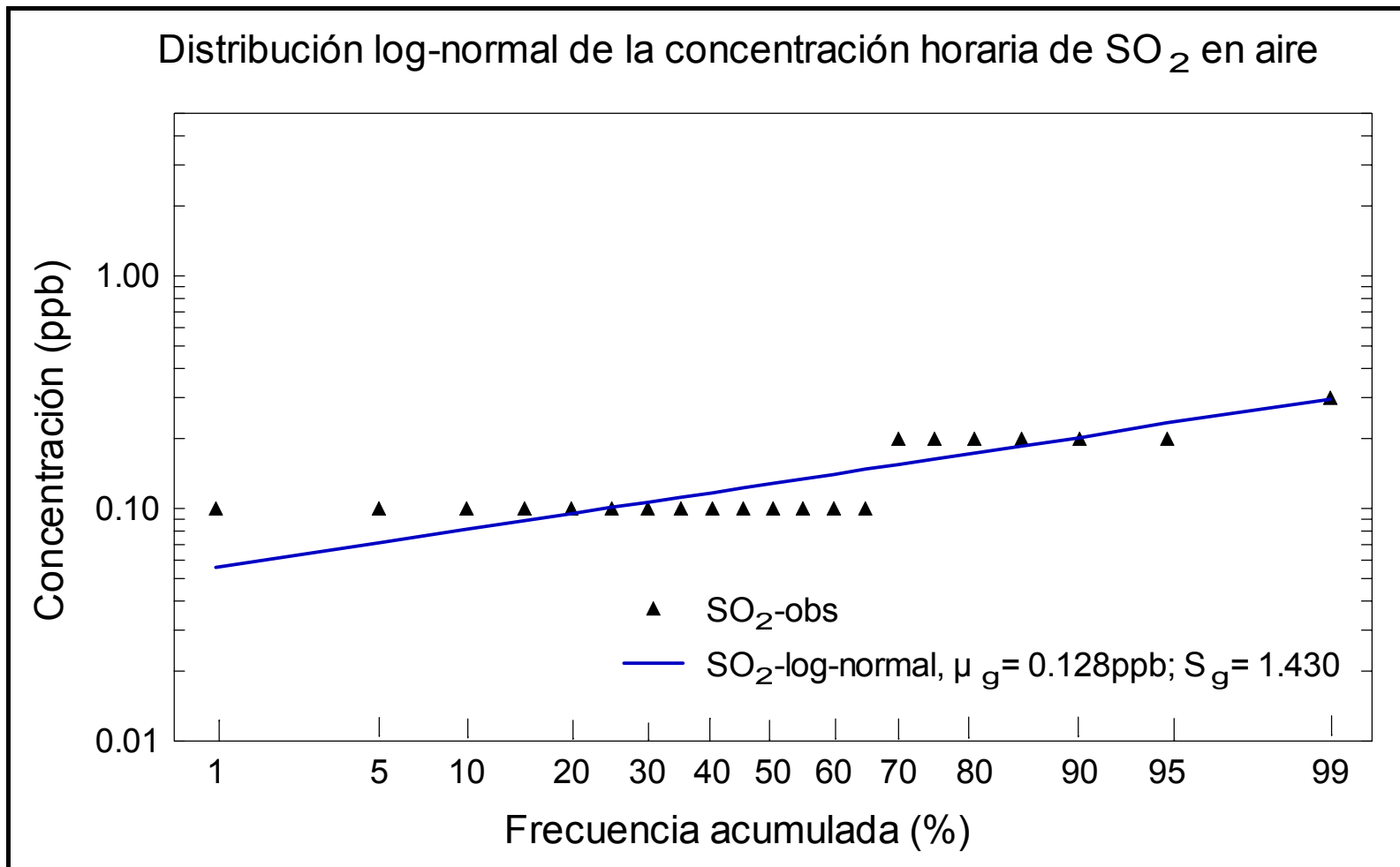
**FIGURA 20.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



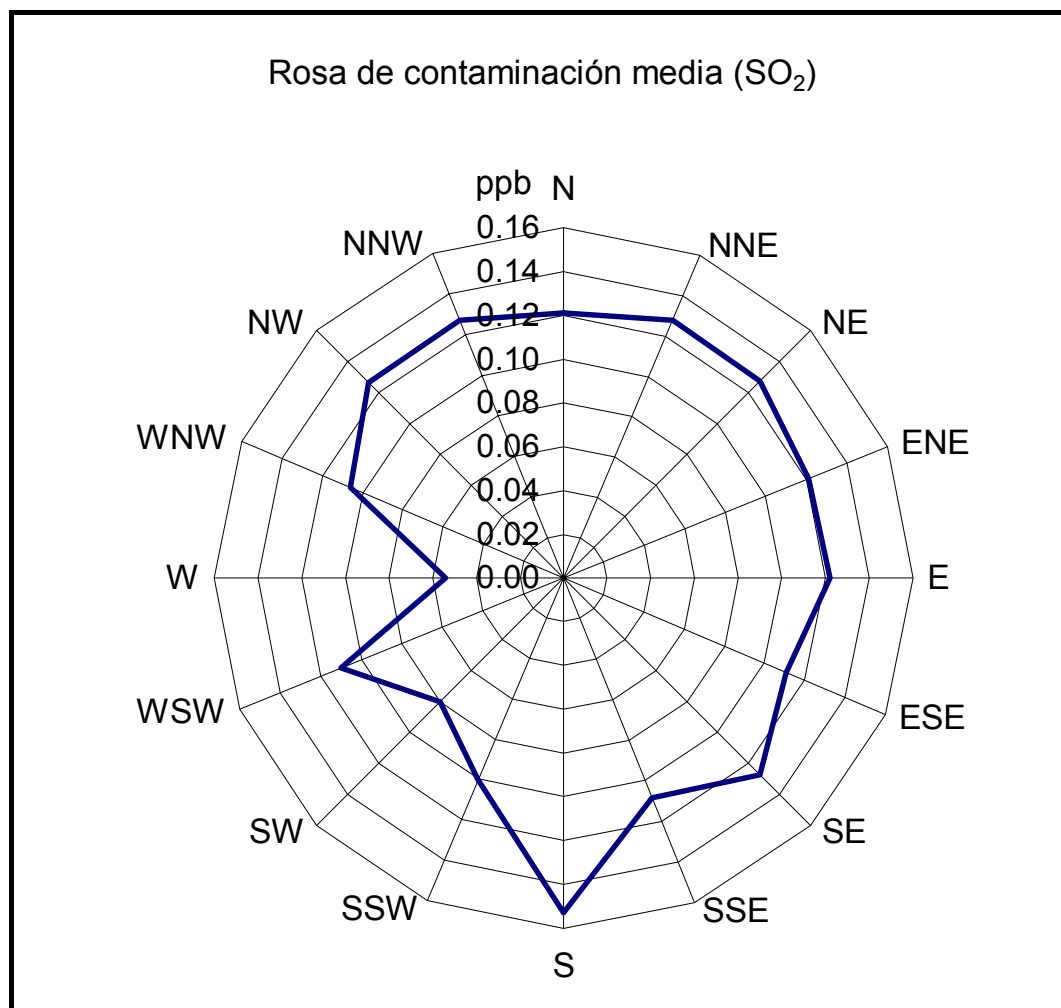
**FIGURA 21.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



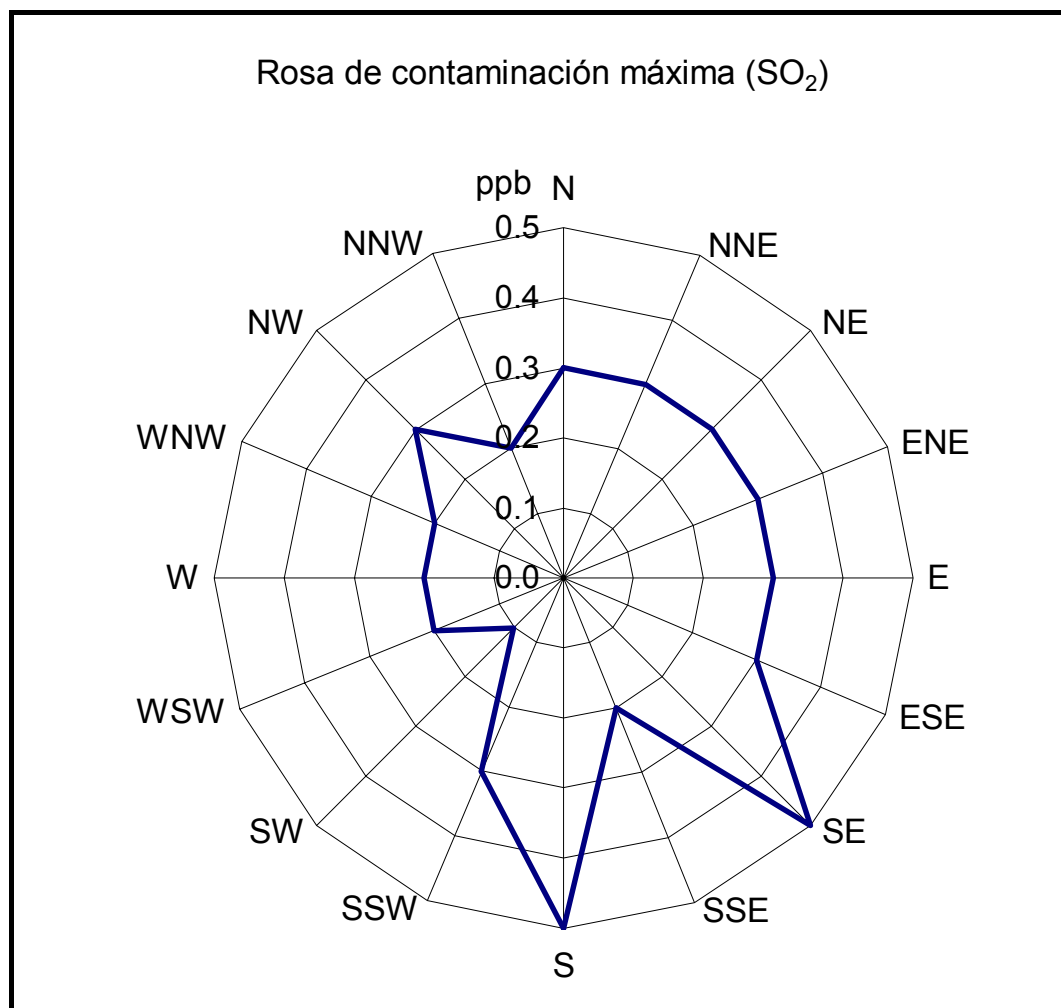
**FIGURA 22.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



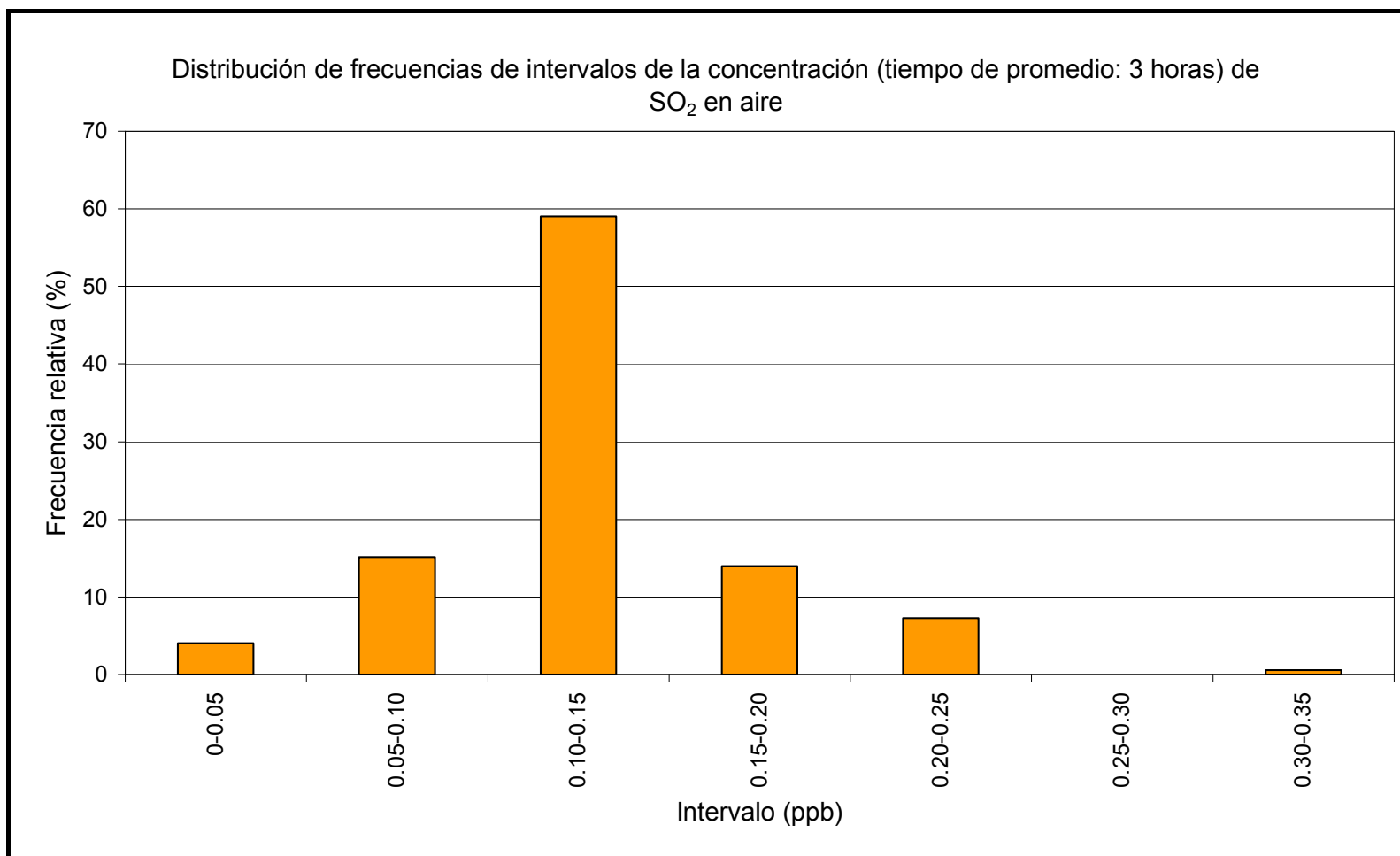
**FIGURA 23.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



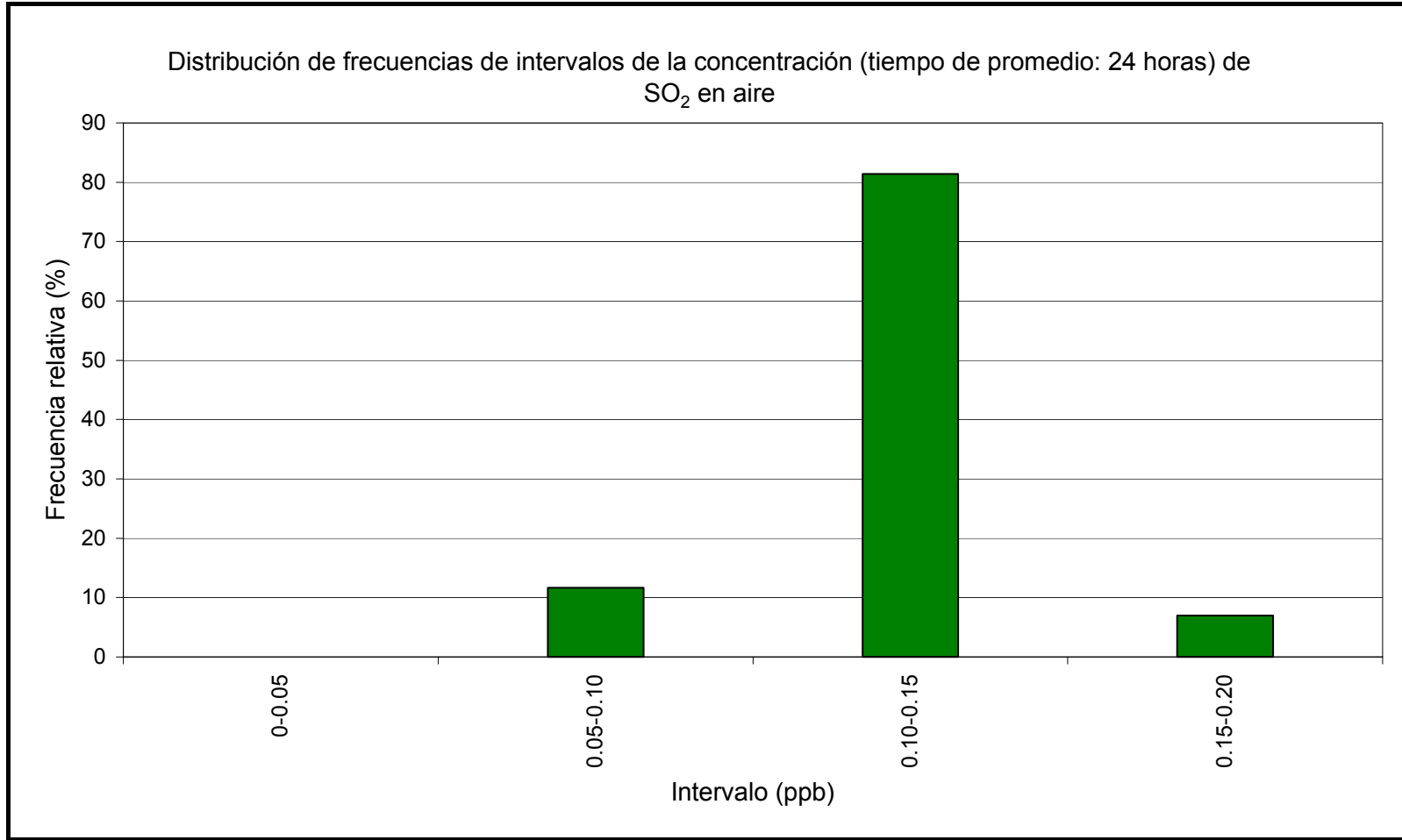
**FIGURA 24.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



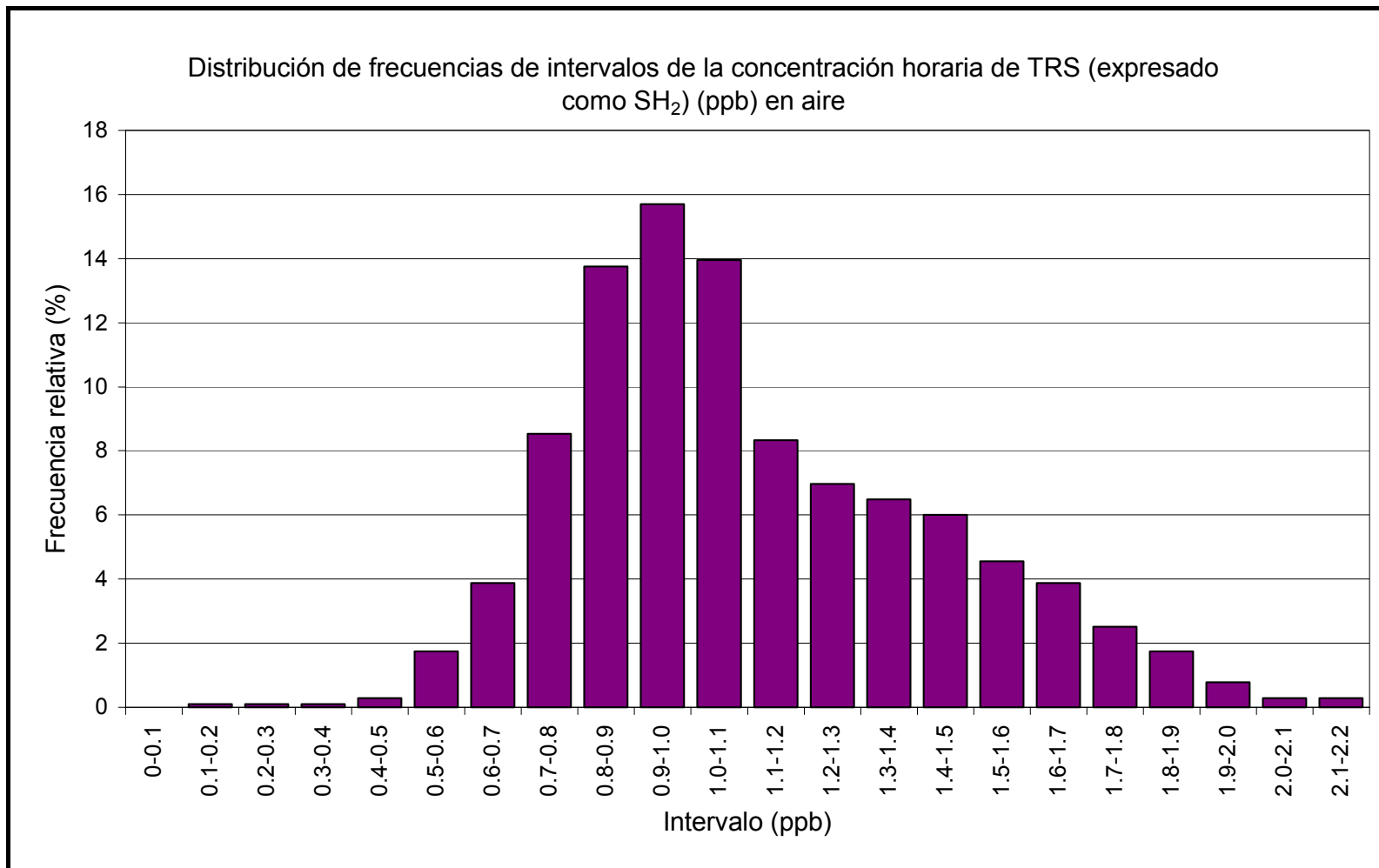
**FIGURA 25.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



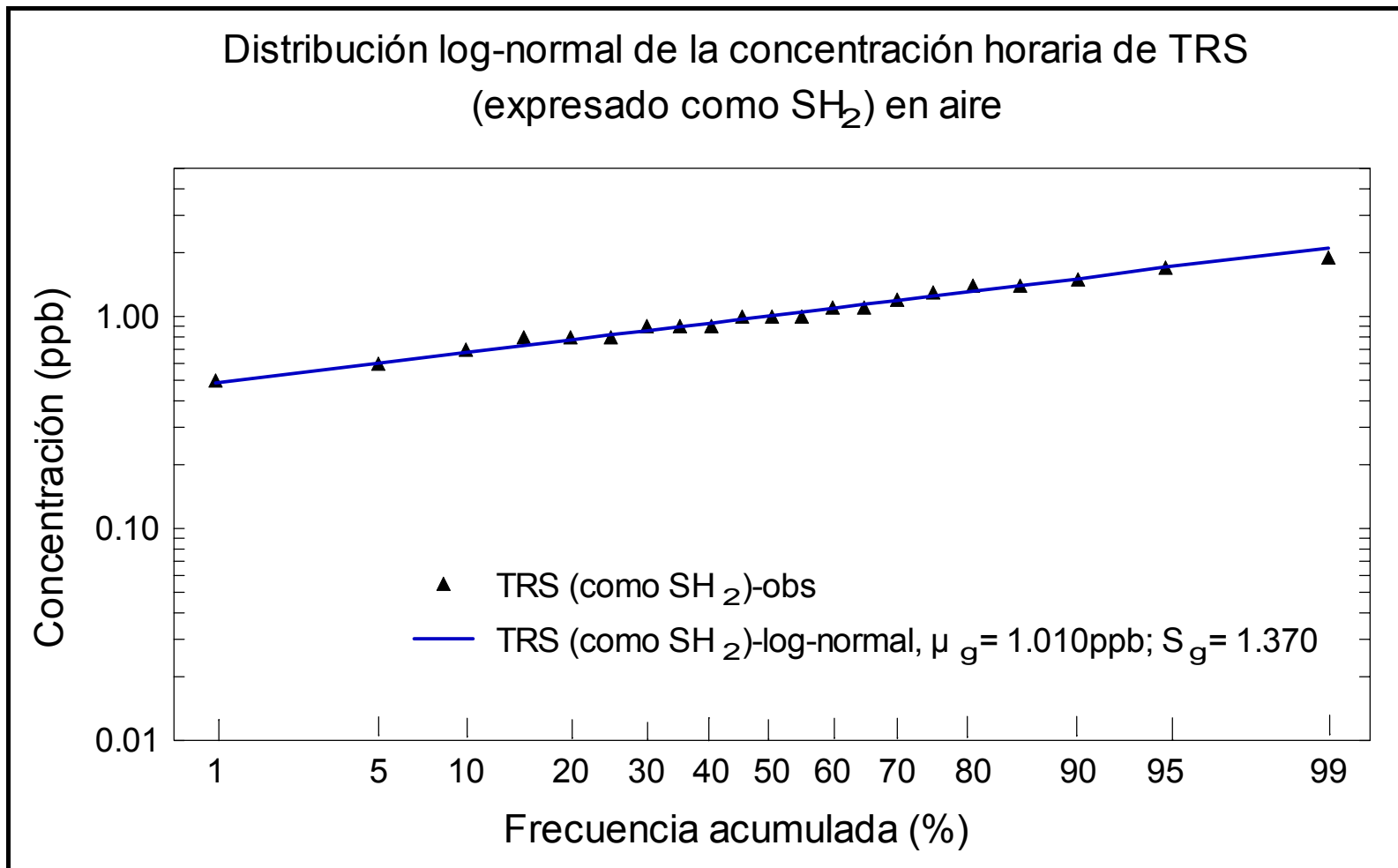
**FIGURA 26.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



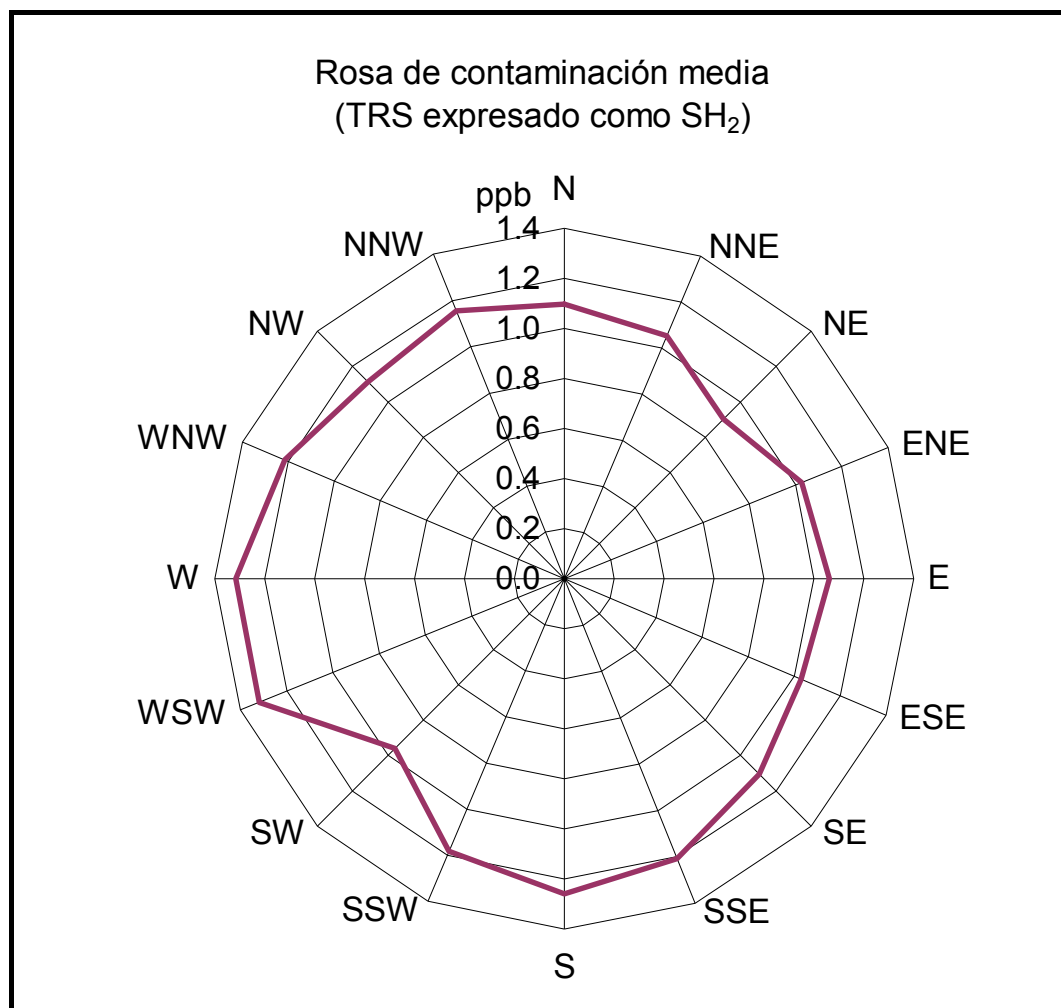
**FIGURA 27.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



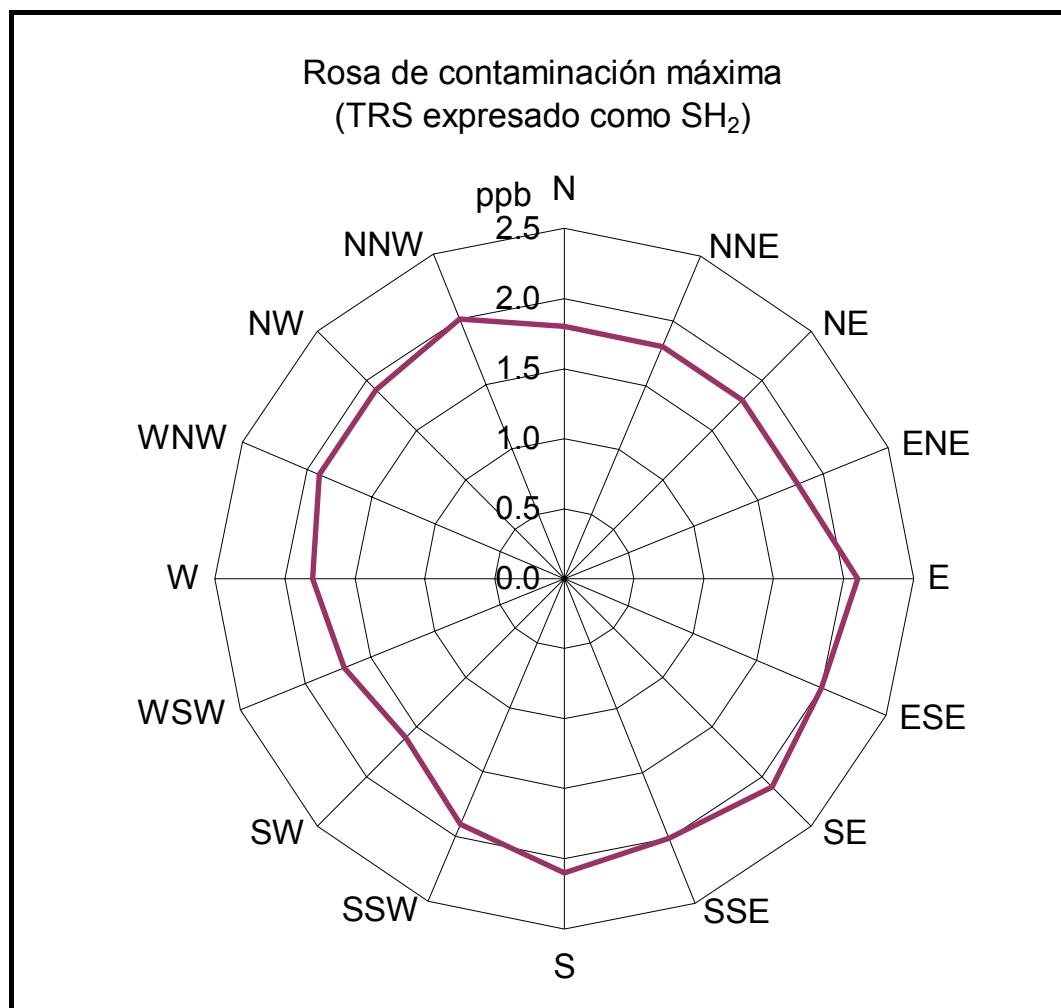
**FIGURA 28.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



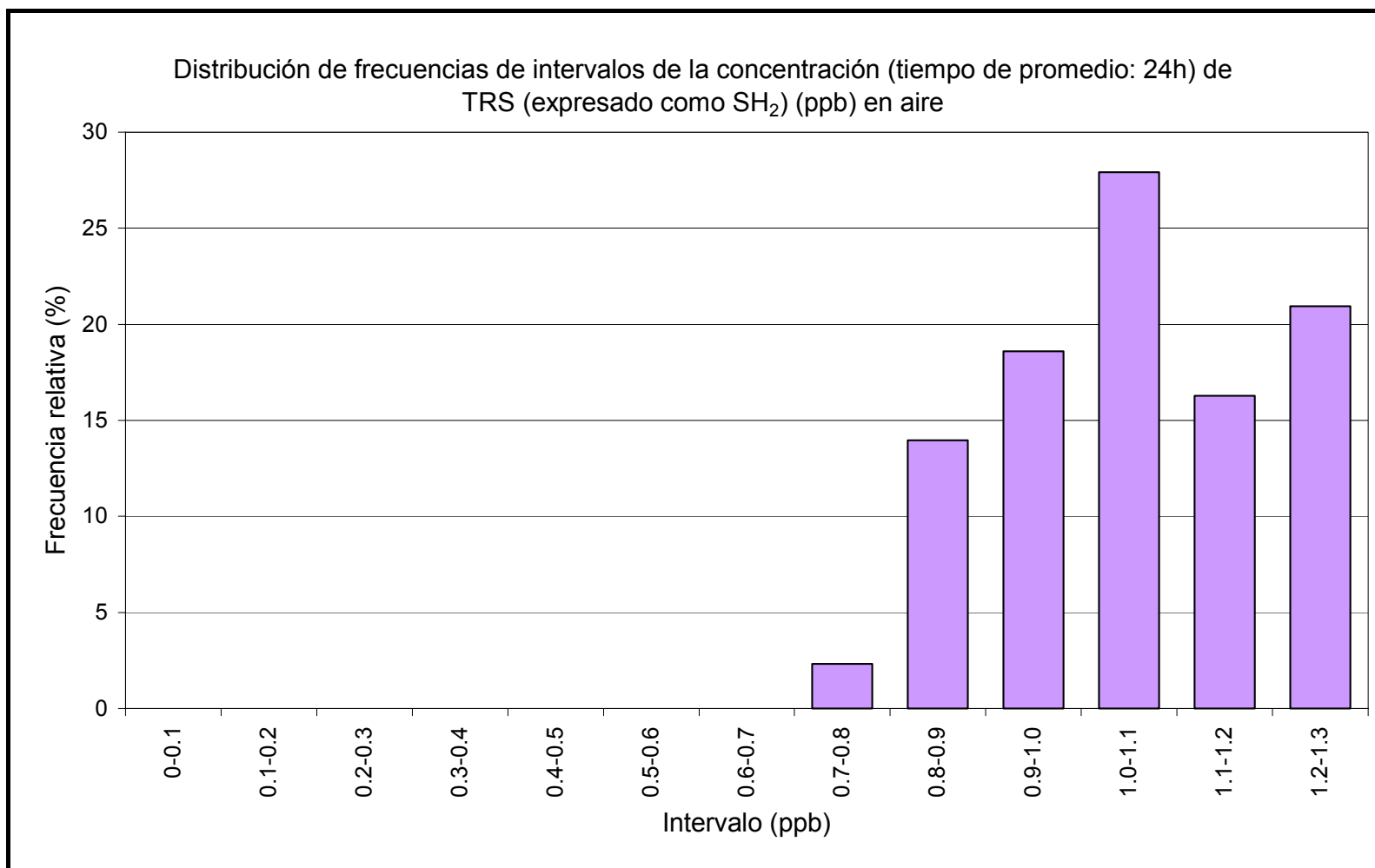
**FIGURA 29.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



**FIGURA 30.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



**FIGURA 31.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00



**FIGURA 32.** Período: 15/12/08, 19:00 – 31/01/09, 23:00