

# **INFORME**

## **ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN AIRE MEDIDOS EN LA ZONA DE ÑANDUBAYSAL (PROVINCIA DE ENTRE RÍOS)**

## **1. Análisis de los datos de concentración de dióxido de azufre en aire medidos en la zona de Ñandubaysal (Provincia de Entre Ríos)**

Entre el 11 de octubre de 2007 a las 02:00hs y el 30 de noviembre de 2007 a las 24:00hs, el sensor muestreador-analizador (marca Termo) de dióxido de azufre efectuó mediciones concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> en aire a nivel del suelo en las cercanías de Ñandubaysal (Provincia de Entre Ríos). La tecnología de medición de este equipo se basa en la fluorescente pulsada.

En este Informe se analizan los valores de concentración de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo determinados entre las fechas y horas anteriormente mencionadas.

En algunas oportunidades, por diferentes motivos, principalmente por cortes en el suministro de energía eléctrica y para calibración, el sensor dejó de operar. 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.

Luego del proceso de consistencia y de depuración de los datos quedaron 1009 valores horarios de concentración de SO<sub>2</sub> en aire.

La planta Botnia de producción de pasta de celulosa localizada cerca de Fray Bentos (República Oriental del Uruguay) inició su funcionamiento el 10 de noviembre de 2007 a las 10:30hs.

Debido a ello, para su análisis y comparación se agruparon los datos en dos períodos: antes y después de la entrada en funcionamiento de la planta.

En las Figuras 1 y 2 se encuentran graficadas las variaciones temporales de la concentración horaria (ppb) de dióxido de azufre en aire correspondientes a los dos grupos de datos, respectivamente. En esas Figuras, se encuentran señalados los valores medios de la concentración de dióxido de azufre en aire correspondientes a cada uno de los períodos considerados, antes y posterior a la puesta en marcha de la planta.

En la siguiente Tabla se incluyen los valores de diferentes parámetros estadísticos de las series de 626 valores medidos de la concentración horaria de dióxido de

azufre en aire correspondientes al grupo “antes” del funcionamiento de la planta y de 383 valores representativos del grupo “durante” de la puesta en marcha de la misma.

<b>Parámetro</b>	<b>Antes del funcionamiento</b>	<b>Durante el funcionamiento</b>
Número de datos	626	383
Promedio	0.445141ppb	0.453425ppb
Valor máximo	1.195ppb	1.341ppb
Valor mínimo	0.147ppb	0.152ppb
Desvío estándar	0.198108ppb	0.213050ppb
Mediana	0.424ppb	0.404ppb
Coefficiente de asimetría	1.073512	1.646043
Coefficiente de curtosis	1.297612	3.187127

En las Figuras 3 y 4 se presentan las distribuciones de frecuencias de los valores de concentración horaria de SO<sub>2</sub> en aire para los datos correspondientes a los grupos anterior y posterior a la puesta en marcha de la planta, respectivamente.

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

a) Grupo antes de la puesta en marcha

a) media geométrica ( $\mu_g$ ): 0.405ppb y b) desviación estándar geométrica ( $S_g$ ): 1.543.

b) Grupo posterior a la puesta en marcha

a) media geométrica ( $\mu_g$ ): 0.414ppb y b) desviación estándar geométrica ( $S_g$ ): 1.521.

En la Figuras 5 se presentan las representaciones gráficas de las distribuciones de frecuencias acumuladas observadas ajustadas a representaciones log-normal, de los valores horarios de la concentración de SO<sub>2</sub> en aire para los datos correspondientes a los grupos anterior y posterior a la puesta en marcha de la planta.

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 (ver Figuras 6 y 7) para los períodos anterior y posterior a la puesta en marcha de la planta. En estas rosas se utilizaron 586 y 383 valores horarios de concentración de SO<sub>2</sub> en aire a nivel del suelo, respectivamente. En el primer período, el mayor valor de la concentración media de dióxido de azufre en aire corresponde a la dirección WSW con 0.53ppb y el menor valor a la dirección NE con 0.384ppb. Para las direcciones de viento que posibilitarían (si la planta hubiera estado funcionando) el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia Gualeguaychú y Ñandubaysal, el valor medio de la concentración de SO<sub>2</sub> en aire se encontraría alrededor de 0.440ppb. En

el segundo período, el mayor valor de la concentración media de dióxido de azufre en aire corresponde a la dirección S con 0.552ppb y el menor valor a la dirección NNW con 0.289ppb. Para las direcciones de viento que posibilitarían el transporte de contaminantes emitidos desde Botnia hacia Gualeguaychú y Ñandubaysal, el valor medio de la concentración de SO<sub>2</sub> en aire se encontraría alrededor de 0.518ppb.

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 Figuras 8 y 9 se presentan las distribuciones de frecuencias de las concentraciones medias (tiempo de promedio: 3 horas) de SO<sub>2</sub> en aire correspondientes a los dos períodos considerados: antes y luego de la puesta en marcha de la planta, respectivamente.

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

<b>Parámetro</b>	<b>Antes del funcionamiento</b>	<b>Durante el funcionamiento</b>
Número de datos	204	125
Promedio	0.446432ppb	0.452669ppb
Valor máximo	0.988ppb	0.960ppb
Valor mínimo	0.179ppb	0.179ppb
Desvío estándar	0.169034ppb	0.168514ppb
Mediana	0.443167ppb	0.429267ppb
Coefficiente de asimetría	0.549410	0.807859
Coefficiente de curtosis	0.030430	0.263760

El valor máximo (0.988ppb) de la concentración (período de promedio: 3 horas) representa el 0.2 % de la norma de calidad del aire correspondiente a la ciudad de Buenos Aires (Argentina), la Provincia de Buenos Aires (Argentina) y EE.UU. obtenidos para el período anterior al funcionamiento de la planta. Para el período posterior a la puesta en marcha de la planta, el respectivo valor máximo (0.960ppb) constituye el 0.19 % de ese estándar.

En la Figuras 10 y 11 se presentan las distribuciones de frecuencias de las concentraciones medias (tiempo de promedio: 24 horas) de SO<sub>2</sub> en aire correspondientes a los dos períodos considerados: antes y luego de la puesta en marcha de la planta, respectivamente.

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

<b>Parámetro</b>	<b>Antes del funcionamiento</b>	<b>Durante el funcionamiento</b>
Número de datos	26	15
Promedio	0.445567ppb	0.448844ppb
Valor máximo	0.707ppb	0.661ppb
Valor mínimo	0.244ppb	0.323ppb
Desvío estándar	0.112362ppb	0.092298ppb
Mediana	0.425229ppb	0.419000ppb
Coefficiente de asimetría	0.296486	1.231162
Coefficiente de curtosis	-0.462869	1.162630

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 (0.707ppb) determinado para el período anterior al funcionamiento de la planta es el 8.84 % del valor de dicho nivel guía. Asimismo, el valor máximo (0.661ppb) correspondiente al período posterior a la puesta en marcha de la planta constituye el 8.26 % del valor del nivel guía de calidad de aire establecido por la Organización Mundial de Salud.

Por otra parte, los valores medidos en la ciudad de Buenos Aires se encuentran entre 0.8 y 20ppb (Bogo y otros, 1999, Borthagaray y Fernández Prini, 2001). En el área industrial de Berisso-Ensenada (Prov. Buenos Aires), los valores de las concentraciones estacionales de SO<sub>2</sub> fluctuaron entre 4.0ppb y 33.0ppb (Ratto y otros, 2006). De acuerdo con el World Bank (1995) los valores de las concentraciones de dióxido de azufre en aire en la ciudad de Buenos Aires se encontraron entre 1.1 y 6.9ppb, en la ciudad de Mendoza (Prov. de Mendoza) los valores variaron entre 0.08 y 2.1 ppb y en la ciudad de Córdoba (Prov. Córdoba) el promedio anual fue 12.3ppb.

## **2. Análisis estadístico de las diferencias de las concentraciones medias de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo calculadas para los dos períodos: antes y durante el funcionamiento de la planta de producción de pasta de celulosa**

### **2.1 Valores medios de la concentración de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo para los períodos antes y luego de la puesta en marcha de la planta**

Se efectuará la comparación de los valores medios de las concentraciones horarias de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo medidas antes y luego de la puesta en marcha de la planta.

Esta comparación se realizará con el objeto de determinar si las dos muestras (antes y durante el funcionamiento de la planta) 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:

$t = -0.625594072$

Grados de libertad (N): 1007

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  $N = 1007$  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  $N = 1007$  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  $\text{SO}_2$  en aire a nivel del suelo medidas antes y durante el funcionamiento de la planta.

2.2 Valores medios por dirección de la concentración de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo en aire a nivel del suelo para los períodos antes y luego de la puesta en marcha de la planta

Los valores medios (ppb) y los desvíos estándares (ppb) de las concentraciones horaria de dióxido de azufre 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 cada dirección pertenecientes a los períodos considerados: antes y luego de la puesta en marcha de la planta, se presentan en la Tabla siguiente:

Dirección	Parámetros	Antes puesta en marcha	Posterior puesta en marcha	Grados de libertad	t	t <sub>0.995</sub>	t <sub>0.975</sub>
N	valor medio	0.441757	0.394479	35	1.2215	2.7238	2.0301
	desvío estándar	0.119527	0.095513				
NNE	valor medio	0.430871	0.389579	79	1.1657	2.6395	1.9905
	desvío estándar	0.177161	0.085763				
NE	valor medio	0.384384	0.468495	104	-2.3847	2.6262	1.9836
	desvío estándar	0.140765	0.218033				
ENE	valor medio	0.392499	0.386060	133	0.2059	2.580	1.960
	desvío estándar	0.157983	0.201380				
E	valor medio	0.442702	0.449751	89	-0.1603	2.6322	1.9870
	desvío estándar	0.181389	0.230654				
ESE	valor medio	0.440174	0.518275	45	-0.9443	2.6896	2.0141
	desvío estándar	0.183502	0.362441				
SE	valor medio	0.435370	0.531649	63	-2.1227	2.6561	1.9983
	desvío estándar	0.168305	0.188509				
SSE	valor medio	0.476321	0.543393	51	-1.1091	2.6757	2.0076
	desvío estándar	0.193330	0.231363				
S	valor medio	0.440178	0.552271	70	-1.7543	2.6479	1.9944
	desvío estándar	0.238131	0.254406				
SSW	valor medio	0.495724	0.459258	71	0.6070	2.6469	1.9939
	desvío estándar	0.237104	0.172638				
SW	valor medio	0.528518	0.436988	62	1.9740	2.6575	1.9990
	desvío estándar	0.170973	0.174675				
WSW	valor medio	0.530052	0.472869	32	0.8147	2.7385	2.0369
	desvío estándar	0.223750	0.128483				
W	valor medio	0.399178	0.323625	11	0.8002	3.1058	2.2010
	desvío estándar	0.163651	0.087375				
WNW	valor medio	0.493678	0.398475	20	0.7070	2.8453	2.0860
	desvío estándar	0.253631	0.084840				
NW	valor medio	0.428043	0.418400	39	0.1229	2.7079	2.0227
	desvío estándar	0.181995	0.292086				
NNW	valor medio	0.505445	0.289175	33	1.8551	2.7333	2.0345
	desvío estándar	0.222192	0.120990				

Con un ensayo bilateral a los niveles de significación de 0.01 (1%) y 0.05 (5%), no se puede rechazar la hipótesis de que no existe una diferencia esencial entre los valores medios de la concentración horaria en aire de dióxido de azufre en aire a nivel del suelo para los períodos considerados (antes y después de la puesta en marcha de la planta) cuando las direcciones del viento son: N, NNE, ENE, E, ESE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW y NNW.

Cuando las direcciones del viento son NE y SE, con el ensayo bilateral al nivel de significación de 0.01 (1%), 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 medidas antes y luego de la puesta en marcha de la planta. 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.

### **3. 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 particularidades 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 y sus fuentes de emisión están determinadas 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 (Pasquill y Smith, 1983)

Uno de los efectos de la velocidad del viento es diluir continuamente los contaminantes emitidos desde fuentes puntuales 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 el 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 orígenes 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).

En las Figuras que se presentan y comentan a continuación, se pueden observar para diferentes direcciones del viento, distintos valores de la frecuencia de la dirección del viento, de la velocidad media del viento y de la temperatura media del aire correspondientes a los períodos anterior y posterior a la puesta en marcha de la planta.

Los números de datos horarios utilizados en el análisis de la dirección del viento, de la velocidad del viento y de la temperatura del aire coincidentes con las mediciones de dióxido de azufre en aire fueron 586 para el período previo al funcionamiento y 383 para el período posterior a la puesta en marcha de la planta.

En las Figuras 12 y 13 se presentan las distribuciones de frecuencias de direcciones del viento correspondientes a los dos períodos. En el período anterior a la puesta en marcha de la planta se observa que las direcciones de viento más frecuentes son ENE (11.93%) y NE (11.60%) y las menos frecuentes corresponden al WNW (3.07%) y W (1.54%). En la etapa correspondiente al funcionamiento de la planta, las direcciones de viento más frecuentes son ENE (16.97%) y SW (10.98%) y las menos frecuentes corresponden al W, WNW y NNW (1.04%). No se presentaron casos con calmas.

La dirección del viento que transportaría los contaminantes emitidos desde Botnia hacia Gualeguaychú (Provincia de Entre Ríos) es  $112^\circ$  (~ ESE), respecto del N. La frecuencia de esta dirección del viento para el período previo a la puesta en marcha de la planta es 4.60% y para el período de funcionamiento es 5.20%. Las direcciones fueron consideradas agrupadas en sectores de  $22.5^\circ$ . Suponiendo una distribución de direcciones equi-espaciadas en cada sector y que los contaminantes son transportados hacia Gualeguaychú si la dirección del viento abarca un ángulo de  $5^\circ$ , las frecuencias correspondientes al primer y al segundo período se ajustarían a 1.02% y 1.16%, respectivamente.

Por lo tanto, las frecuencias de las direcciones del viento que transportarían los contaminantes emitidos desde Botnia hacia Ñandubaysal (Provincia de Entre Ríos), también, corresponderían a 1.02% y 1.16%.

En las Figuras 14 y 15 se presentan las velocidades medias del viento por dirección, para los períodos anterior y posterior a la puesta en marcha de la planta, respectivamente. Las diferencias más importantes entre las velocidades medias durante y anterior al funcionamiento se presentan en las direcciones W (-51.0%) y N (49.3%). La menor diferencia se presentó en la dirección SSW (-0.9%). Para la dirección ESE la diferencia entre las velocidades medias después y antes del inicio de las operaciones de la planta fue 11.4%.

En las Figuras 16 y 17 se encuentran graficadas las temperaturas medias del aire por dirección, para los períodos anterior y posterior a la puesta en marcha de la planta, respectivamente. Las diferencias más grandes entre las temperaturas medias durante y anterior al funcionamiento de la planta se presentan en las

direcciones NNW (-14.0%) y SSE (23.0%). La menor diferencia se presentó en la dirección ESE (0.9%).

Por lo tanto, se puede encontrar la existencia de variabilidad de las condiciones atmosféricas antes y luego de la puesta en marcha de la planta.

Es recomendable un mayor período de detección 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

- Borthagaray J. M. y Fernández Prini, R. 2001. Diagnóstico Ambiental del Área Metropolitana de Buenos Aires. Sistema de Información Ambiental. Ediciones de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. UBA.
- Bogo H., Negri R. M. and San Román E. 1999. Continuous measurement of gaseous pollutants in Buenos Aires City. *Atmos. Env.* 33, 2587-2598.
- CEPIS. 1984. Análisis e interpretación de datos de vigilancia del aire. Documentos Técnicos N° 9. Lima, Perú.
- Pasquill F. Smith F. B. 1983. Atmospheric Diffusion. Ellis Horwood Limited-John Wiley & Sons. NY.
- Ratto G., Videla F., Reyna Almandos J., Maronna R., Schinca D. 2006. Study of meteorological aspects and urban concentration of SO<sub>2</sub> in atmospheric environment of La Plata, Argentina. *Env. Mon. Assess.* 121, 327-342.
- Seinfeld J. H. and Pandis S. N. 2006. Atmospheric Chemistry and Physics. John Wiley & Sons, Inc. NY.
- World Bank, 1995. Argentina. Managing Environmental Pollution: Issues and Options. Report N° 14070-AR.

# FIGURAS

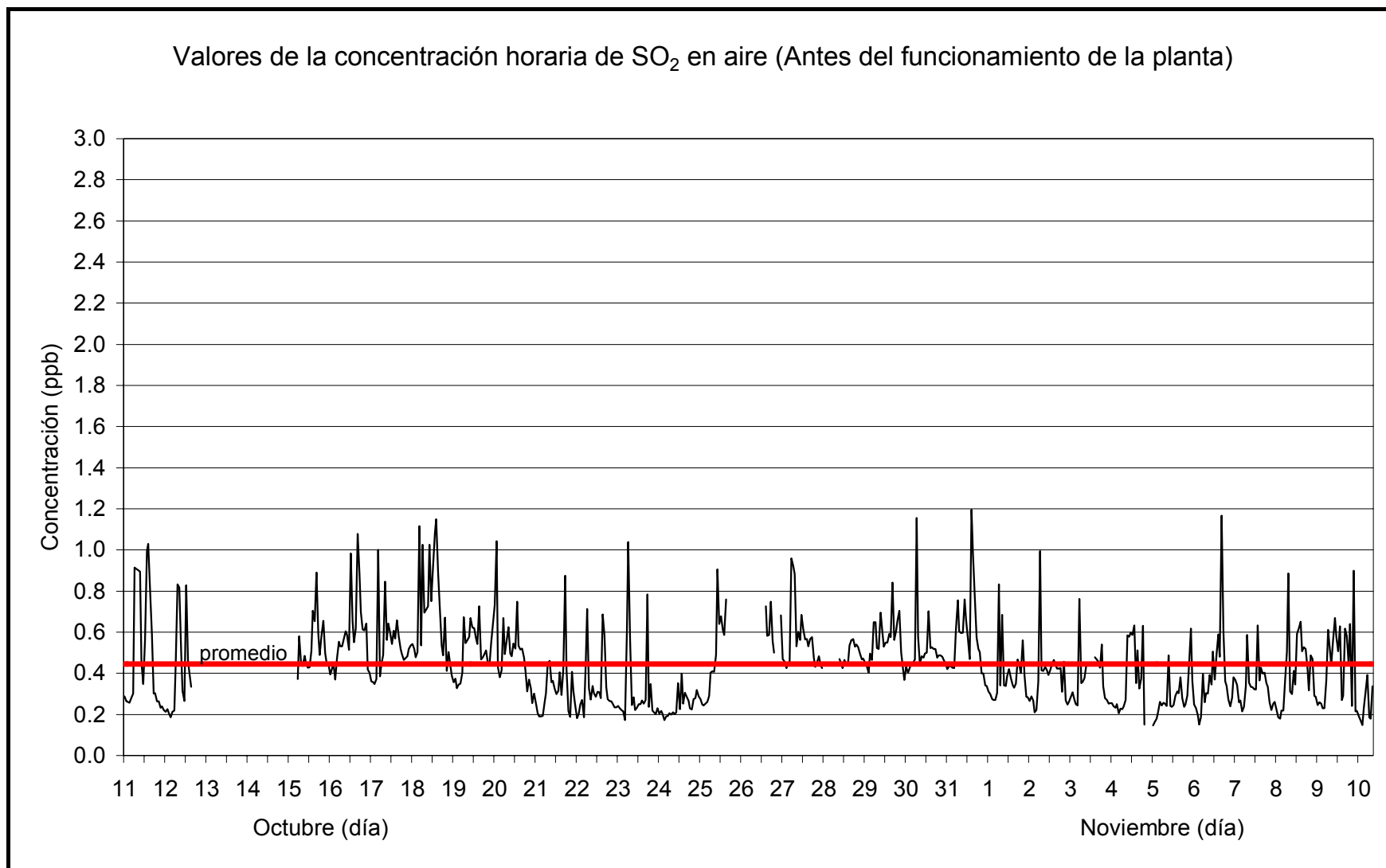
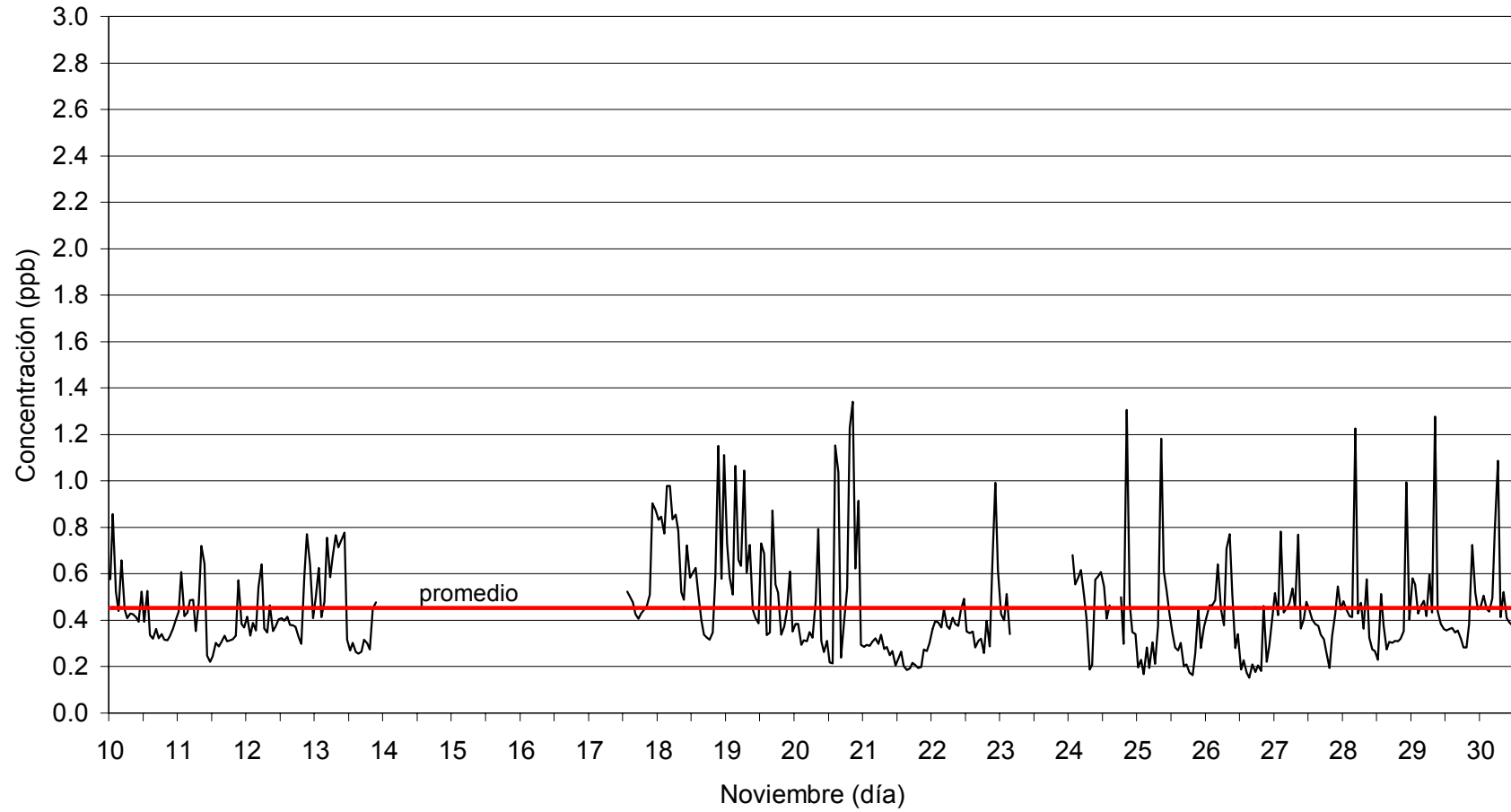
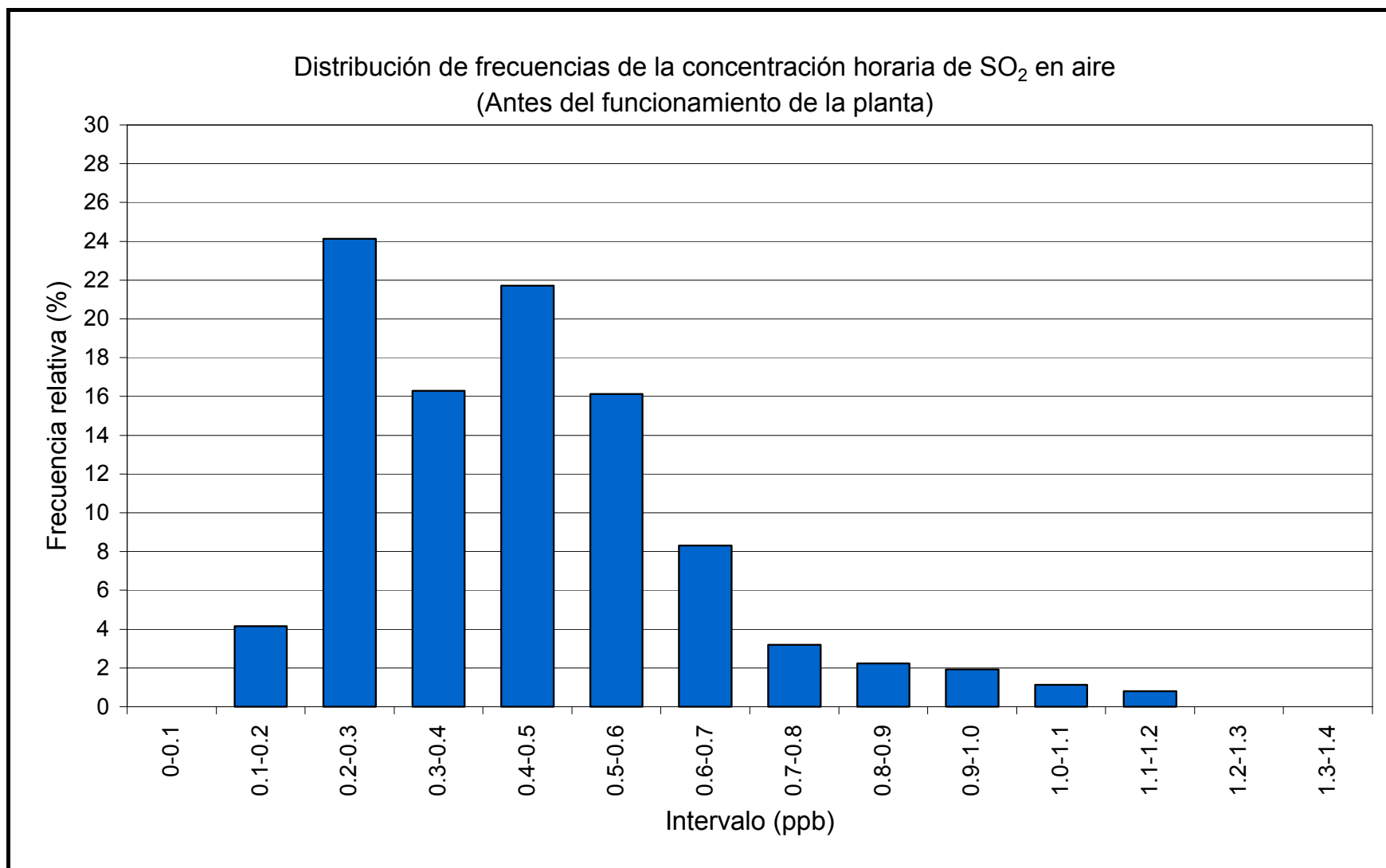


FIGURA 1

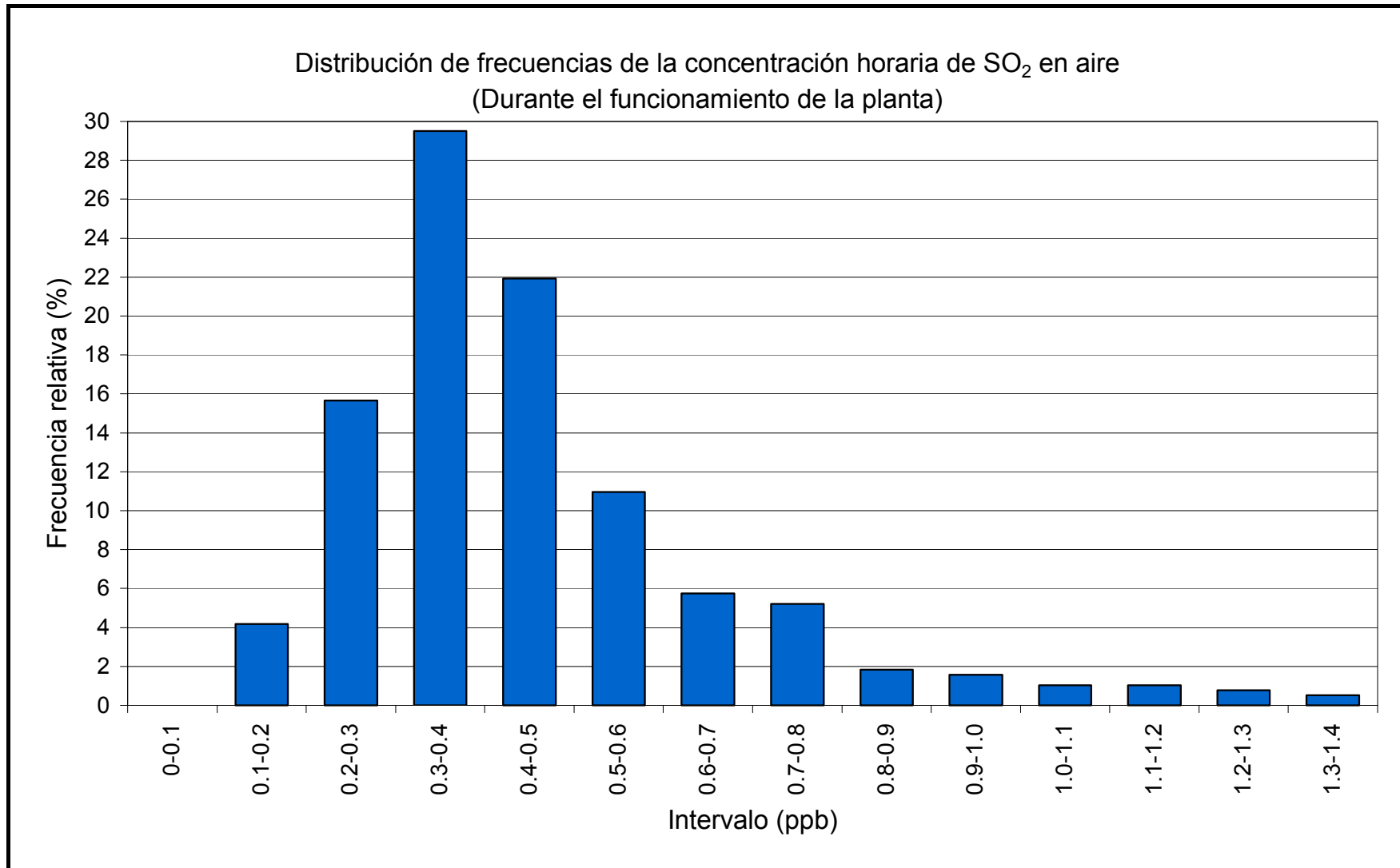
Valores de la concentración horaria de SO<sub>2</sub> en aire (Durante el funcionamiento de la planta)



**FIGURA 2**



**FIGURA 3**



**FIGURA 4**

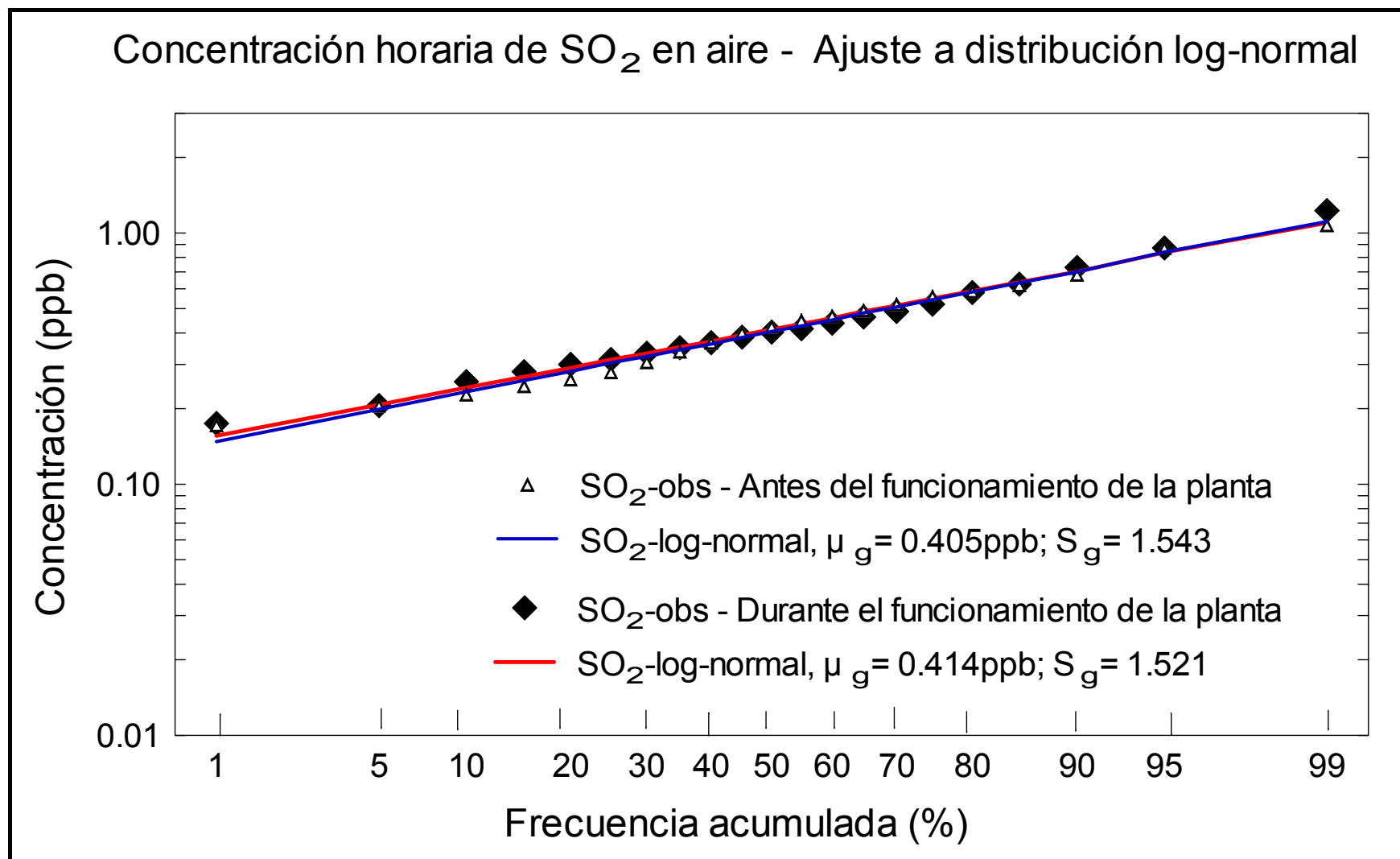


FIGURA 5

Rosa de contaminación  
(Antes del funcionamiento de la planta)  
Concentraciones medias de SO<sub>2</sub> (ppb)

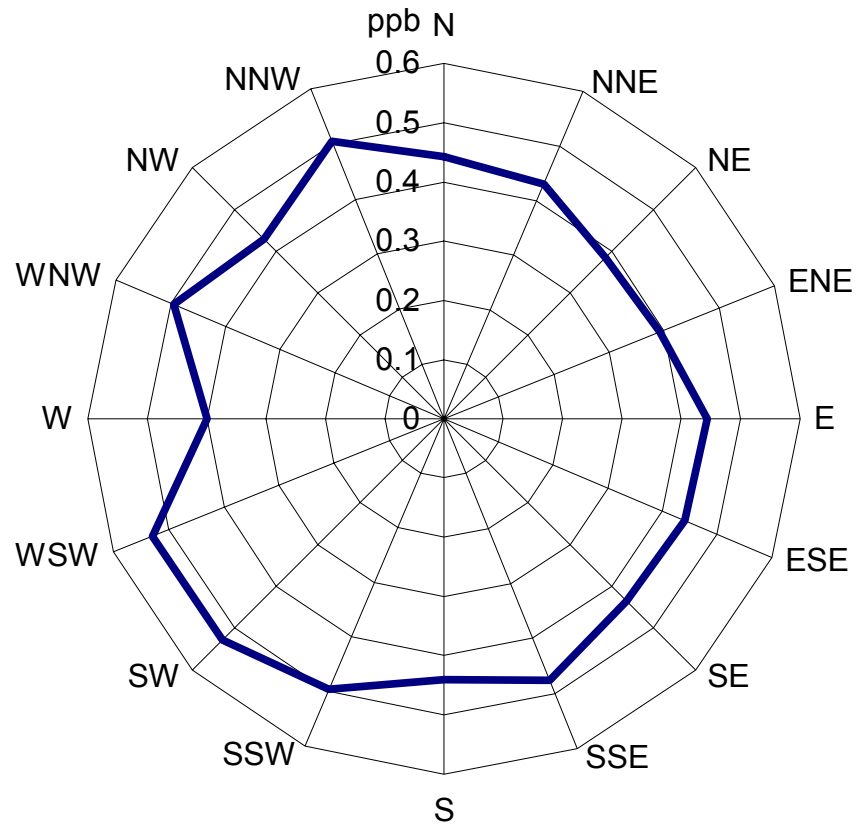


FIGURA 6

Rosa de contaminación  
(Durante el funcionamiento de la planta)  
Concentraciones medias de SO<sub>2</sub> (ppb)

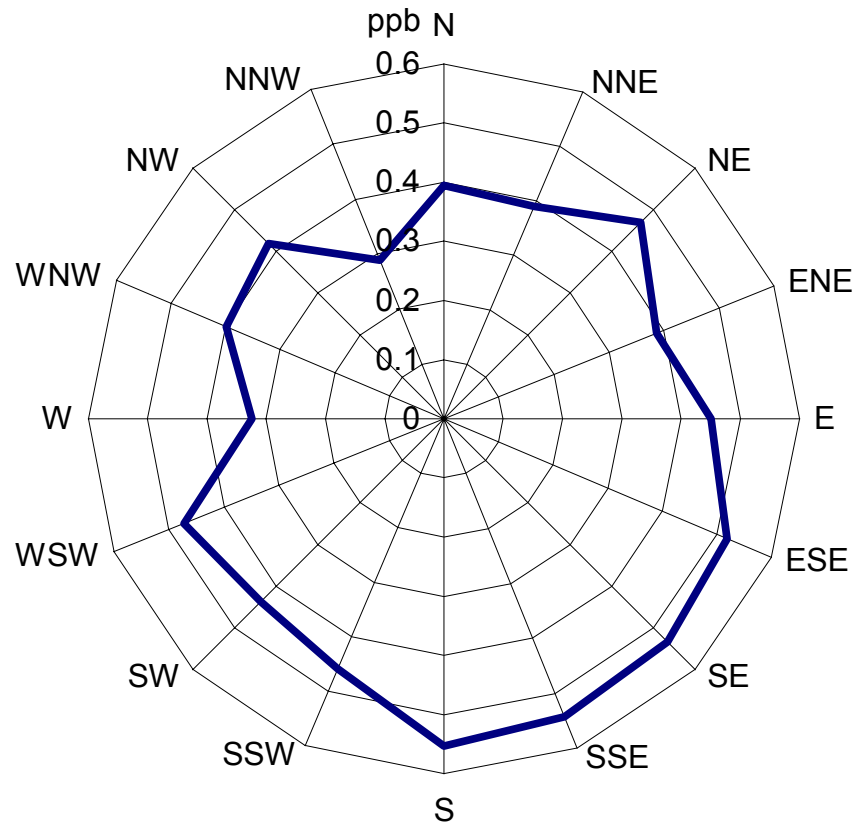
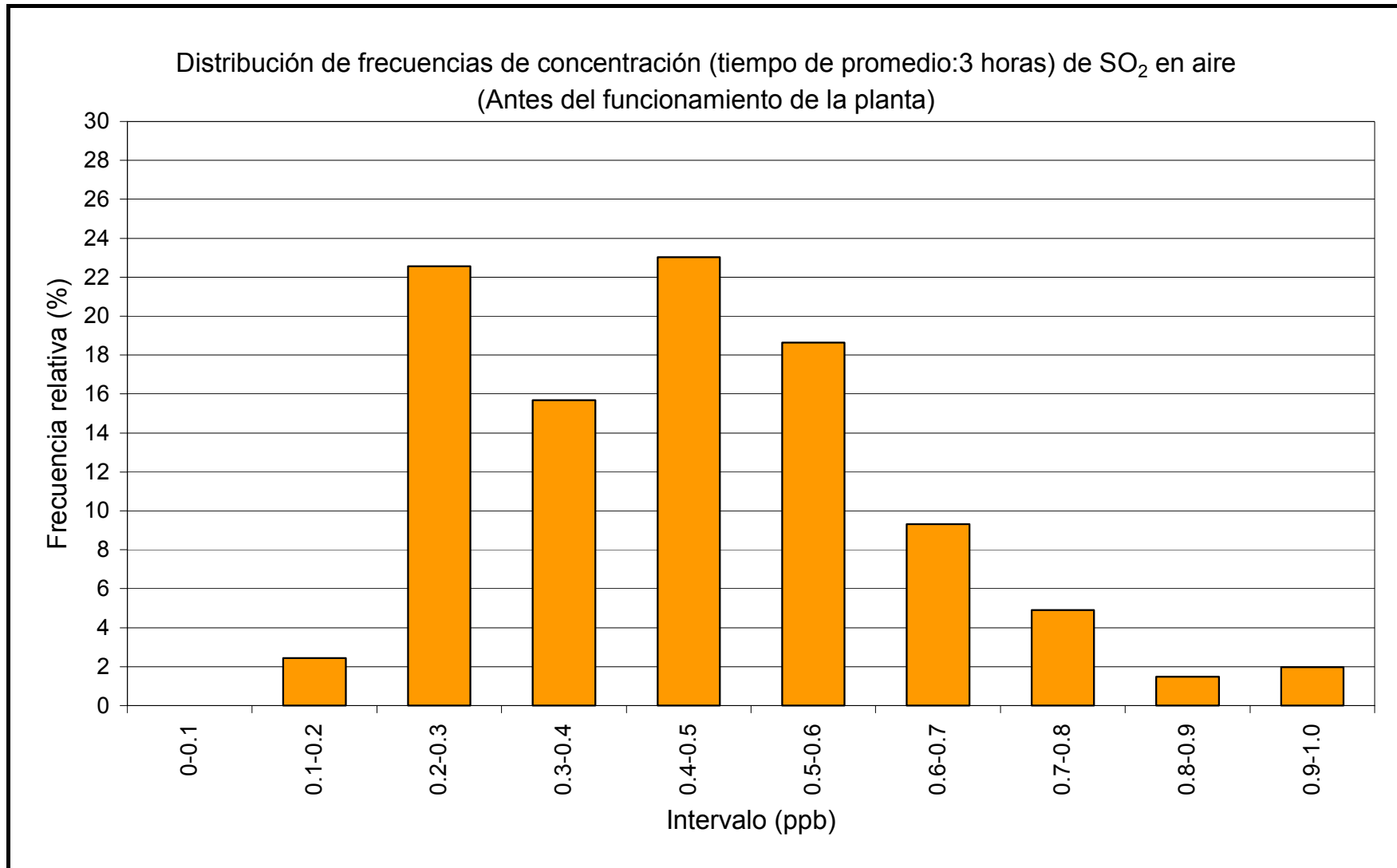
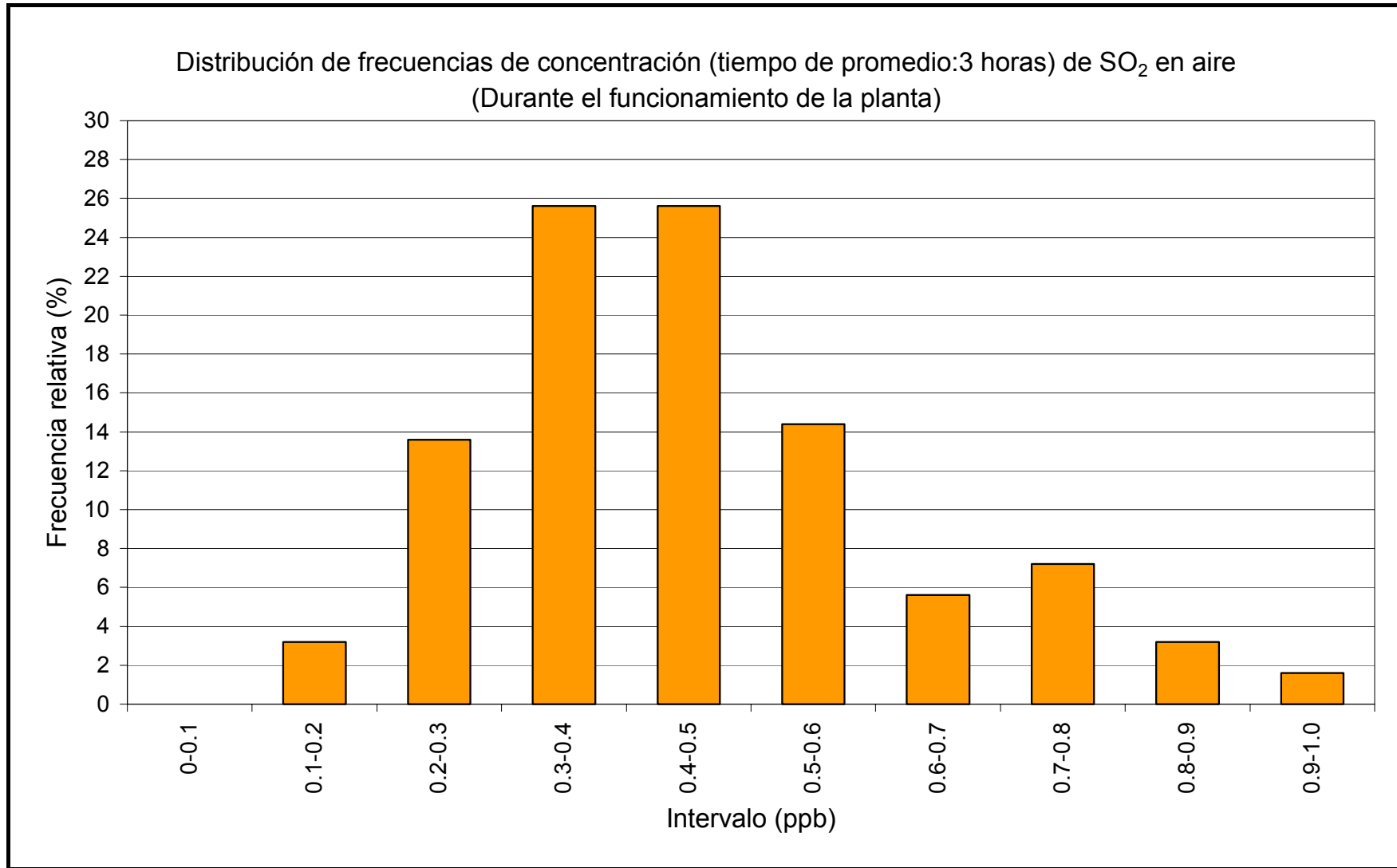


FIGURA 7



**FIGURA 8**



**FIGURA 9**

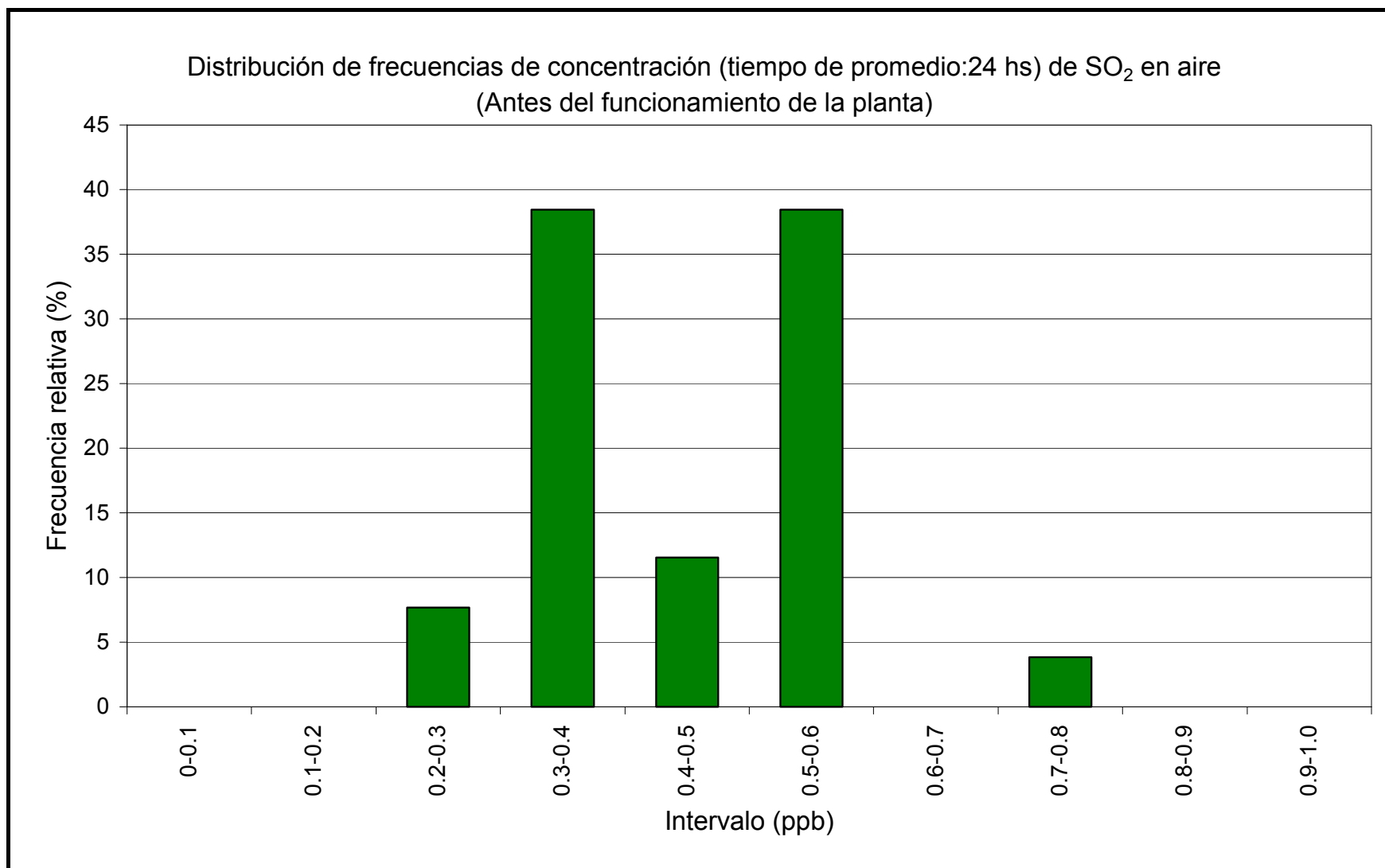


FIGURA 10

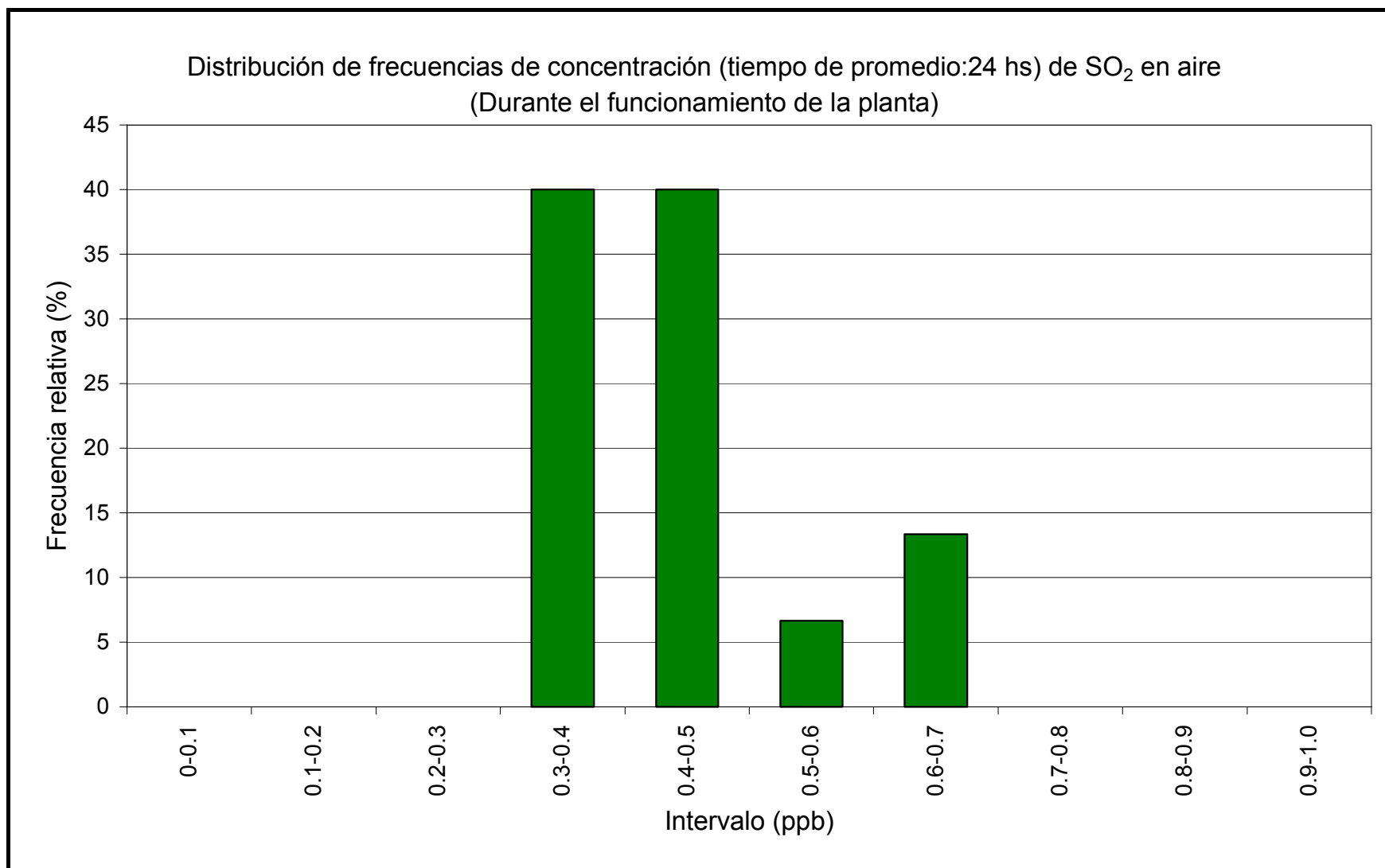


FIGURA 11

Rosa de viento  
(Antes del funcionamiento de la planta)

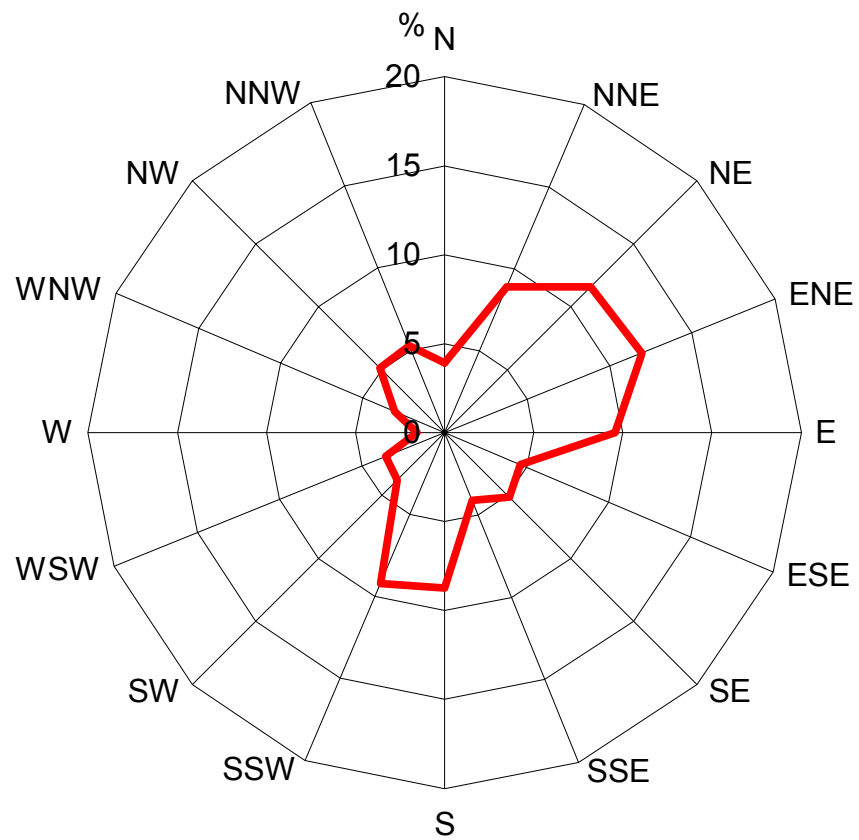


FIGURA 12

Rosa de viento  
(Durante el funcionamiento de la planta)

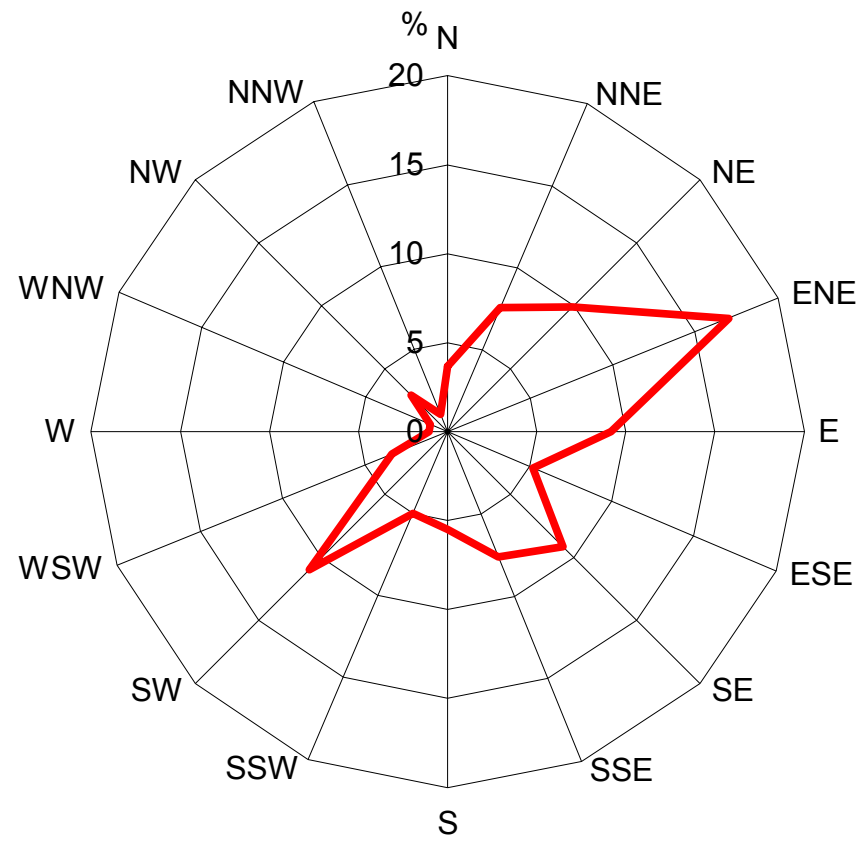


FIGURA 13

Velocidad media (m/s) del viento por dirección  
(Antes del funcionamiento de la planta)

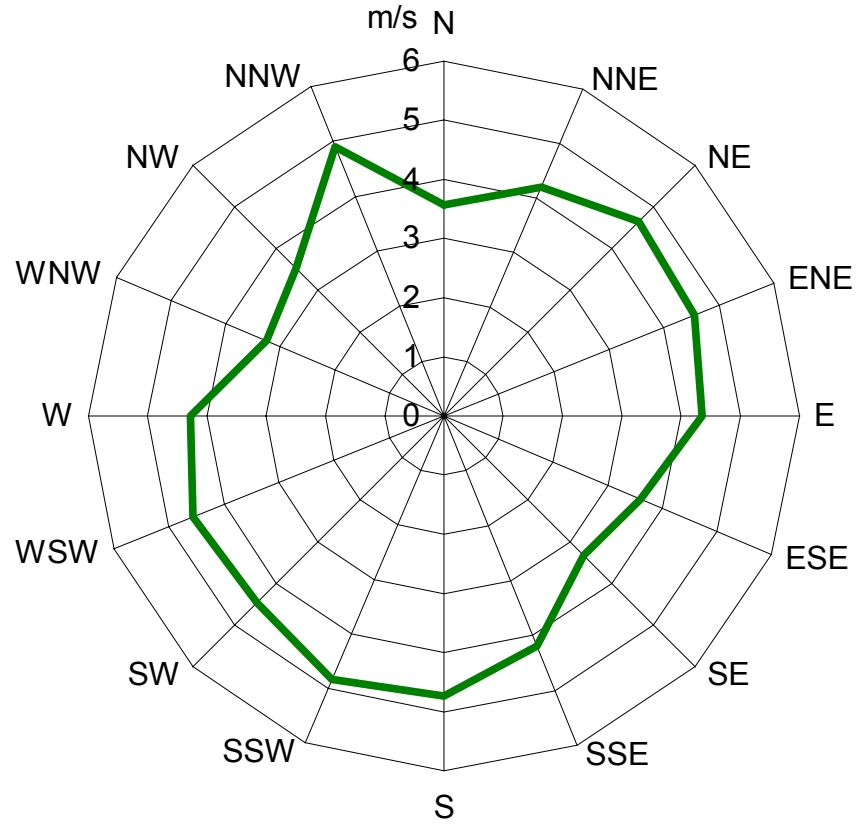


FIGURA 14

Velocidad media (m/s) del viento por dirección  
(Durante el funcionamiento de la planta)

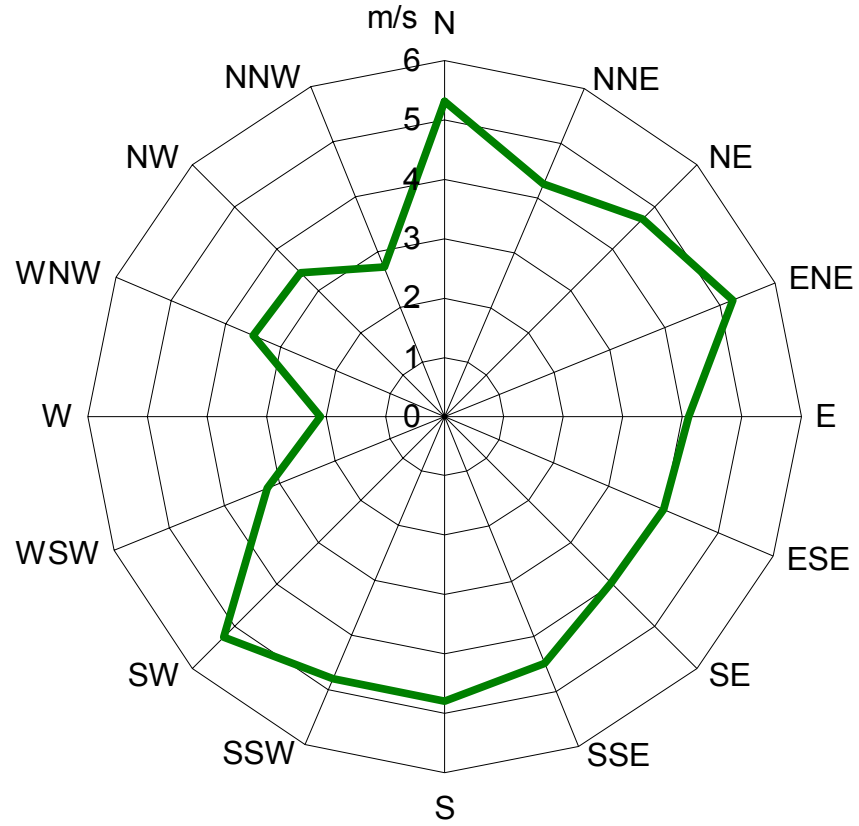


FIGURA 15

Temperatura media (°C) del aire por dirección  
(Antes del funcionamiento de la planta)

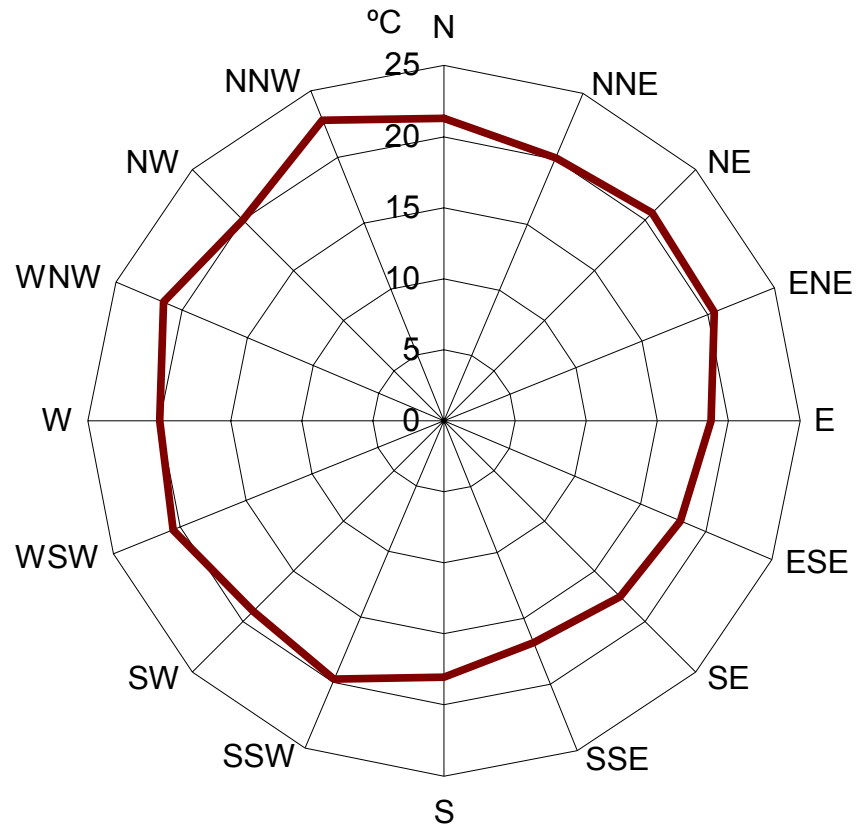


FIGURA 16

Temperatura media (°C) del aire por dirección  
(Durante el funcionamiento de la planta)

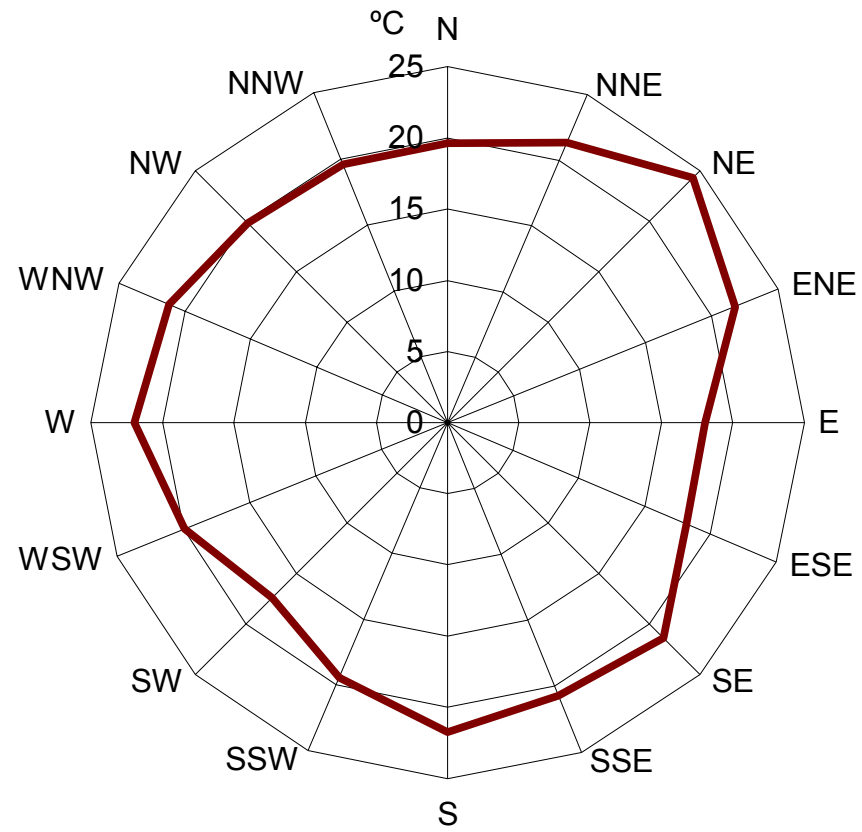


FIGURA 17