



COPPER
Anglo American Sur S.A.

CHAGRES
Av. Isidora Goyenechea 2800 Piso 46
Las Condes
CP 7550647
Chile

Chagres, 06 de diciembre de 2019
S-AAS602-1219-0515

Señora
Victoria Gazmuri Munita
SEREMI del Medio Ambiente
Calle Quillota N° 198, Segundo piso.
Comuna de Viña del Mar
Región de Valparaíso

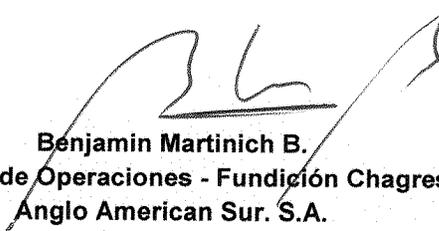
REF.: Su ORD. N° 643 del 02/10/2019.
MAT.: Entrega información para elaboración del Anteproyecto de PPDA de la Provincia de Quillota y las Comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay.
ADJ.: CD con información y antecedentes.

Benjamin Martinich B., Gerente de Operaciones de Fundición Chagres, de propiedad de Anglo American Sur S.A., ambos domiciliados para estos efectos en Avenida Isidora Goyenechea 2800 Piso 46, Las Condes, ciudad de Santiago, Región Metropolitana, estando dentro de plazo y por medio de la presente, entregamos información y antecedentes técnicos, que a nuestro parecer, pueden ser parte del proceso de Elaboración del Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica por Material Particulado MP10, como concentración anual, y latente por MP10 como concentración diaria a las Provincia de Quillota y las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay.

En CD que se adjunta a esta presentación, entregado a siguiente información:

1. Informes de monitoreo de MP10 de la Red SVACH, desde 2014 a octubre 2019.
2. Informes de meteorología de la Red SVACH, desde 2014 a octubre 2019.
3. Informes de Avance 1 y 2, e informe final de "Inventario de Emisiones y Modelación de Contaminantes Atmosféricos", realizado por Particuolotech Ltda., para Fundición Chagres de Anglo American.

Sin otro particular, se despide atentamente,


Benjamin Martinich B.
Gerente de Operaciones - Fundición Chagres
Anglo American Sur. S.A.



A member of the Anglo American plc group

Anglo American Sur S.A.
Av. Isidora Goyenechea 2800 Piso 46, Las Condes, Santiago, Chile T +56 (2)230-6000.

Antecedentes para PPD A
Provincia de Quillota y Comunas
de Catehu, Paquehue y LAYLAY



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

PRIMER INFORME ANALISIS DATA DE MONITOREO

**INVENTARIO DE EMISIONES Y MODELACIÓN
DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PARA**



AngloAmerican

FUNDICIÓN CHAGRES

2019



“Inventario de emisiones y modelación de contaminantes para Fundición Chagres – Anglo American”

INFORME 1

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DE MONITOREO 2014 - 2018

Preparado por:
PARTICUOLOTECH LTDA.

Versión del Documento		1	
Responsables Elaboración de Informe Rev. 2		Responsable Revisión y Aprobación de Informe Rev.2 e Informe de Monitoreo	
Nombre:	Fidel Vallejo Gallardo	Nombre:	Luis Alonso Díaz Robles
Cargo:	Ingeniero Senior Magíster en Ciencias de la Ingeniería Particulotech Ltda.	Cargo:	Jefe de Proyecto Gerente General Particulotech Ltda.
Fecha:	08-05-2019	Fecha:	08-05-2019
Nombre:	André González Coindreau	Nombre:	Luis Alonso Díaz Robles
Cargo:	Ingeniero Ingeniero Civil Químico Particulotech Ltda.	Cargo:	Jefe de Proyecto Gerente General Particulotech Ltda.
Fecha:	08-05-2019	Fecha:	08-05-2019



Contenido

Resumen ejecutivo.....	4
Evaluación de datos de estaciones de monitoreo	8
Análisis estadístico de datos meteorológicos	9
Análisis estadístico de datos de calidad del aire	25
ANEXOS	46



Resumen ejecutivo

El primer informe consta del análisis estadístico de los datos reportados por las estaciones Catemu, Romeral, Santa Margarita, Lo Campo y Estación Meteorológica desde los años 2014 al 2018. Las variables meteorológicas y de calidad del aire que se analizaron fueron las aportadas por la contraparte técnica de Chagres; en este caso, dirección y velocidad del viento de todas las estaciones, MP10 de estaciones Catemu y Lo Campo; y SO₂ de Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo. La ubicación de las estaciones se muestra en la figura R1.



Figura R1. Estaciones de Monitoreo de la Red Chagres

Para el caso del MP10, la estación que presentó mayores valores fue la estación de Catemu, con una clara tendencia al alza y superando la norma anual en los últimos 3 años. Además, presenta valores mayores a la condición de latencia de la norma de 24 horas, respecto a su percentil 98. Esta condición podría dar lugar a la declaración de zona saturada por concentración anual del MP10 y zona de latencia por superar el 80% de la norma de 24 horas del año 2018. Por el contrario, la estación Lo Campo si cumple la normativa primaria de calidad del aire por MP10, aunque la tendencia va levemente al alza en los últimos años, llegando al 92.2% del 80% de la norma de 24 horas.

El SO₂ presentó valores por debajo de la normativa primaria de calidad del aire de concentraciones anuales y de 24 horas en estaciones Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo, aunque la estación Sta. Margarita presentó mayores concentraciones,



llegando al 67.1% de la norma anual y un 55% de la norma de 24 horas en el año 2018. Todas estas estaciones presentaron una tendencia a la baja en las concentraciones de SO₂.

La Tabla R.1 indica estos eventos para cada estación con la fecha y hora respectiva.

Tabla R.2. Velocidades eliminadas por estación [m/s]

Estación	Fecha y hora	Valor eliminado
Catemu	15-06-2016 11:00	63.0
Romeral	13-06-2016 10:00	93.3
Santa Margarita	27-06-2017 22:00	48.3
Santa Margarita	28-06-2017 07:00	24.8
Catemu	09-03-2017 11:00	74.4
Est. Met.	N/A	N/A

Las velocidades el viento promedio y la dirección predominante monitoreadas en cada estación de monitoreo durante los años 2014 y 2018 se indican en la Tabla R.2.

En la Tabla R2 se destaca la cantidad importante de datos perdidos del año 2017 (sobre el 25%) para todas las estaciones. La estación Lo Campo presentó una mayor variabilidad de los datos entre año y año, destacando varios datos extremos de la velocidad del viento. Esto sugiere que la empresa que presta los servicios de medición debe hacer mayor QA/QC de los datos medidos. También en el procesamiento de datos se eliminaron varias velocidades del viento sobre los 20 m/s, ya que son velocidades extremas que comúnmente no se presentan en esta zona de Chile.



Tabla R.2 Resumen de variables meteorológicas

Estación	año	Datos Perdidos [%]	Máx. [m/s]	Prom. [m/s]	Mín. [m/s]	Dirección Predominante
Catemu	2014	0.57	3.99	0.91	0.11	Sur-Este
	2015	7.59	6.79	0.82	0.02	Sur-Este
	2016	5.26	5.74	0.86	0.11	Sur-Este
	2017	25.68	5.56	0.79	0.11	Sur-Este
	2018	3.05	6.70	1.25	0.10	Sur-Oeste
	Total	8.43	6.79	0.93	0.02	
Sta. Margarita	2014	0.4%	17.74	1.50	0.02	Sur
	2015	0.9%	11.77	1.36	0.01	Sur
	2016	2.0%	14.97	1.20	0.01	Sur
	2017	35.5%	15.01	1.34	0.01	Sur
	2018	0.6%	10.60	1.61	0.10	Sur-Este
	Total	7.9%	17.74	1.40	0.01	
Romeral	2014	1.1%	9.00	3.27	0.22	Nor-Oeste
	2015	0.3%	10.36	3.80	0.06	Nor-Oeste
	2016	0.5%	10.66	3.55	0.06	Nor-Oeste
	2017	25.7%	10.31	3.74	0.05	Nor-Oeste/Este
	2018	1.4%	10.80	4.23	0.10	Nor-Oeste/Sur
	Total	5.8%	10.66	3.72	0.05	
Lo Campo	2014	0.6%	4.56	1.03	0.18	Nor-Este/ Sur-Este
	2015	0.4%	17.06	0.81	0.14	Nor-Este/ Sur-Este
	2016	0.6%	2.60	0.82	0.12	Oeste / Este
	2017	26.8%	10.12	0.82	0.12	Oeste / Este
	2018	0.5%	5.88	1.28	0.10	Oeste / Este
	Total	5.8%	17.06	0.95	0.10	
Est. Met.	2014	0.0%	14.04	4.05	0.12	Sur-Oeste
	2015	0.1%	13.39	3.99	0.03	Sur-Oeste
	2016	0.2%	13.20	4.11	0.36	Sur-Oeste
	2017	0.0%	13.89	4.13	0.48	Sur-Oeste
	2018	0.5%	13.00	4.27	0.42	Sur-Oeste
	Total	0.2%	14.04	4.11	0.03	

En Figura R2 se muestran las rosas de los vientos en la zona de estudio de todas las estaciones de monitoreo desde el año 2014 al año 2018.

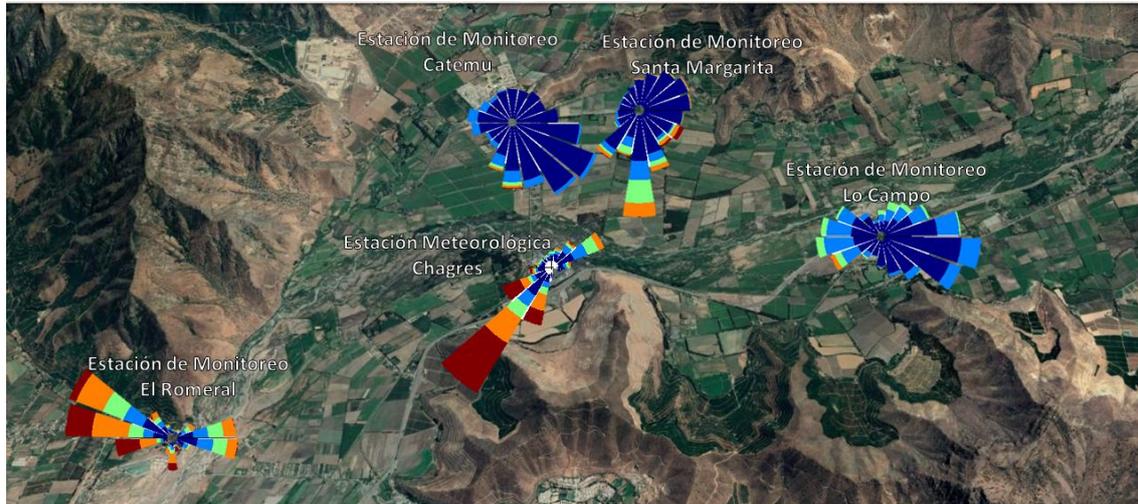


Figura R2. Rosas de los Vientos en Estaciones de Monitoreo de la Red Chagres, representación desde el 2014 al año 2018.

Adicional a la dirección y velocidad del viento, la Estación Meteorológica reporta presión (mb), temperatura a 6 m (T6), temperatura a 30 m (T30). La información disponible desde el 2014 hasta el 2018 se resume en la Tabla R.3.

Año	Variable	Datos Perdidos	Perdidos [%]	Promedio	Mínimo	Máximo
2014	P (mb)	2	0.02%	965.81	958.25	976.58
	T6 (°C)	5609	64.03%	12.05	-1.27	35.90
	T30 (°C)	8	0.09%	14.72	0.49	31.80
2015	P (mb)	18	0.21%	967.36	955.65	975.61
	T6 (°C)	39	0.45%	18.65	-0.05	37.33
	T30 (°C)	25	0.29%	15.36	0.36	31.91
2016	P (mb)	19	0.22%	967.55	960.56	975.63
	T6 (°C)	131	1.49%	18.73	0.23	37.50
	T30 (°C)	98	1.12%	15.49	1.88	31.95
2017	P (mb)	5	0.06%	968.32	960.89	980.09
	T6 (°C)	198	2.26%	17.66	-0.46	37.41
	T30 (°C)	146	1.67%	14.78	0.03	31.99
2018	P (mb)	65	0.74%	969.21	961.78	1073.65
	T6 (°C)	585	6.68%	15.37	-0.46	37.07
	T30 (°C)	571	6.52%	12.88	0.03	31.76
Total	P (mb)	109	0.25%	976.65	955.65	1073.65
	T6 (°C)	6562	14.97%	17.16	-1.27	37.50
	T30 (°C)	848	1.94%	14.67	0.03	31.99



Evaluación de datos de estaciones de monitoreo

En función a la Propuesta Técnica presentada por este equipo consultor, se estableció que los contaminantes considerados para realizar el análisis eran: MP10, MP2,5, NOx, SOx, CO, COVs y NH₃. Mientras que las variables meteorológicas a analizar fueron la temperatura, precipitación, presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento.

De los datos entregados por la contraparte técnica a la fecha, se desprende el resumen mostrado en la Tabla 1. Las estaciones Catemu, Lo Campo, Romeral y Sta. Margarita tienen sólo datos de velocidad y dirección del viento y SO₂ entre 2014 y 2018; la Estación Meteorológica tiene datos de velocidad y dirección del viento, temperatura, presión y SO₂ entre 2014 y 2018; y las estaciones de Catemu y Lo Campo sólo poseen datos de material particulado respirable MP10. Un resumen detallado de estos valores suministrados para cada estación se encuentra en la sección de Anexos del presente informe.

Tabla 1. Resumen de datos entregados por contraparte técnica

Estación	Ubicación geográfica, contaminantes y año
Catemu	Ubicación geográfica de la estación: Latitud: 32°46'55.50"S, Longitud 70°57'41.08"O. Datos meteorológicos: Velocidad y dirección de viento MP10: Completo 2018 SO ₂ (2014 a 2018)
Lo Campo	Ubicación geográfica de la estación: Latitud: 32°48'0.02"S, Longitud: 70°54'0.00"O. Datos meteorológicos: Velocidad y dirección de viento MP10: Completo 2018 SO ₂ (2014 a 2018)
Romeral	Ubicación geográfica de la estación: Latitud: 32°49'36.99"S, Longitud: 71° 0'31.02"O. Datos meteorológicos: Velocidad y dirección de viento SO ₂ (2014 a 2018)
Sta. Margarita	Ubicación geográfica de la estación, Latitud: 32°46'48.92"S, Longitud: 70°56'21.67"O. Datos meteorológicos: Velocidad y dirección de viento SO ₂ (2014 a 2018)
Estación Meteorológica	Ubicación geográfica de la estación: Latitud: 32°48'15.25"S, Longitud: 70°57'19.10"O. Datos meteorológicos: Velocidad y dirección de viento, temperatura y presión (2014 a 2018)



En análisis estadístico se realizó con el software OpenAir-Project, y se detalla en la siguiente sección.

Análisis estadístico de datos meteorológicos

Estación Catemu

Las rosas de los vientos indican la dirección de los vientos hacia la estación de monitoreo (blowing to). La Figura 1 indica la rosa de los vientos observada desde el año 2014 al 2018 para la estación de Catemu. Se puede concluir que la dirección predominante de los vientos fue bastante variable en dichos años, predominando una dirección sur en los últimos 2 años, 2017 y 2018. El 2017 presentó una velocidad promedio de 0.89 m/s y en el 2018 fue de 1.25 m/s.

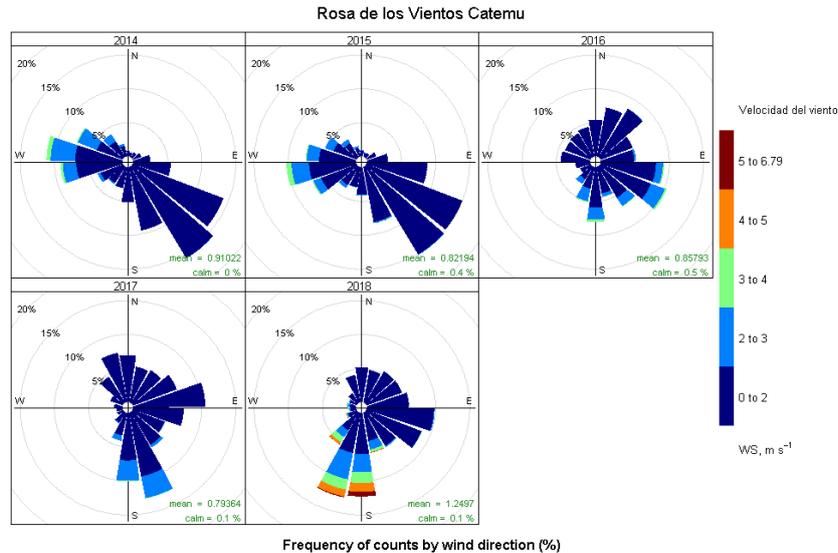


Figura 1. Frecuencia horaria de vientos entre los años 2014 y 2018, Estación Catemu

La figura 2 muestra la frecuencia de la dirección del viento entre el día y la noche para todo el período 2014-2018 en la estación Catemu. En esta figura se puede apreciar que en la estación de primavera y verano la velocidad del viento fue mayor durante el día que la noche, y que durante el día el viento sopló principalmente desde el Sur, pero también con una componente menos desde el Oeste. Mientras que durante la noche, la velocidad del viento fue mucho menor, y cuya dirección del viento soplaban desde el



Sur-Este. Este último comportamiento es similar a la velocidad y dirección del viento durante las noches de las estaciones de otoño-primavera durante el período 2014-2018, aunque para la estación de invierno, también hubo una componente importante del viento que sopló principalmente desde el norte. Durante el día de las estaciones de otoño-invierno, la dirección del viento fue más variada, presentando algunas mayores frecuencias del viento que sopló desde el Sur-Este, pero con menor componente desde el oeste para la estación de otoño, y desde el Nor-Oeste en la estación de invierno. El color azul muestra que las velocidades del viento fueron menores a 2 m/s.

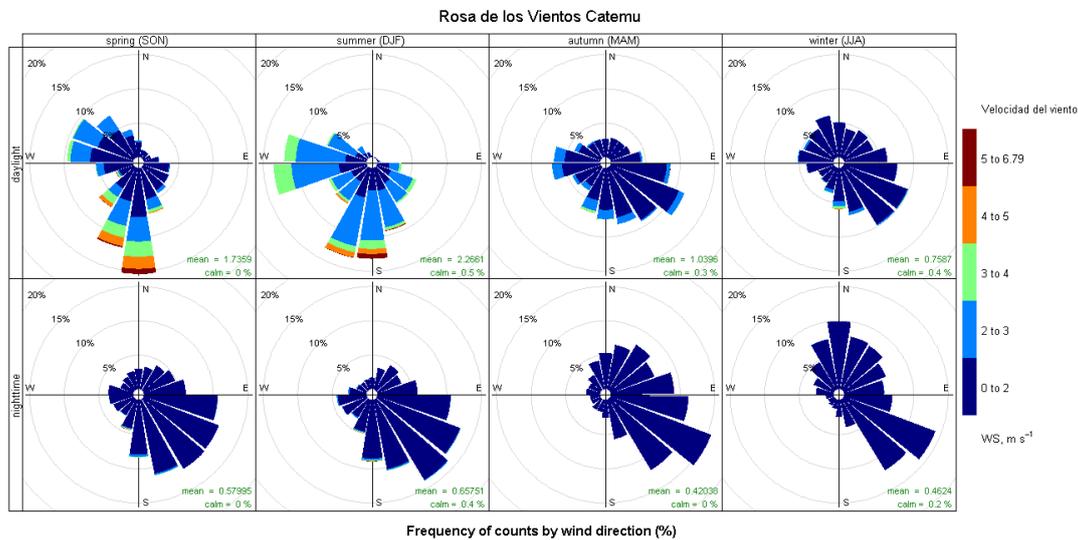


Figura 2. Frecuencia horaria de vientos entre el día y la noche para las estaciones del año entre 2014-2018. Estación Catemu

La figura 3 muestra la frecuencia horaria del viento medida entre los años 2014 y 2018 en estación Catemu. En ella se puede apreciar que la mayor frecuencia se encuentra entre los 130 y 140 grados y ocurre entre las 23:00 y las 9:00. También muestra que las mayores velocidades del viento ocurrieron entre las 13:00 y las 19:00 horas, con un viento que soplabla principalmente a 180 grados y en algunas ocasiones alrededor de los 270 grados.

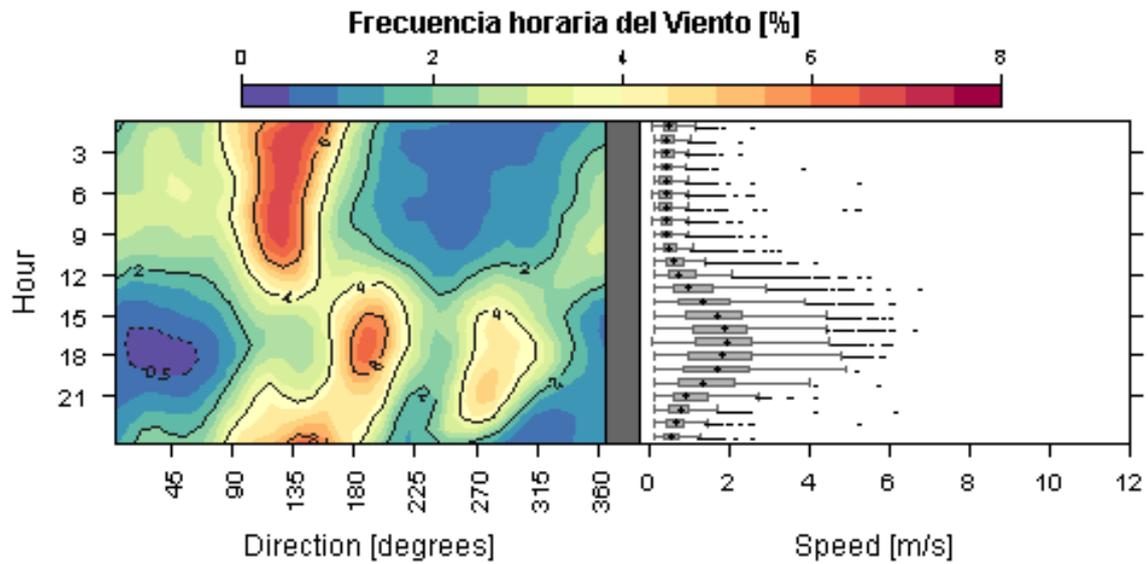


Figura 3. Frecuencia horaria del viento de Estación Catemu entre 2014 y 2018

Los ciclos estacionales de la velocidad del viento 2014-2018 se indican en la Figura 4. A las 17 h se encontró la velocidad máxima, con un valor de 2.1 m/s. Los promedios horarios más altos ocurren durante los meses de noviembre, diciembre y enero, y los mínimos en el otoño-invierno; mayo, junio y julio con valores de 1.5 y 0.5 m/s, respectivamente.

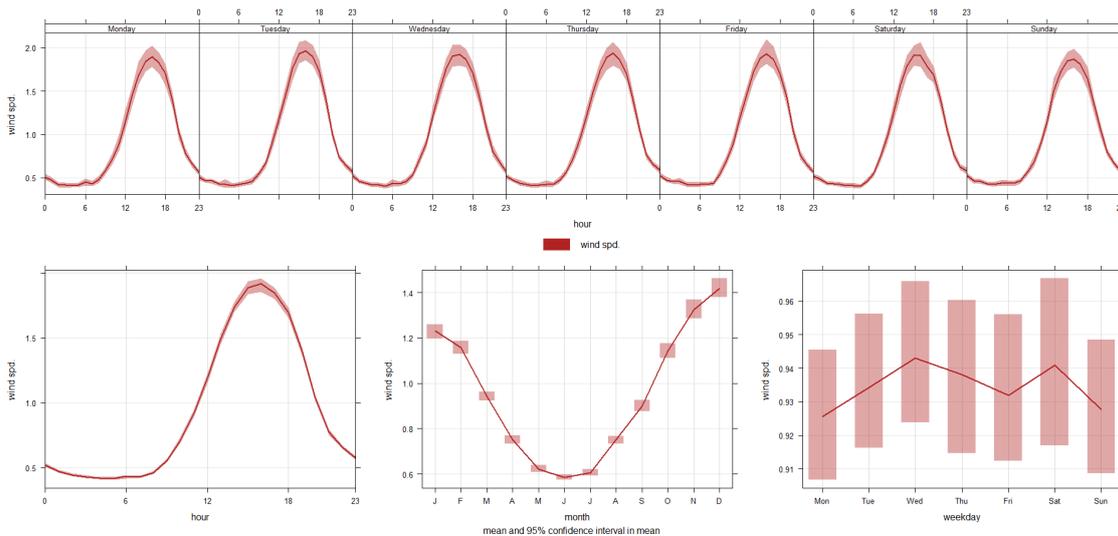


Figura 4. Ciclo estacional de la velocidad del viento en estación de monitoreo Catemu



En la figura 5 se puede apreciar el comportamiento horario de la velocidad del viento para cada mes desde el año 2014 al 2018. En este gráfico se muestra que las mayores velocidades ocurrieron en la estación estival desde las 13:00 a las 18:00, y las menores durante la noche. Llama la atención las mayores velocidades del viento que ocurrieron durante el día de las estaciones de primavera y verano del año 2018, la cual superó en algunos días los 4 m/s.

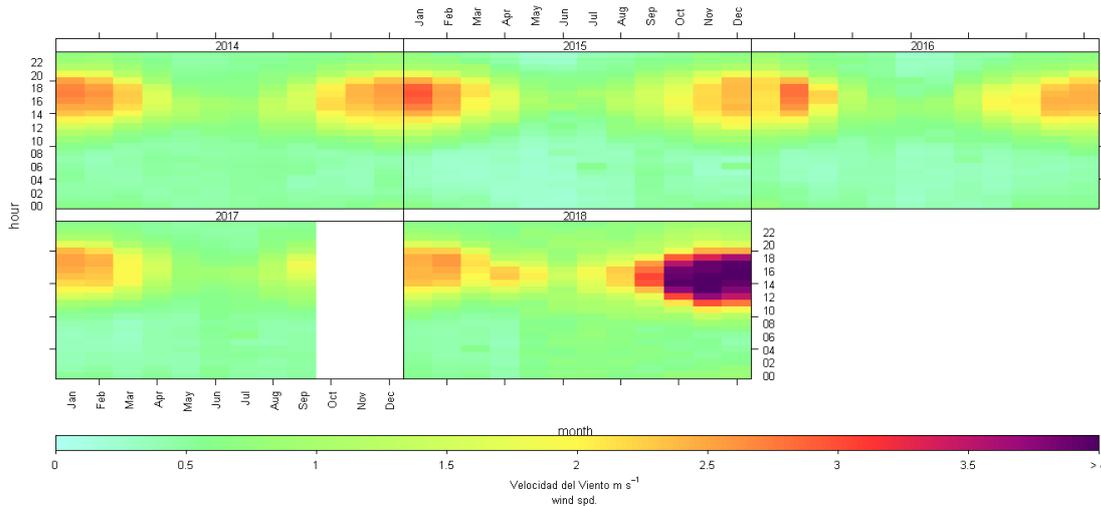


Figura 5. Ciclo horario mensual de la velocidad del viento en estación de monitoreo Catemu desde el año 2014 al año 2018

Estación Santa Margarita

La Figura 6 indica la rosa de los vientos observada durante los años 2014 al 2018 para la estación de Santa Margarita. Durante los años 2014, 2015 y 2016, las velocidades predominantes soplaban desde el Sur, con una componente menor desde el Nor-Este. Sin embargo, en el 2017 la dirección predominante fue desde el Sur y Sur-Oeste, pero en el 2018 la dirección desde el Sur-Este de la estación fue la de mayor frecuencia. El 2017 presentó una velocidad promedio de 1.33 m/s y en el 2018 fue de 1.60 m/s.

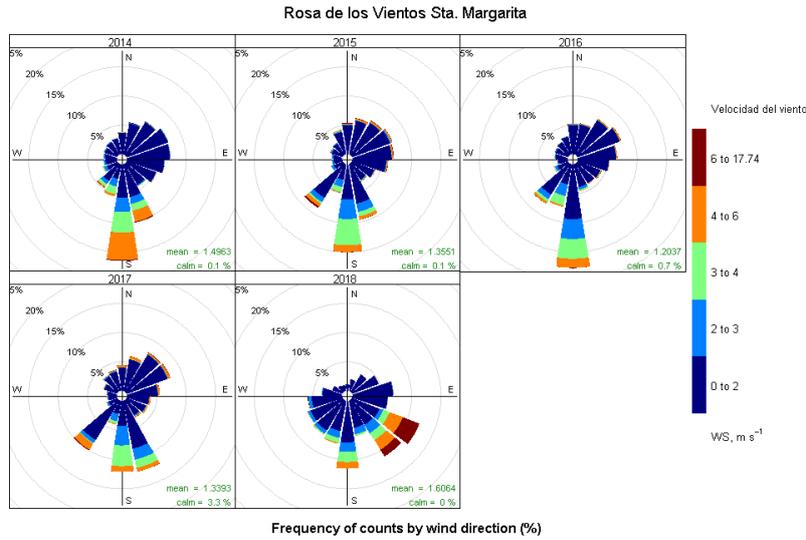


Figura 6. Frecuencia horaria de vientos en los años 2014 al 2018

La figura 7 muestra la frecuencia de la dirección del viento entre el día y la noche para todo el período 2014-2018 en la estación Sta. Margarita. En esta figura se puede apreciar que en la estación de primavera y verano la velocidad del viento fue mayor durante el día que la noche, y que durante el día el viento sopló principalmente desde el Sur. Mientras que, durante la noche, la velocidad del viento fue mucho menor, y cuya dirección del viento soplaban desde el Nor-Este, con una componente menor desde el Sur-Oeste. Este último comportamiento es similar a la velocidad y dirección del viento durante las noches de las estaciones de otoño-primavera durante el período 2014-2018. Durante el día de las estaciones de otoño-invierno, la dirección del viento fue más variada, presentando algunas mayores frecuencias del viento que sopló desde el Sur para la estación de otoño. Para el invierno, definitivamente el viento sopló casi uniformemente desde todas las direcciones, con mayores velocidades desde el Sur.

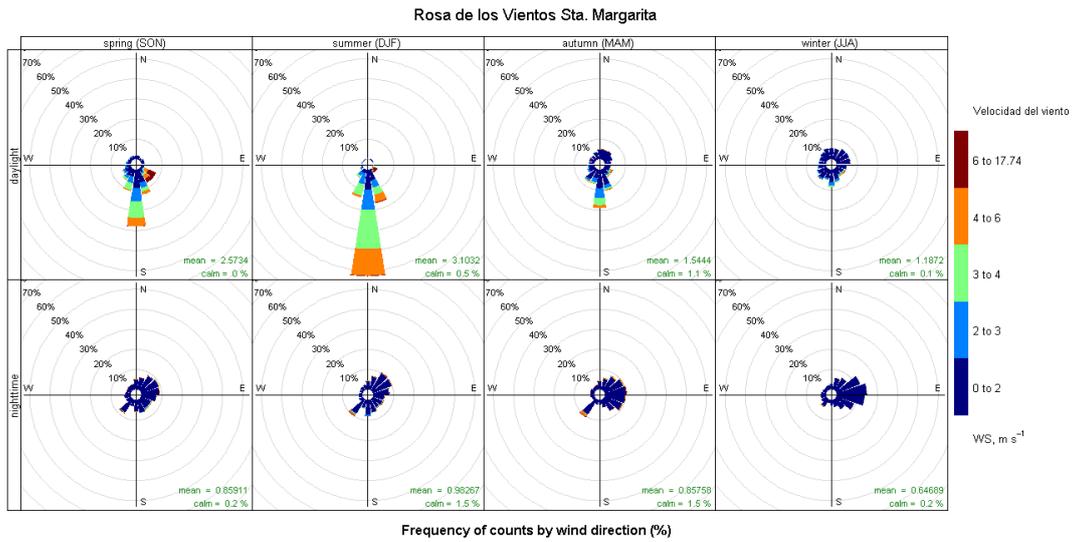


Figura 7. Frecuencia horaria de vientos entre el día y la noche para las estaciones del año entre 2014-2018. Estación Santa Margarita

La Figura 8 muestra la Frecuencia horaria del viento para todo el período de medición del 2014 al 2018 de la estación Sta. Margarita. En ella se puede apreciar que la mayor frecuencia de la dirección del viento sopló con dirección de 180 grados entre las 15:00 y 19:00 horas, coincidiendo con las mayores velocidades que ocurrieron en ese rango de horas, aunque en esta estación hubo mayor dispersión de datos de velocidad del viento que la estación Catemu.

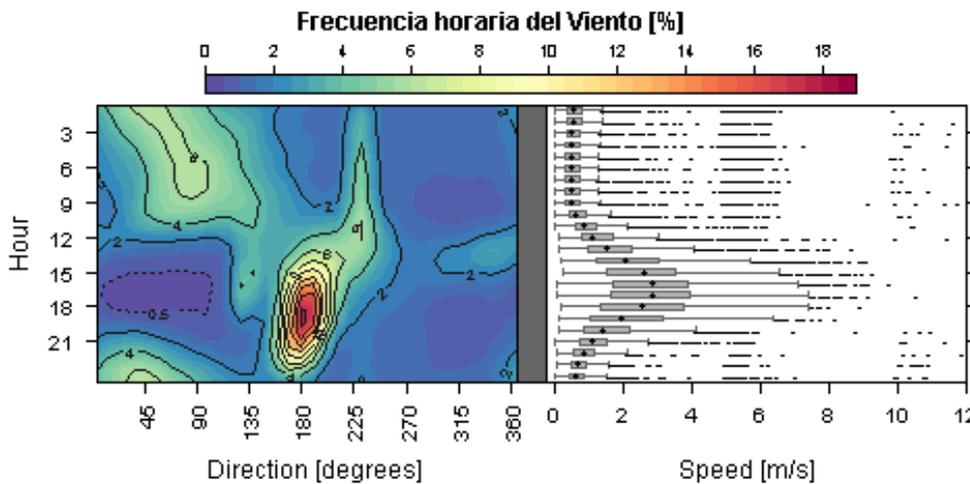


Figura 8. Frecuencia horaria del viento de Estación Santa Margarita entre 2014 y 2018



Los ciclos estacionales horarios de la velocidad del viento se indican en las Figuras 9 y 10. A las 16:00 horas se encontró la velocidad máxima de los años 2014 al 2018, con un valor de 3.0 m/s. Los promedios mensuales más altos ocurrieron durante los meses de primavera (octubre, noviembre y diciembre) y los mínimos en el invierno (junio y julio) con valores menores a 1.0 m/s.

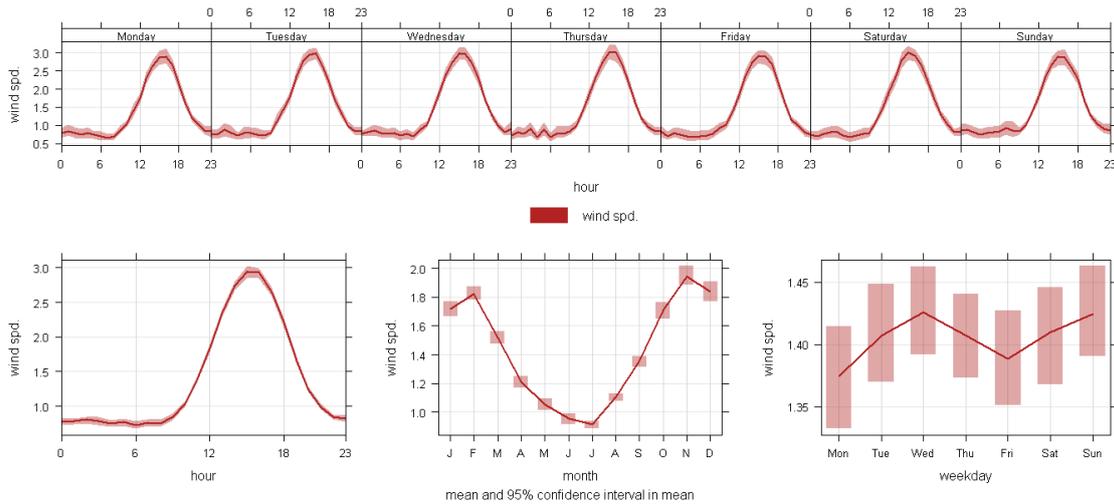


Figura 9. Ciclo estacional de la velocidad del viento en estación de monitoreo Santa Margarita

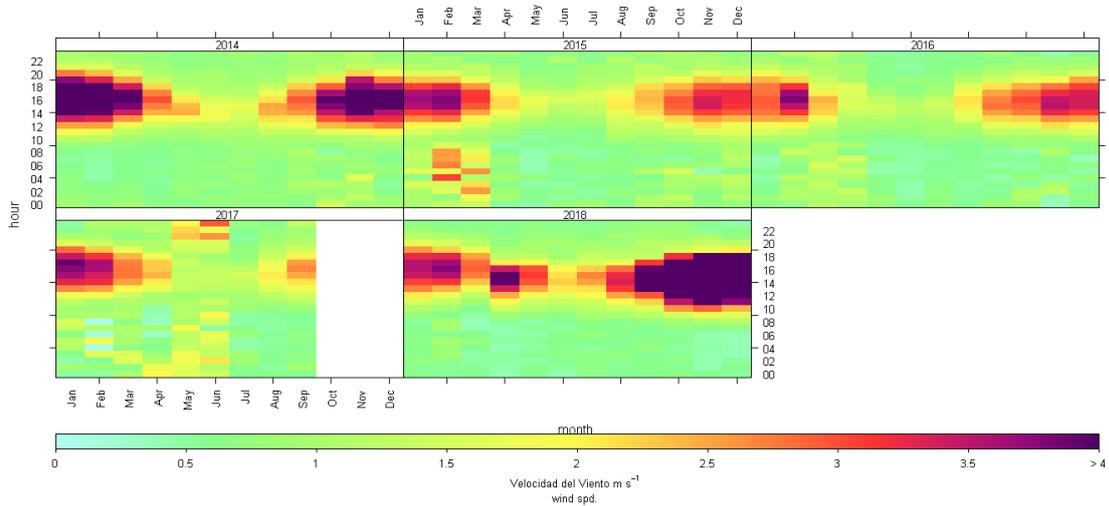


Figura 10. Ciclo horario mensual de la velocidad del viento en estación de monitoreo Santa Margarita desde el año 2014 al año 2018



Estación Romeral

La Figura 11 indica la rosa de los vientos observada durante los años 2014 y 2018 para la estación de Romeral, presentando un comportamiento similar entre los años 2014 y 2017, donde el viento sopló principalmente desde Nor-Oeste, con una componente menos frecuentes desde el Este. Para el 2018, los vientos venían desde el Sur de forma principal, con una segunda componente desde el Este. El 2017 presentó una velocidad promedio de 3.74 m/s y en el 2018 fue de 4.23 m/s.

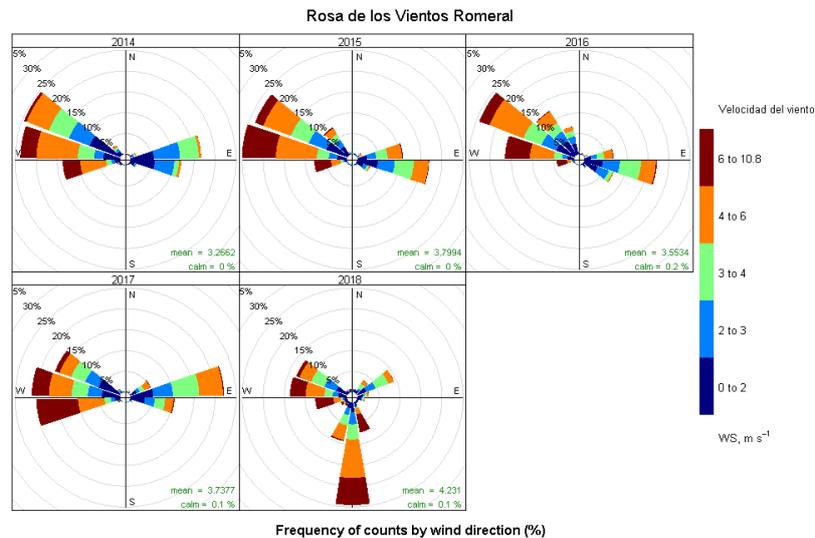


Figura 11. Frecuencia horaria de vientos en los años 2017 y 2018

La Figura 12 muestra la dirección y velocidad del viento entre el día y la noche para todas las estaciones del año entre 2014 y 2018. Aquí se puede apreciar que en las estaciones de primavera y verano el viento presentó mayores velocidades y sopló principalmente desde el Oeste. En otoño e invierno el viento sopló con menor magnitud y provenía principalmente desde el Oeste, con una menor componente desde el Este. Durante la noche, el viento sopló principalmente desde el Nor-Oeste en las estaciones de primavera y verano, y desde el Este en las noches de otoño e invierno, con una menor componente desde el Nor-Oeste.

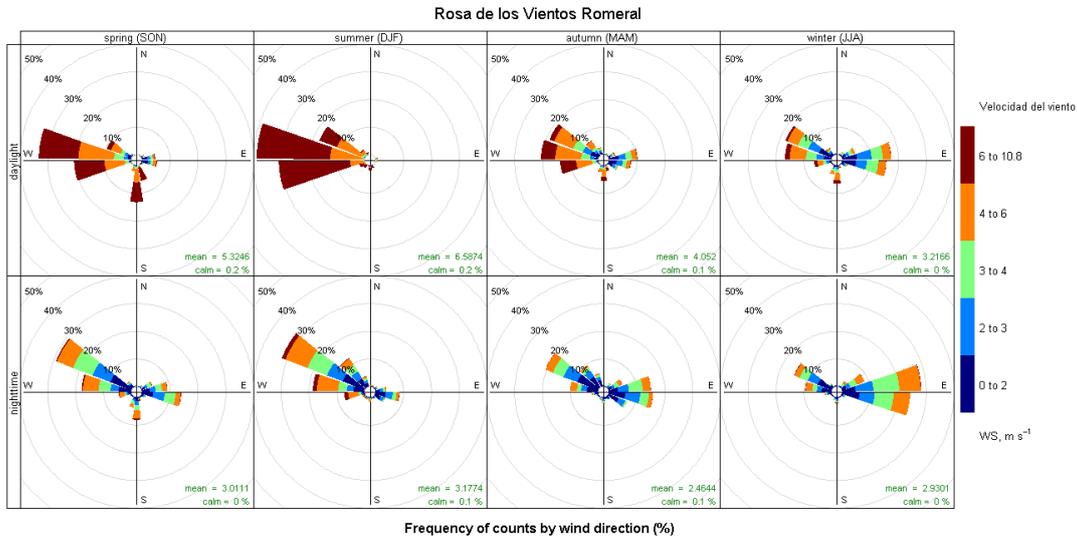


Figura 12. Frecuencia horaria de vientos entre el día y la noche para las estaciones del año entre 2014-2018. Estación Romeral

La Figura 13 muestra la frecuencia horaria del viento en estación Romeral entre los años 2014 y 2018. En ella se aprecia una baja dispersión de los datos observados, donde la mayor frecuencia de la dirección ocurrió entre los 270 y 300 grados alrededor de las 18:00 horas, coincidiendo que en ese horario de la tarde ocurrieron las mayores velocidades (entre las 15 y 19 horas). También una segunda mayor frecuencia alrededor de los 90 grados, la cual ocurría alrededor de las 9:00 de la mañana.

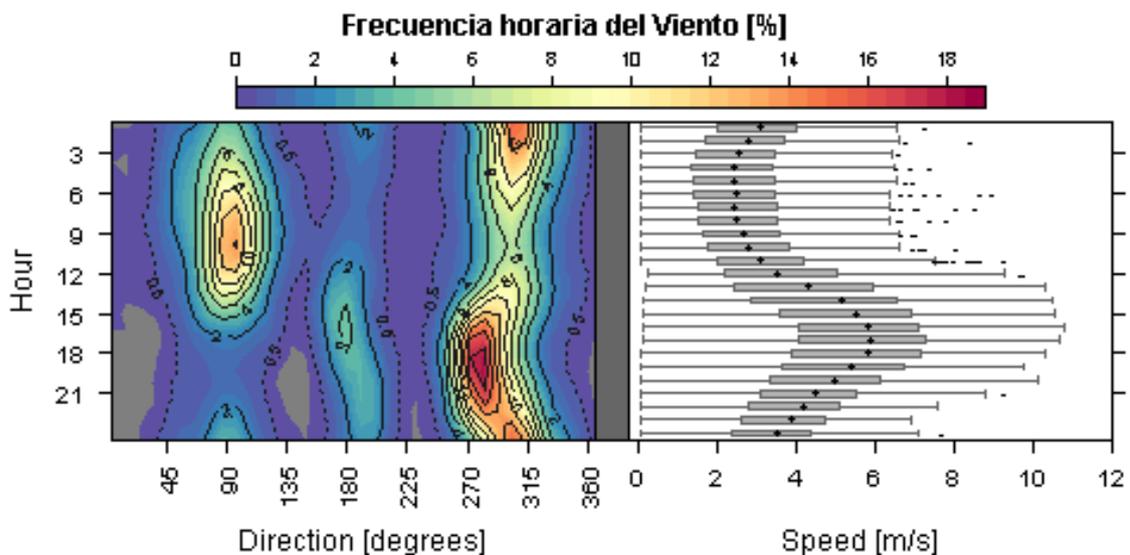


Figura 13. Frecuencia horaria del viento de Estación Romeral entre 2014 y 2018



Los ciclos estacionales de la velocidad promedio del viento se indican en las Figuras 14 y 15. Aquí se aprecia que a las 16 h se encontró la velocidad horaria máxima de los años 2014 al 2018, con un valor de casi 6.0 m/s. Los promedios mensuales más altos ocurrieron durante los meses de noviembre a febrero y los mínimos en el otoño-invierno (mayo a julio) con valores de 4.8 y 2.8 m/s, respectivamente.

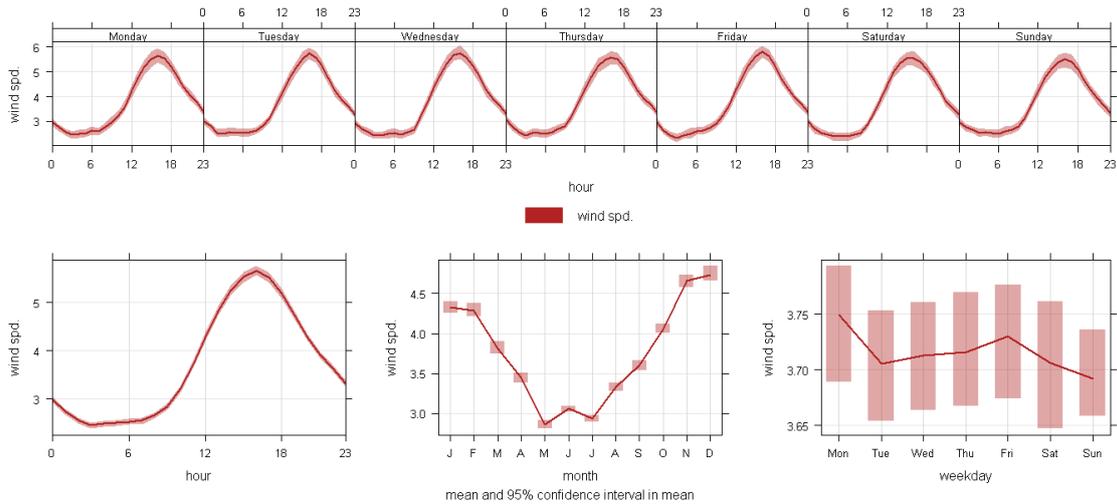


Figura 14. Ciclo estacional de la velocidad del viento en estación de monitoreo Romeral

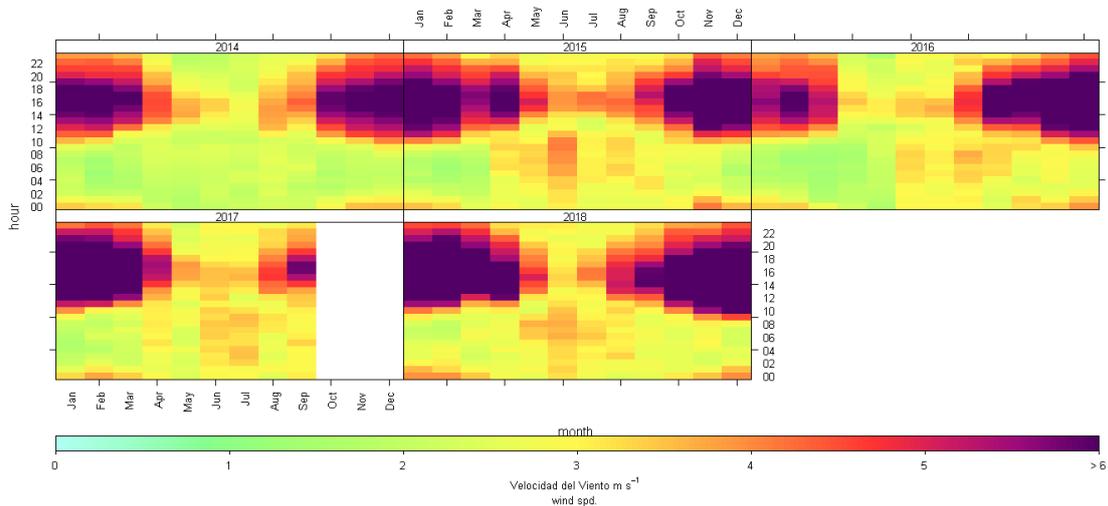


Figura 15. Ciclo horario mensual de la velocidad del viento en estación de monitoreo Romeral desde el año 2014 al año 2018



Estación Lo Campo

La Figura 16 indica la rosa de los vientos observada durante los años 2014 al 2018 para la estación de Lo Campo, observándose comportamientos bastante distintos en los 2 primeros años con respecto a los 3 últimos. En efecto, los primeros dos años el viento sopló principalmente desde el Nor-Este, Este y Sur-Este, mientras que en los 3 últimos años el viento sopló principalmente desde el Oeste, con una menor componente desde el Este. Se destaca que durante el año 2018 el viento sopló con mayor intensidad desde el Oeste, con velocidades que a veces superaron los 4 m/s en promedio.

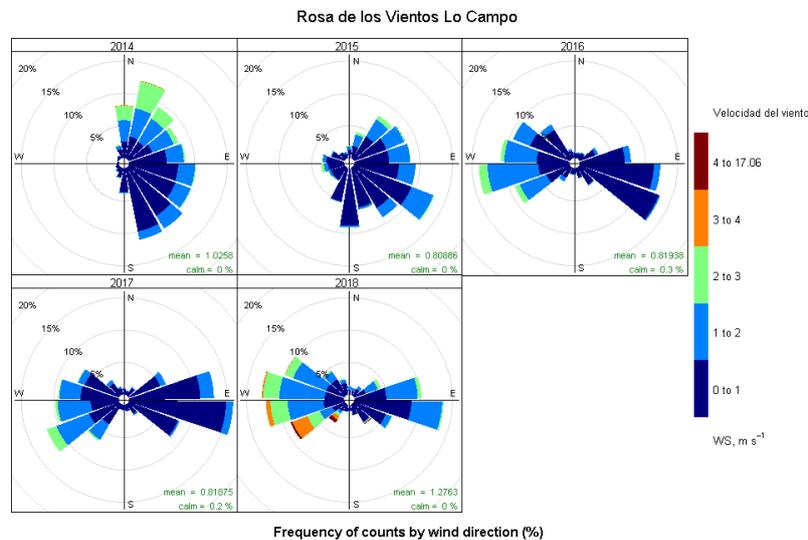


Figura 16. Frecuencia horaria de vientos en los años 2014 al 2018

La Figura 17 muestra la dirección y velocidad del viento entre el día y la noche para todas las estaciones del año entre 2014 y 2018. Aquí se puede apreciar que en las estaciones de primavera y verano el viento presentó mayores velocidades y sopló principalmente desde el Oeste. En otoño e invierno el viento sopló con menor magnitud y provenía principalmente desde el Oeste y desde el Este. Durante la noche, el viento sopló principalmente desde el Sur-Este en todas las estaciones del año, con mayores frecuencias y magnitud en la estación de invierno.

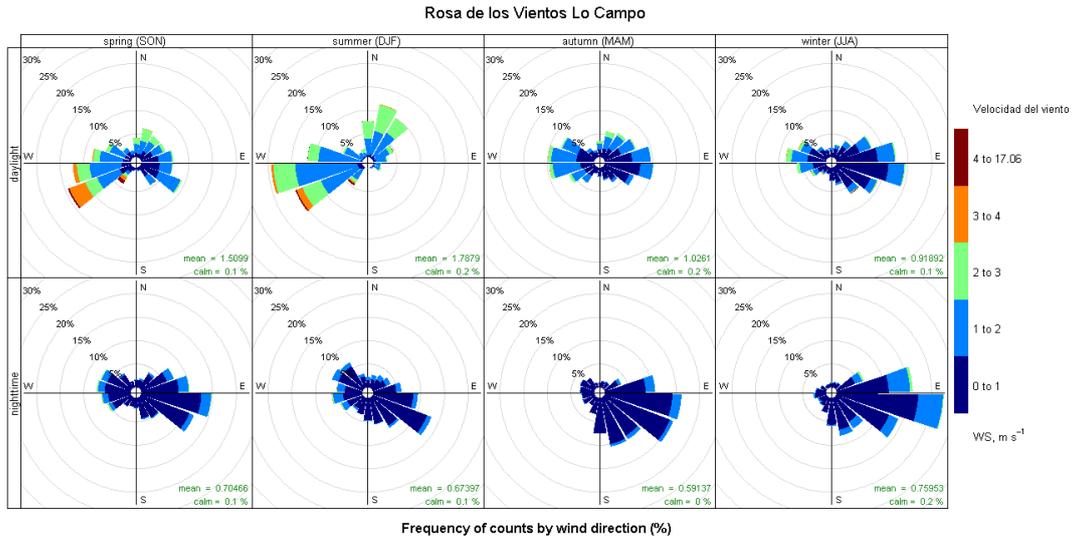


Figura 17. Frecuencia horaria de vientos entre el día y la noche para las estaciones del año entre 2014-2018. Estación Lo Campo

La Figura 18 muestra la frecuencia horaria del viento en estación Lo Campo entre los años 2014 y 2018. En ella se aprecia una baja dispersión de los datos observados, donde la mayor frecuencia de la dirección ocurrió entre los 90 y 120 grados alrededor de las 06:00 horas. También ocurrió una segunda mayor frecuencia alrededor de los 270 grados, la cual ocurría alrededor de las 18:00 de la mañana, coincidiendo con mayores velocidades que en algunas ocasiones superaron los 4 m/s.

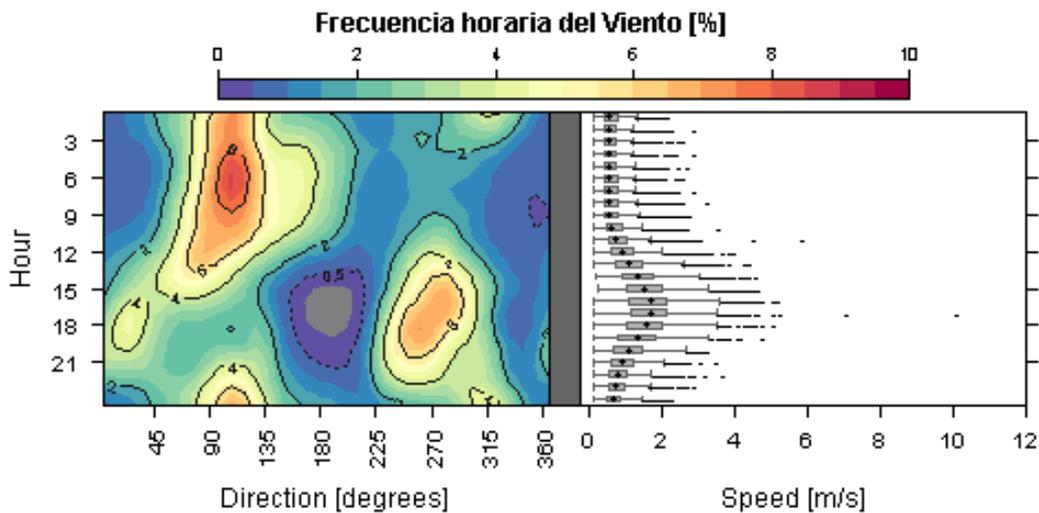


Figura 18. Frecuencia horaria del viento de Estación Lo Campo entre 2014 y 2018



Los ciclos estacionales de la velocidad del viento de la estación Lo Campo se indican en la Figura 19. Aquí se aprecia que a las 16 h ocurrió la velocidad máxima horaria de los años 2014 al 2018, con un valor de 1.9 m/s. Los promedios mensuales más altos ocurrieron durante los meses de octubre a diciembre y los mínimos en mayo a julio con valores cercanos a los 0.8 m/s. La figura 20 muestra un comportamiento similar de la velocidad del viento, pero comparando distintos años, donde se aprecia claramente que el año 2018 presentó una mayor velocidad del viento que el resto de los años, y ocurrió entre las 15 y 16 horas en el mes de noviembre, superando los 4 m/s.

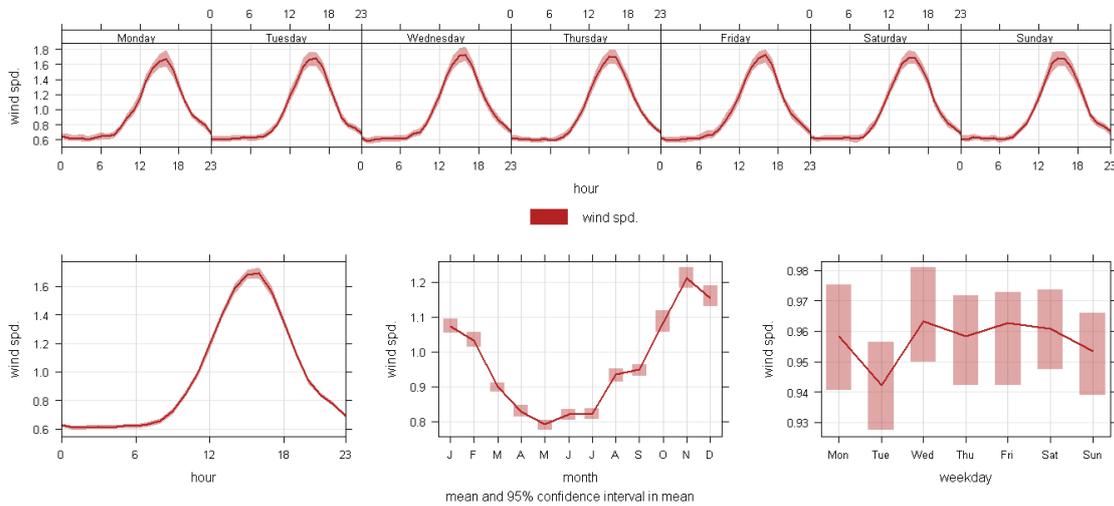


Figura 19. Ciclo estacional de la velocidad del viento en estación de monitoreo Lo Campo

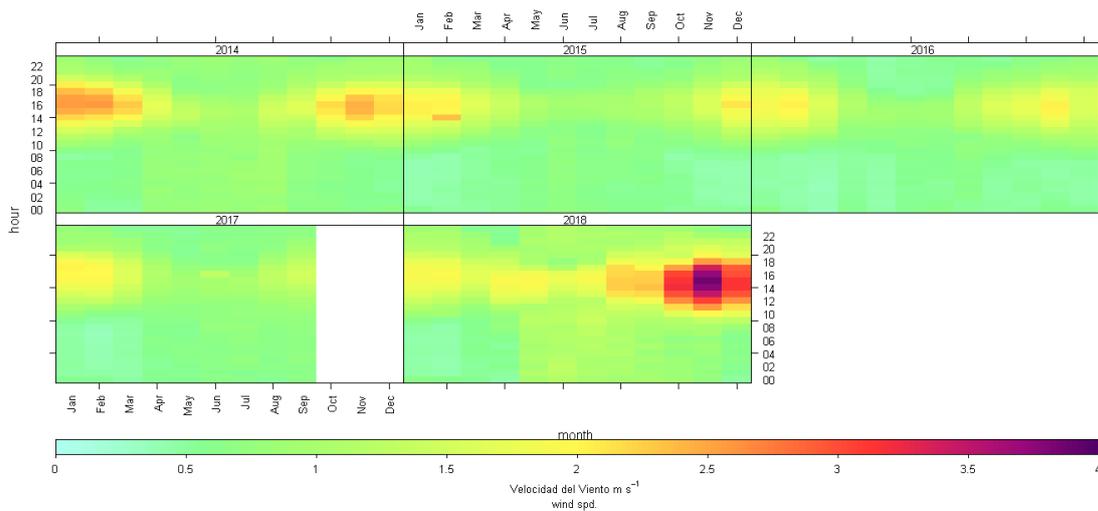


Figura 20. Ciclo horario mensual de la velocidad del viento en estación de monitoreo Lo Campo desde el año 2014 al año 2018



Estación Meteorológica

La Figura 21 indica la rosa de los vientos observada durante los años 2014 al 2018 para la Estación Meteorológica, observándose comportamientos muy similares para todos los años, donde el viento sopló principalmente desde el Sur-Oeste, con una componente menor desde el Nor-Este, con velocidades que a veces superaron los 6 m/s en promedio.

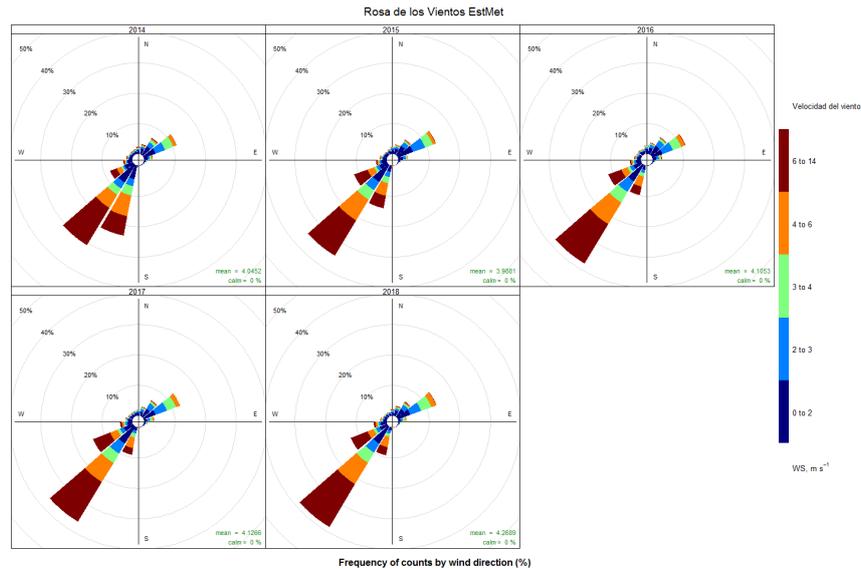


Figura 21. Frecuencia horaria de vientos en los años 2014 al 2018

La Figura 22 muestra la dirección y velocidad del viento entre el día y la noche para todas las estaciones del año entre 2014 y 2018. Aquí se puede apreciar que en las estaciones de primavera y verano el viento presentó mayores velocidades y sopló principalmente desde el Sur-Oeste. En otoño e invierno el viento sopló con menor magnitud y provenía principalmente también desde el Sur-Oeste, con una componente menor desde el Nor-Este, especialmente en invierno. Durante la noche, el viento sopló principalmente desde el Sur-Oeste en primavera y verano, pero en otoño hubo frecuencias principales desde el Sur-Oeste y Nor-Este. Finalmente, en invierno el viento sopló principalmente desde el Nor-Este en las noches.

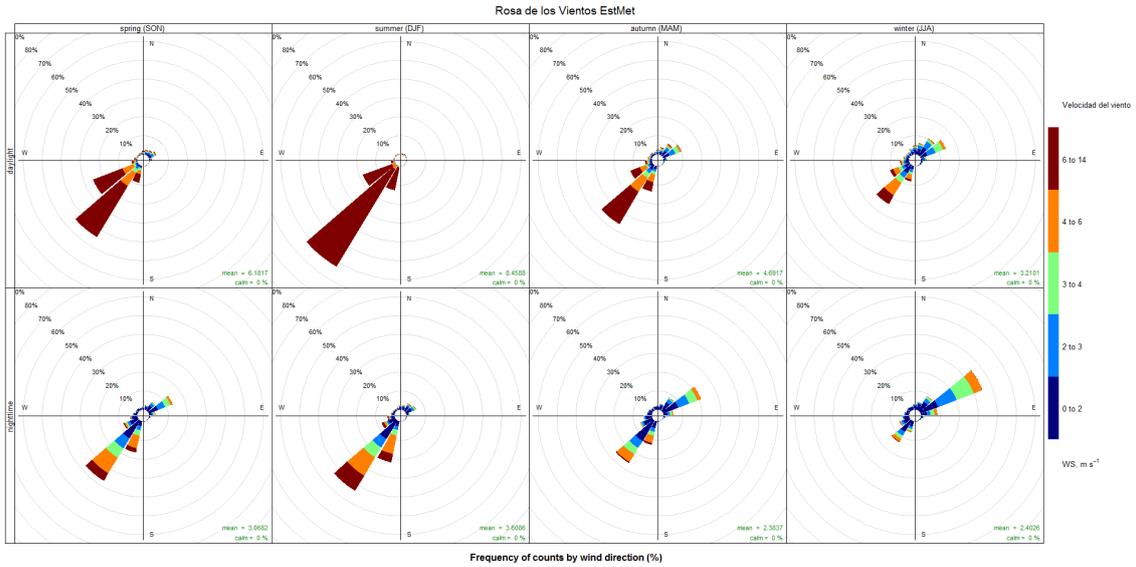


Figura 22. Frecuencia horaria de vientos entre el día y la noche para las estaciones del año entre 2014-2018. Estación Meteorológica

La Figura 23 muestra la frecuencia horaria del viento en Estación Meteorológica entre los años 2014 y 2018. En ella se aprecia que una mayor frecuencia de la dirección ocurrió entre los 200 y 230 grados alrededor de las 20:00 horas, coincidiendo con mayores velocidades que en algunas ocasiones superaron los 10 m/s. También ocurrió una segunda mayor frecuencia alrededor de los 45 grados, la cual ocurría alrededor de las 09:00 de la mañana.

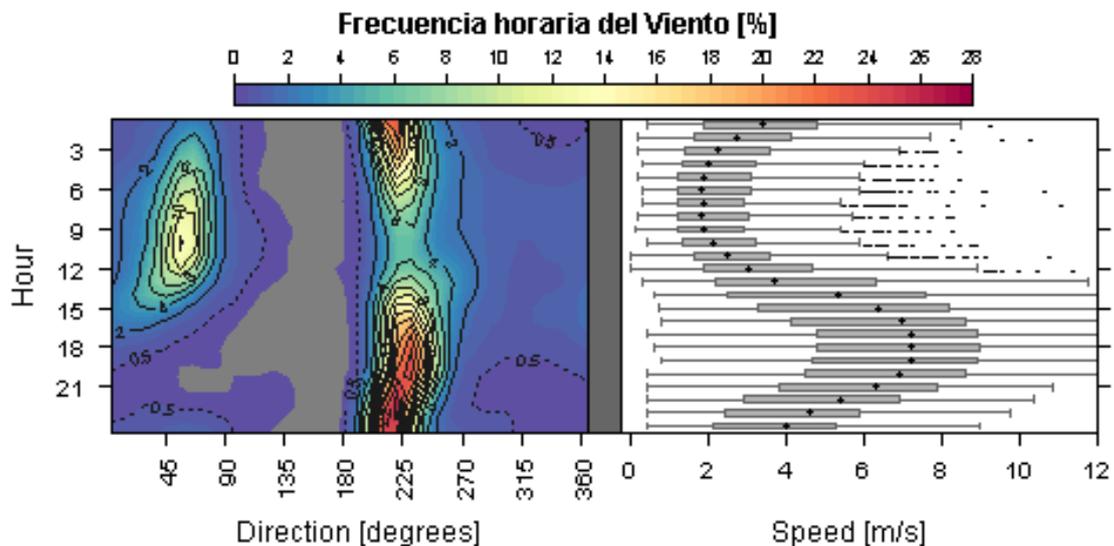


Figura 23. Frecuencia horaria del viento de Estación Meteorológica entre 2014 y 2018



Los ciclos estacionales de la velocidad del viento de la Estación Meteorológica se indican en la Figura 24. Aquí se aprecia que a las 17 h ocurrió la velocidad máxima horaria de los años 2014 al 2018, con un valor aproximado de 6.8 m/s. Los promedios mensuales más altos ocurrieron durante el mes de diciembre, con un valor cercano a los 5.5 m/s, y los mínimos en junio y julio con valores cercanos a los 2.4 m/s. La figura 25 muestra un comportamiento similar de la velocidad del viento para todos los años.

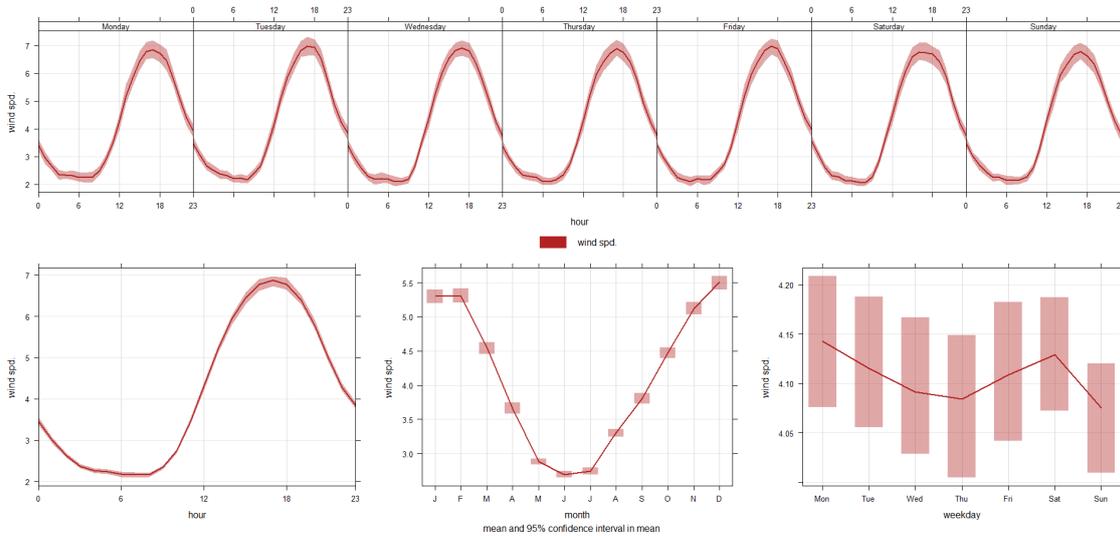


Figura 24. Ciclo estacional de la velocidad del viento en Estación Meteorológica

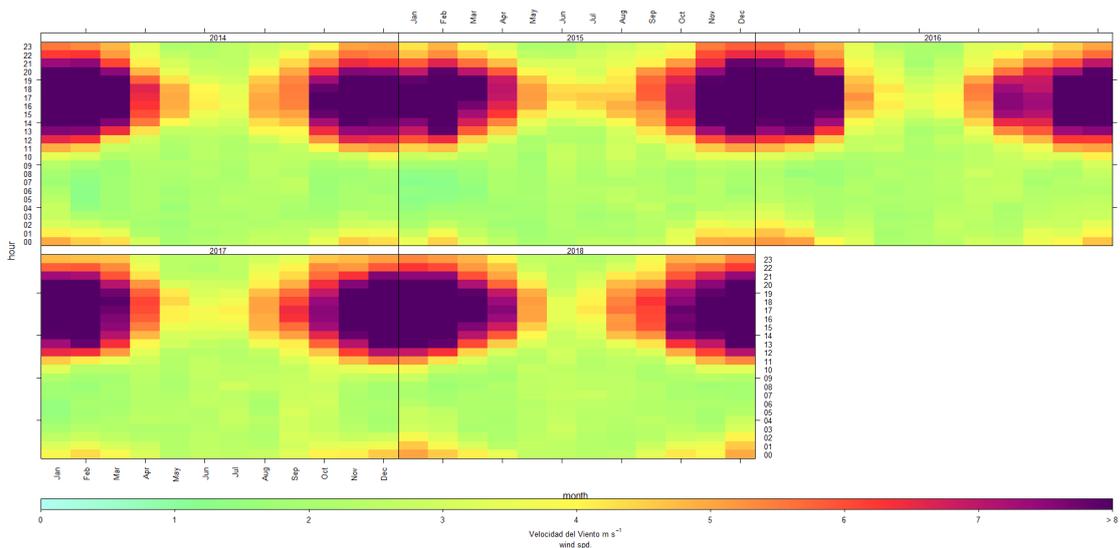


Figura 25. Ciclo horario mensual de la velocidad del viento en Estación Meteorológica desde el año 2014 al año 2018



Análisis estadístico de datos de calidad del aire

Para los contaminantes atmosféricos se realizó un análisis estadístico descriptivo similar al indicado en las variables meteorológicas, comparando los resultados con la actual norma primaria de calidad del aire. Este análisis se realizó con el software OpenAir-Project.

Estación Catemu

Según los datos reportados por la estación durante los años 2014 al 2018, el promedio horario de MP10 alcanzó un máximo a las 20 h, con un valor cercano a $85 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, como se indica en la Figura 26. Un segundo pick ocurrió alrededor de las 8 AM, sugiriendo un perfil de emisiones de fuentes vehiculares. El mes de junio presentó los mayores valores mensuales de casi $75 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, mientras que el mes de octubre presentó valores tan bajos como los $45 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

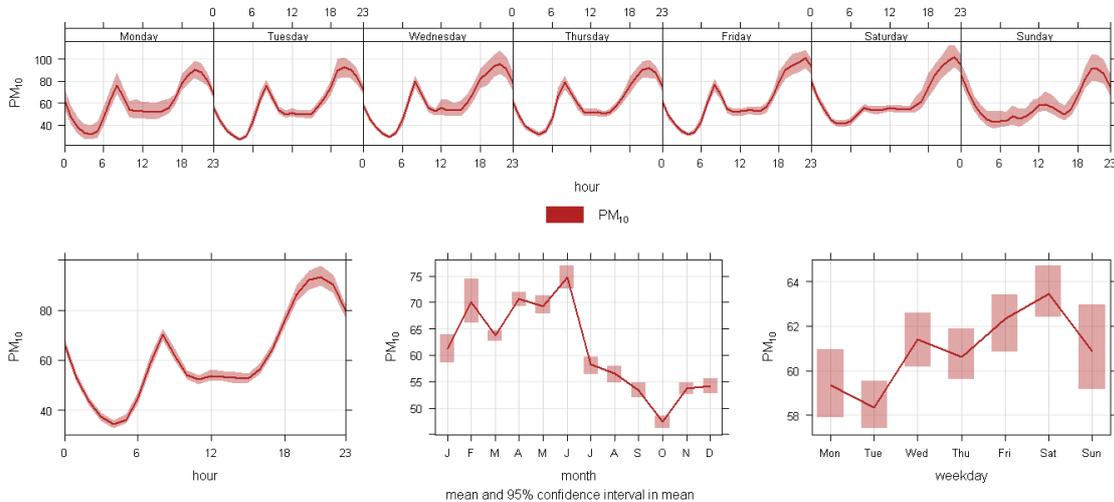


Figura 26. Ciclo estacional del MP10 en Catemu

En la Tabla 2 se muestran las concentraciones del MP10 medidas en estación Catemu entre los años 2014 y 2018. Aquí se puede apreciar claramente que la norma anual de MP10 no se está cumpliendo, por lo que la zona se podría declarar como zona saturada por concentración anual del MP10. También se destaca que la zona se podría declarar como zona latente por no cumplir el 80% de la norma diaria del MP10 los años 2015 y 2018. Dados estos resultados, este equipo consultor recomienda doblar los esfuerzos en



definir cuáles son las fuentes que están generando este complejo escenario, y tomar acciones para abatir esas emisiones.

Tabla 2. Resumen de la concentración del MP10 en estación Catemu en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, y su comparación con norma Primaria de Calidad del Aire.

Año	Total Datos	Datos	MP10			Norma		
	Válidos	Validos (%)	Promedio	Promedio	P98	Anual	24 h	24 hr
			Anual	Triannual	Promedio 24h			80%
2014	362	99.18%	50.78	-	93.01	-	62.0%	77.5%
2015	340	93.15%	68.02	-	146.10	-	97.4%	121.8%
2016	364	99.73%	55.25	57.8	100.1	115.6%	66.7%	83.4%
2017	365	100.00%	47.30	56.6	89.78	113.2%	59.9%	74.8%
2018	364	99.73%	80.79	61.1	142.45	122.2%	95.0%	118.7%

El promedio horario de SO_2 alcanzó un máximo a las 11 h con un valor cercano a 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, como se indica en la Figura 27. Los meses de enero a febrero presentaron valores entre 14 y 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, mientras que los meses de mayo y junio mostraron valores entre 7 y 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

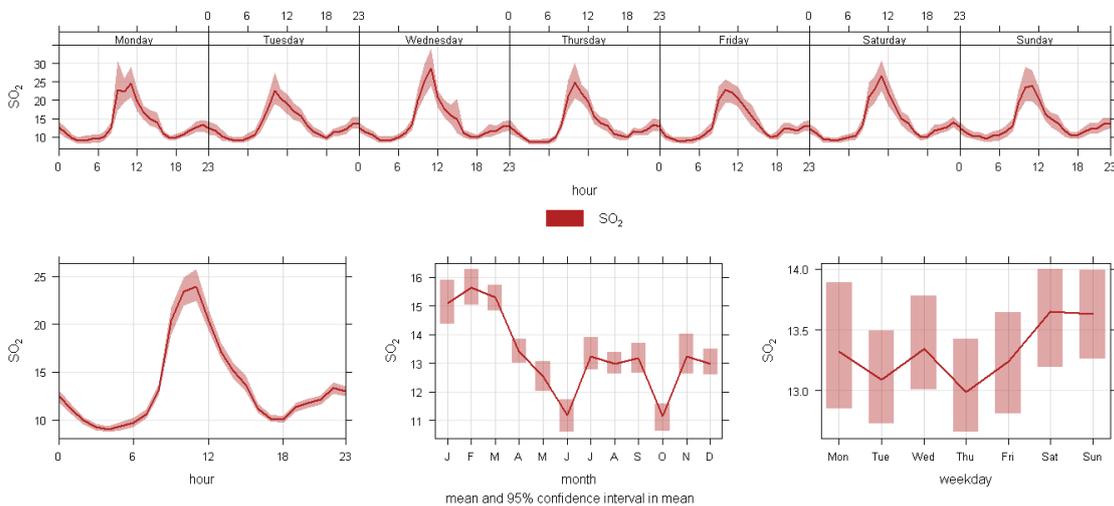


Figura 27. Ciclo estacional del SO_2 en Catemu

En la Tabla 3 se muestran las concentraciones del SO_2 medidas en estación Catemu entre los años 2014 y 2018, y su comparación con la norma primaria de calidad del aire. En ella se puede apreciar que las concentraciones anuales y diarias no sobrepasan la



norma, y que las concentraciones van a la baja. Por lo menos, en el año 2018 se presentaron menores valores que el resto de los años.

Tabla 3. Resumen de la concentración del SO₂ en estación Catemu en µg/m³N, y su comparación con norma Primaria de Calidad del Aire.

Año	Total Datos	Datos	SO ₂				Norma	
	Válidos	Validos (%)	Promedio	Promedio	P99 de	P99	Anual	24 h
			Anual	Triannual	Promedio 24h	Triannual		
2014	362	99.18%	14.37	-	36.11		-	-
2015	363	99.45%	14.36	-	29.59		-	-
2016	364	99.73%	16.04	14.93	40.58	35.43	18.7%	14.2%
2017	363	99.45%	16.76	15.72	48.73	39.63	19.7%	15.9%
2018	353	96.71%	4.85	12.63	11.58	33.63	15.8%	13.5%

La figura 28 muestra los promedios normalizados y adimensionales de la velocidad del viento, el material particulado y el SO₂ medidos en la estación Catemu entre los años 2014 y 2018. En esta figura se aprecia que el SO₂ tiene un máximo alrededor de las 11:00 AM y luego se reduce cuando el viento sopla con más fuerza, indicando una mejor dispersión. Considerando que la fundición opera en forma continua, las emisiones serían similares a cualquier hora del día, por lo que la dispersión de SO₂ por las mayores velocidades del viento generaría esta reducción de las concentraciones en estación Catemu. Sin embargo, para el MP10 el comportamiento es un poco distinto, pues presenta un primer pick alrededor de las 8 y 9 AM y otro mayor alrededor de las 19 horas.

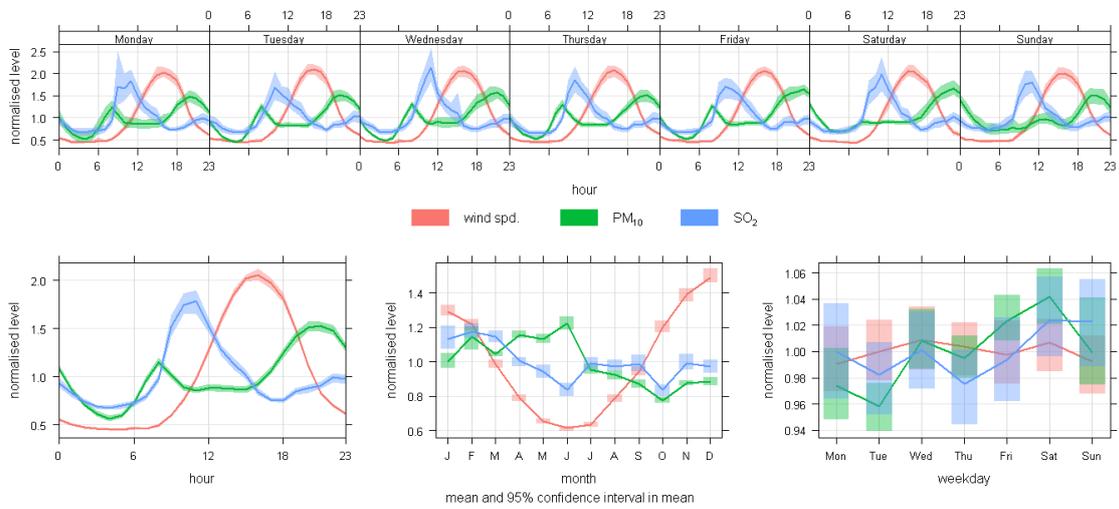


Figura 28. Ciclo estacional estandarizado de la velocidad del viento, MP10 y SO2 en la Estación Catemu desde los años 2014 al 2018

Este comportamiento es típico de las fuentes móviles que pudieran estar afectando esa zona de estudio, especialmente cuando estas circulan por caminos no pavimentados. Para el ciclo mensual se desprende que para los meses de primavera y verano las concentraciones de SO2 y MP10 disminuyen, coincidiendo con una mayor velocidad del viento. Este comportamiento también se puede apreciar en la Figura 29, donde se muestra el ciclo diario mensual de MP10 para la estación Catemu medido entre los años 2014 y 2018. En esta figura además se puede apreciar que en los años 2015 y 2018 las concentraciones del MP10 fueron bastante más altas que el resto de los años. Cabe destacar que para el mes de febrero del año 2015 es probable que la estación de monitoreo no funcionó bien, o hubo una fuente de emisión que impactó fuertemente a la estación Catemu. Para el año 2018, las mayores concentraciones ocurrieron en la tarde noche, especialmente en otoño-invierno.

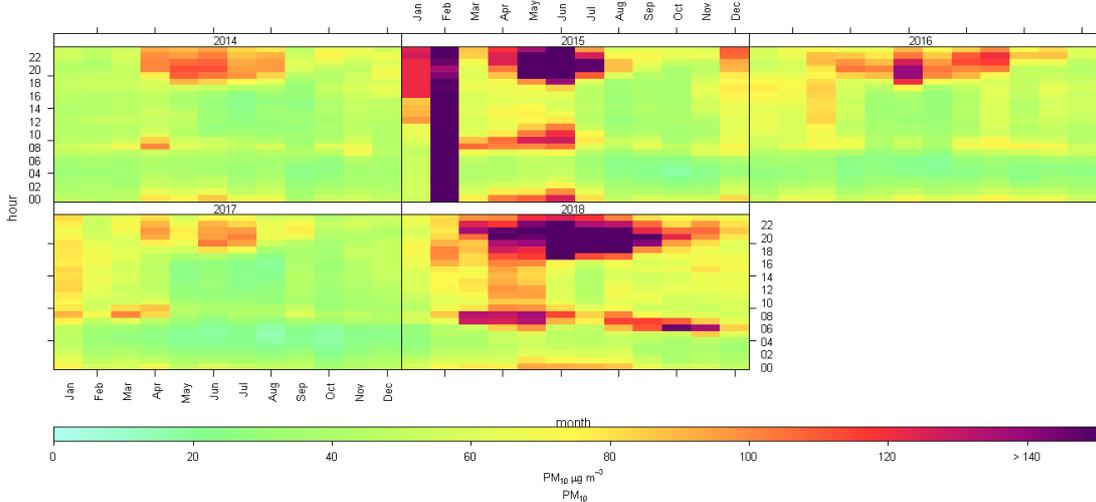


Figura 29. Ciclo horario mensual del MP10 en estación de monitoreo Catemu desde el año 2014 al año 2018

La figura 30 muestra las concentraciones mensuales del MP10, junto a sus percentiles 25 y 75 desde el año 2014 al 2018. Aquí claramente se puede apreciar que las concentraciones del MP10 aumentaron en forma considerable el año 2018, rompiendo la tendencia a la baja que venía desde el segundo semestre del año 2015. Finalmente, la figura 31 muestra la tendencia porcentual mensual del MP10 desde el año 2014 al 2018, donde se aprecia que hay una tendencia promedio al alza del 10.23% por año, con un intervalo de confianza de 1.32 y 19.41%, con un 95% de confianza.

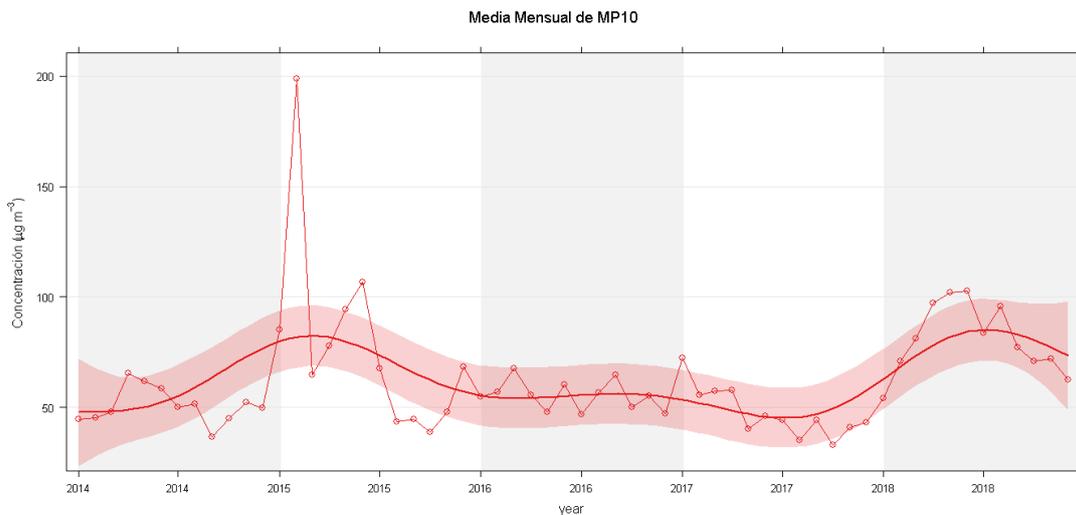


Figura 30. Concentración media mensual del MP10 en estación de monitoreo Catemu desde el año 2014 al año 2018

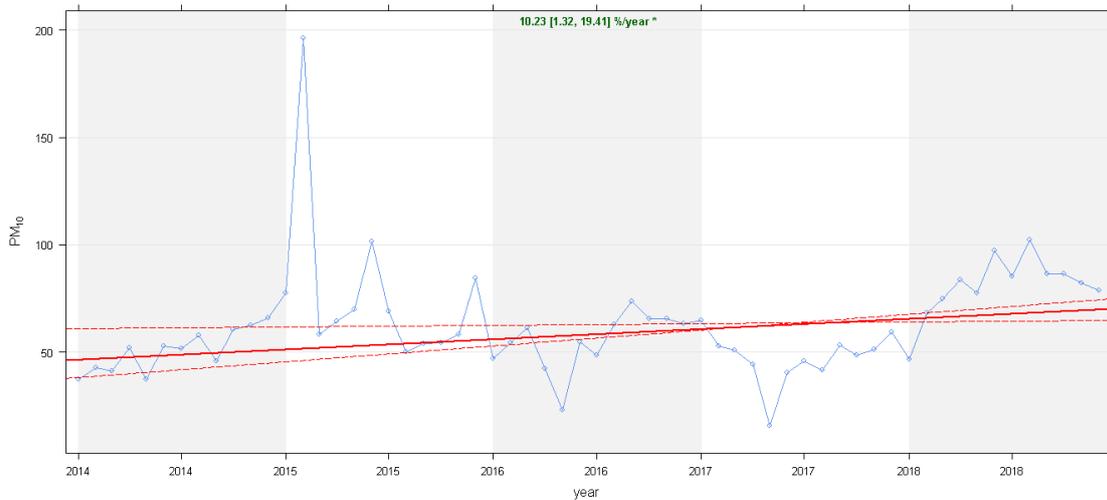


Figura 31. Tendencia porcentual de la media mensual del MP10 en estación de monitoreo Catemu desde el año 2014 al año 2018

El comportamiento del SO_2 se muestra en la figura 32, donde se muestra el ciclo diario mensual para la estación Catemu medido entre los años 2014 y 2018. Se puede apreciar que este comportamiento estacional fue similar entre los años 2014 y 2017, donde se muestra concentraciones mayores de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en los meses de primavera y verano entre las 10:00 y las 12:00 del día. También se muestran las menores concentraciones en los meses de otoño-invierno, especialmente durante la madrugada. El año 2018 presentó también un comportamiento estacional similar, pero con menores concentraciones que el resto de los meses.

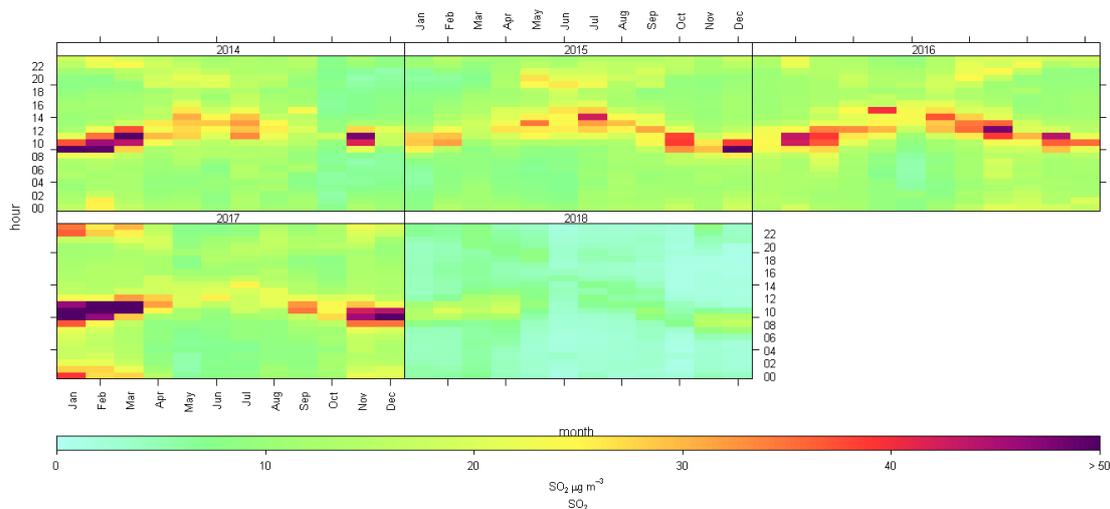


Figura 32. Ciclo horario mensual del SO_2 en estación de monitoreo Catemu desde el año 2014 al año 2018



La figura 33 muestra las concentraciones mensuales del SO₂, junto a sus percentiles 25 y 75 desde el año 2014 al 2018. Aquí claramente se puede apreciar que las concentraciones del SO₂ disminuyeron en forma considerable desde el año 2017 hasta el 2018, rompiendo la tendencia al alza que venía desde el año 2015. Finalmente, la figura 34 muestra la tendencia porcentual mensual del SO₂ desde el año 2014 al 2018, donde se aprecia que hay una tendencia promedio a la baja del 9.56% por año, con un intervalo de confianza de 4.25 y 12.45%, con un 95% de confianza.

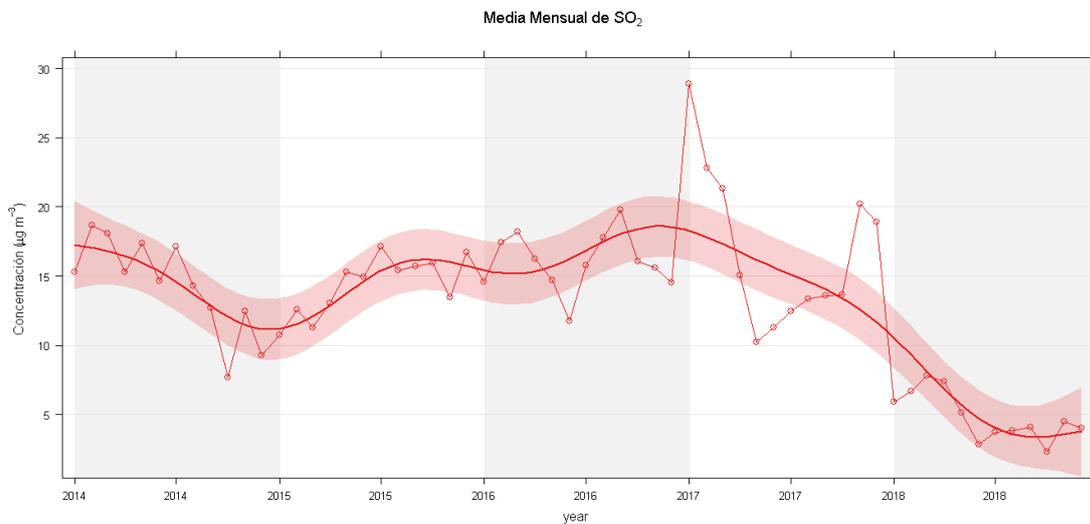


Figura 33. Concentración media mensual del SO₂ en estación de monitoreo Catemu desde el año 2014 al año 2018

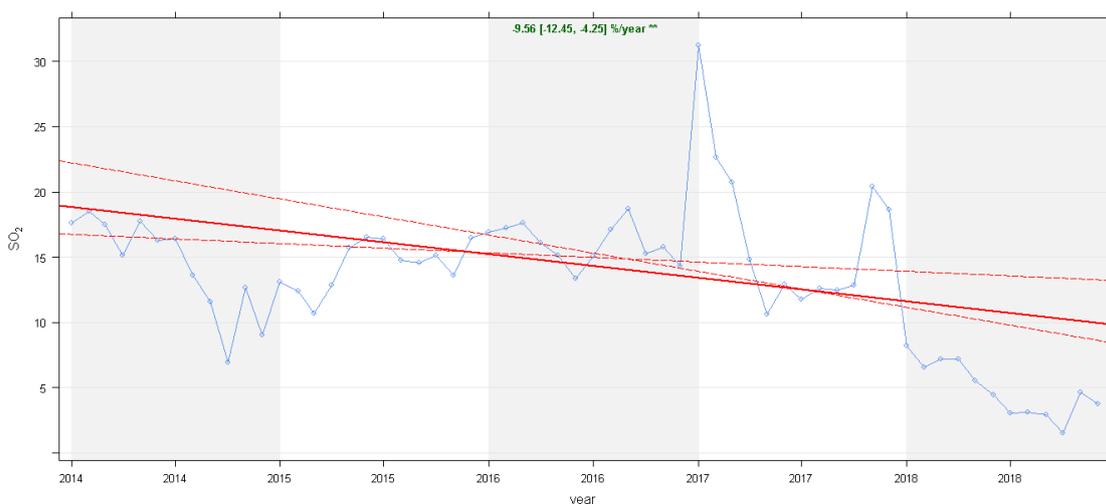


Figura 34. Tendencia porcentual de la media mensual del SO₂ en estación de monitoreo Catemu desde el año 2014 al año 2018



Estación Santa Margarita

Según los datos reportados por la estación durante los años 2014 al año 2018, el promedio horario de SO_2 alcanzó un máximo a las 20 h, con un valor cercano a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, como se indica en la Figura 35. Los meses de diciembre a febrero presentaron valores de alrededor de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, mientras que los meses de junio y julio mostraron valores entre 20 y $25 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Los jueves presentaron un valor inferior al resto de los días de la semana.

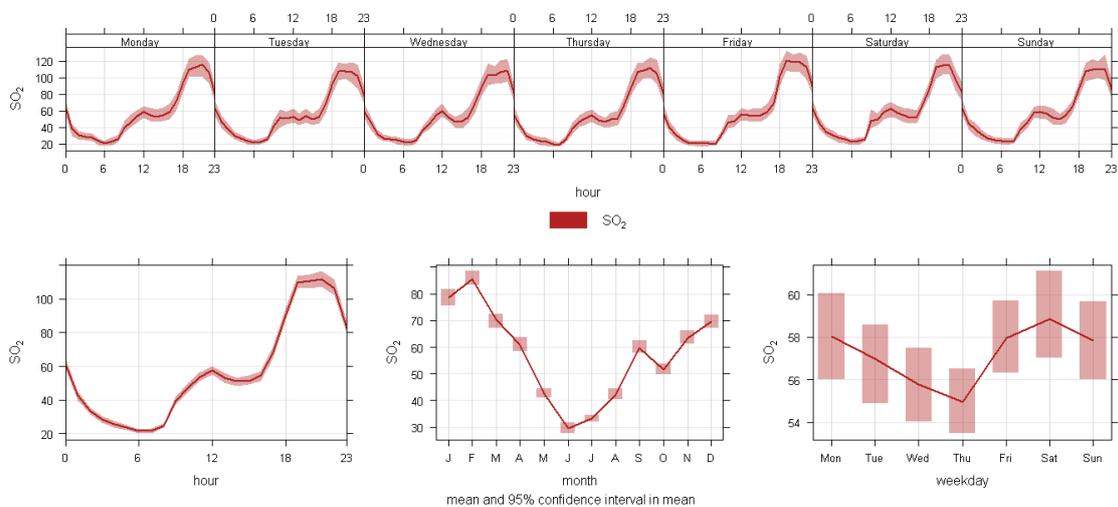


Figura 35. Ciclo estacional del SO_2 en Santa Margarita

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones del SO_2 medidas en estación Sta. Margarita entre los años 2014 y 2018, y su comparación con la norma primaria de calidad del aire. En ella se puede apreciar que las concentraciones anuales y diarias no sobrepasan la norma, y que las concentraciones van a la baja. En efecto, en el año 2018 se presentaron menores valores que el resto de los años, con solo un 67.1% de la norma anual y un 55.0% de la norma diaria de SO_2 .



Tabla 4. Resumen de la concentración del SO₂ en estación Sta. Margarita en µg/m³N, y su comparación con norma Primaria de Calidad del Aire.

Año	Total Datos	Datos	SO ₂				Norma	
	Válidos	Validos (%)	Promedio	Promedio	P99 de	P99	Anual	24 h
			Anual	Triannual	Promedio 24h	Triannual		
2014	362	99.18%	62.22	-	144.97	-	-	-
2015	363	99.45%	63.04	-	119.78	-	-	-
2016	364	99.73%	68.82	64.69	176.22	146.99	80.9%	58.8%
2017	359	98.36%	68.78	66.88	182.51	159.50	83.6%	63.8%
2018	353	96.71%	23.53	53.71	53.66	137.46	67.1%	55.0%

La figura 36 muestra los promedios normalizados y adimensionales de la velocidad del viento y el SO₂ medidos en la estación Sta. Margarita entre los años 2014 y 2018. En esta figura se aprecia que el SO₂ tiene un máximo entre las 20 y 22 horas, y luego se reduce durante la madrugada hasta un segundo pick bastante menor que ocurre alrededor de las 12:00 horas. A esa hora el viento comienza a soplar con más fuerza, dispersando las concentraciones del SO₂ que se registran en dicha estación. Esto sigue ocurriendo hasta que nuevamente el viento comienza a bajar su intensidad alrededor de las 18:00, y el SO₂ nuevamente comienza a elevarse hasta el pick mayor mencionado anteriormente. Considerando que la fundición opera en forma continua, las emisiones serían similares a cualquier hora del día, por lo que la dispersión de SO₂ por las mayores velocidades del viento generaría esta reducción de las concentraciones en estación Sta. Margarita. Esta estación también muestra mayores concentraciones del SO₂ en los meses de primavera y verano, estaciones donde también hay mayores velocidades del viento mensuales. Este comportamiento también se puede apreciar en la figura 37, donde se muestra el comportamiento estacional del SO₂ para los distintos años. En esta figura se aprecia que el año 2018 la estación Sta. Margarita registró mucho menores concentraciones de SO₂ que el resto de los años.

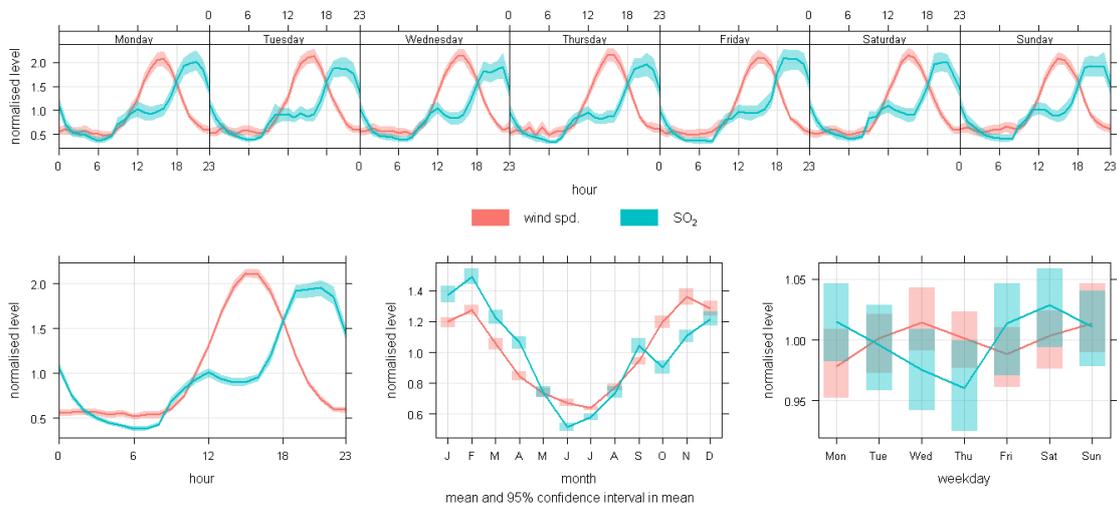


Figura 36. Ciclo estacional estandarizado de la velocidad del viento y SO₂ en la Estación Santa Margarita desde los años 2014 al 2018

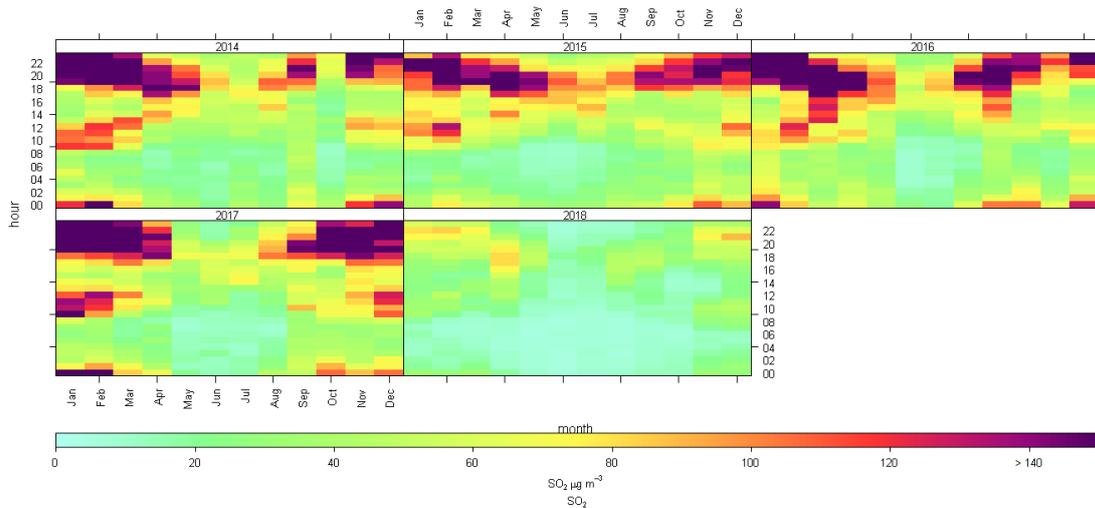


Figura 37. Ciclo horario mensual del SO₂ en estación de monitoreo Santa Margarita desde el año 2014 al año 2018

La figura 38 muestra las concentraciones mensuales del SO₂, junto a sus percentiles 25 y 75 desde el año 2014 al 2018 de la estación Santa Margarita. Aquí claramente se puede apreciar que las concentraciones del SO₂ disminuyeron en forma considerable desde el segundo semestre del año 2016 hasta el 2018, rompiendo la tendencia al alza que venía desde el último trimestre del año 2014. Finalmente, la figura 39 muestra la tendencia porcentual mensual del SO₂ desde el año 2014 al 2018, donde se aprecia que



hay una tendencia promedio a la baja del 6.75% por año, con un intervalo de confianza de 0.57 y 10.69%, con un 95% de confianza.

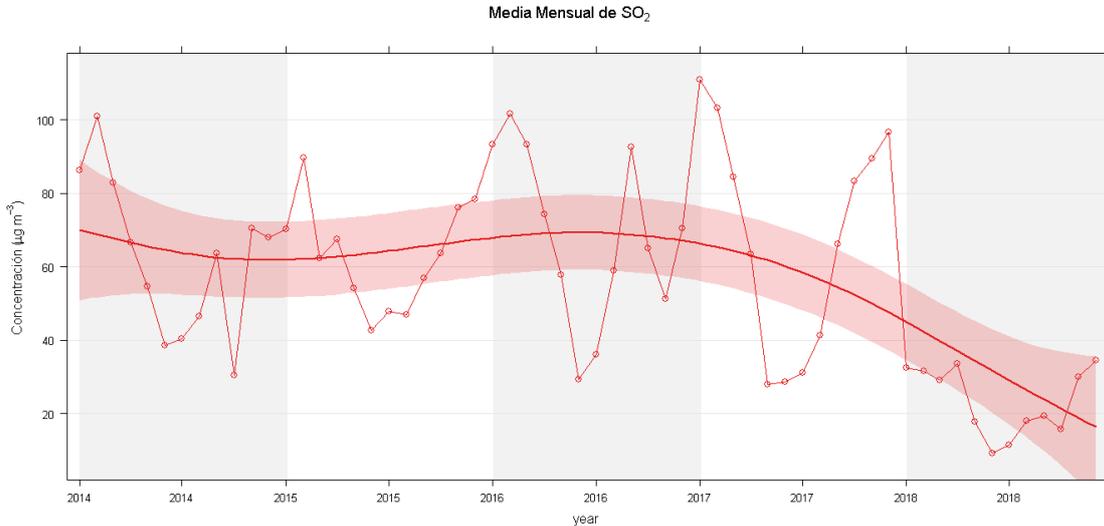


Figura 38. Concentración media mensual del SO₂ en estación de monitoreo Santa Margarita desde el año 2014 al año 2018

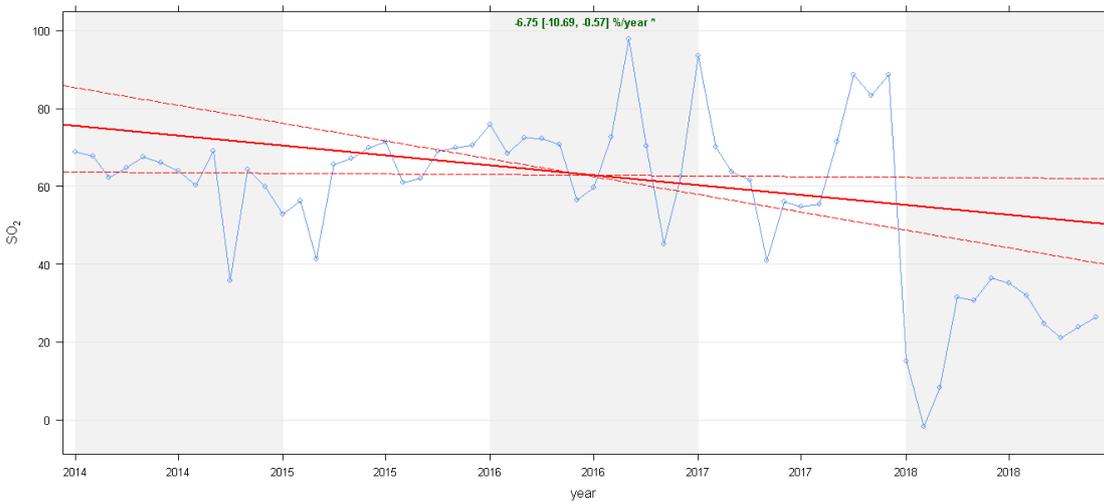


Figura 39. Tendencia porcentual de la media mensual del SO₂ en estación de monitoreo Santa Margarita desde el año 2014 al año 2018

Estación Romeral

Según los datos reportados por la estación durante los años 2014 al 2018, el promedio horario de SO₂ alcanzó un máximo a las 10 h, con un valor cercano a 29 µg/m³N, como se indica en la Figura 40. El mes de mayo presentó los mayores valores mensuales de alrededor de 15.5 µg/m³N, los valores menores se registraron en el mes de enero y



octubre. Finalmente, se puede apreciar que estadísticamente no hay diferencias significativas durante los distintos días de la semana.

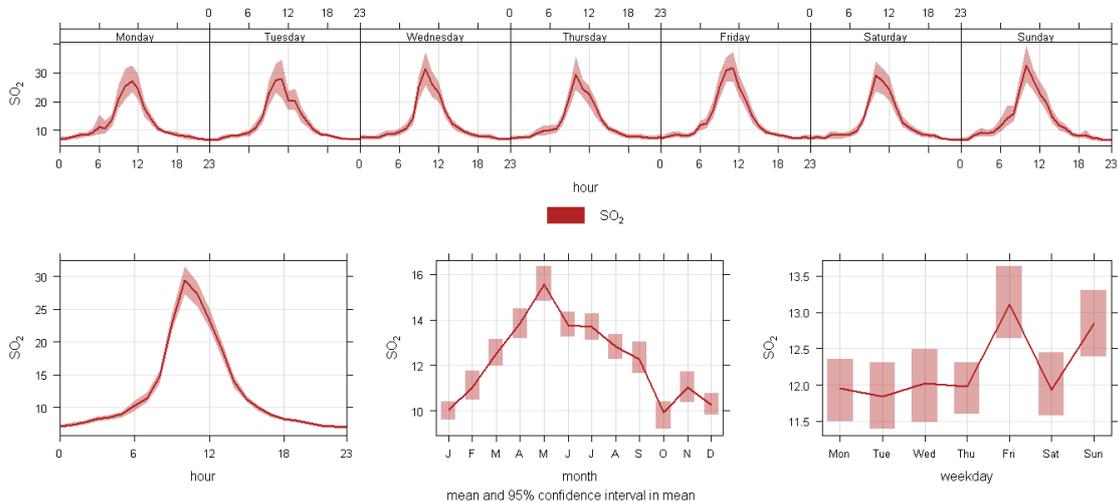


Figura 40. Ciclo estacional del SO₂ en Romeral

En la Tabla 5 se muestran las concentraciones del SO₂ medidas en estación Romeral entre los años 2014 y 2018, y su comparación con la norma primaria de calidad del aire. También se puede apreciar que las concentraciones anuales y diarias no sobrepasan la norma, y que las concentraciones van a la baja. En efecto, en el año 2018 se presentaron menores valores que el resto de los años, con solo un 14.4% de la norma anual y un 11.6% de la norma diaria de SO₂.

Tabla 5. Resumen de la concentración del SO₂ en estación Romeral en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, y su comparación con norma Primaria de Calidad del Aire.

Año	Total Datos	Datos	SO ₂				Norma	
	Válidos	Validos (%)	Promedio	Promedio	P99 de	P99	Anual	24 h
			Anual	Triannual	Promedio 24h	Triannual		
2014	361	98.90%	14.03	-	35.93	-	-	-
2015	363	99.45%	12.76	-	33.59	-	-	-
2016	363	99.45%	14.87	13.88	40.61	36.71	17.4%	14.7%
2017	363	99.45%	14.99	14.21	35.15	36.45	17.8%	14.6%
2018	325	89.04%	4.05	11.51	11.00	28.92	14.4%	11.6%



La figura 41 muestra los promedios normalizados y adimensionales de la velocidad del viento y el SO₂ medidos en la estación Romeral entre los años 2014 y 2018. En esta figura se aprecia que el SO₂ tienen un máximo alrededor de las 10 AM, y luego se reduce en forma importante en la medida que aumenta la velocidad del viento debido a la dispersión del SO₂. Las concentraciones del SO₂ disminuyen durante la noche y madrugada, este comportamiento se podría deber al cambio de la dirección del viento. Las concentraciones mensuales de SO₂ presentaron una mayor concentración en el mes de mayo, coincidiendo con menores velocidades del viento durante ese mes. Pero en verano el comportamiento fue opuesto debido a una mayor dispersión de contaminantes. Este comportamiento también se refleja en la figura 42, mostrando la diferencia entre los distintos años de muestreo. En efecto, en esta figura se muestra una clara estacionalidad del SO₂ entre los años 2014 y 2017, con mayores concentraciones superiores a los 40 µg/m³N en invierno entre las 10:00 y 12:00 horas. Esta tendencia es similar para el año 2018, pero con concentraciones máximas menores a los 25 µg/m³N. Las menores concentraciones ocurrieron en la época estival durante la madrugada.

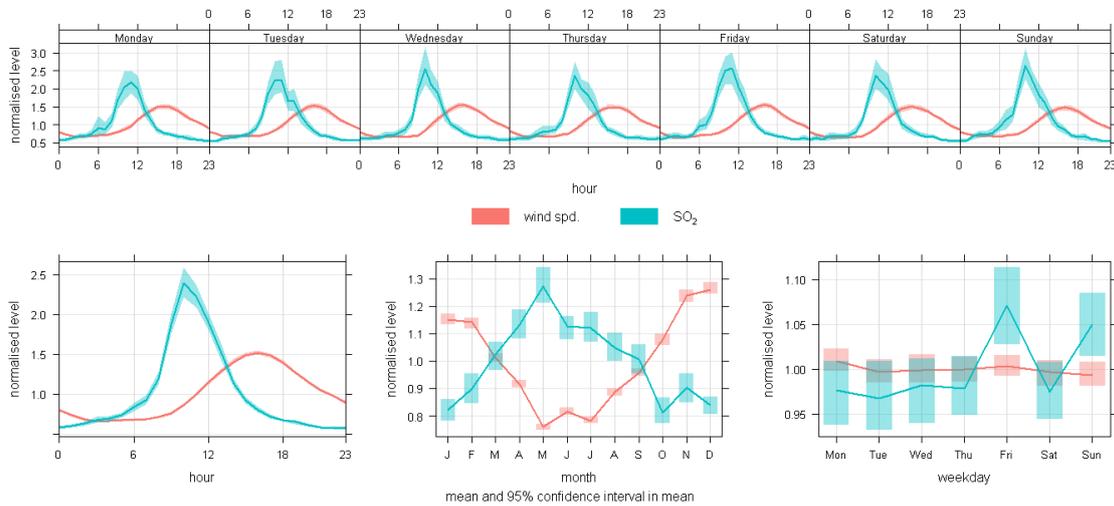


Figura 41. Ciclo estacional estandarizado de la velocidad del viento y SO₂ en la Estación Romeral desde los años 2014 al 2018

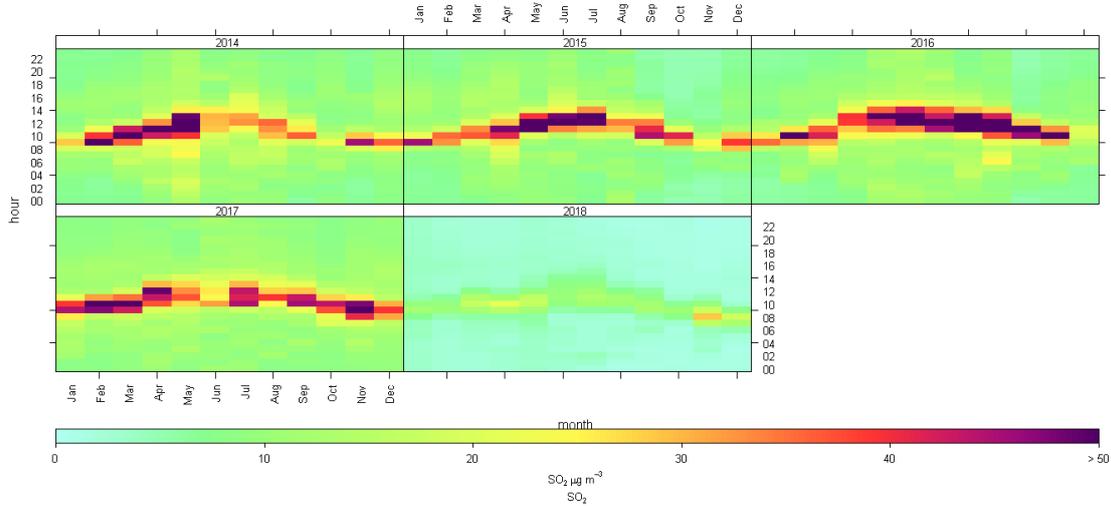


Figura 42. Ciclo horario mensual del SO₂ en estación de monitoreo Romeral desde el año 2014 al año 2018

La figura 43 muestra las concentraciones mensuales del SO₂, junto a sus percentiles 25 y 75 desde el año 2014 al 2018 de la estación Romeral. Aquí claramente se puede apreciar que las concentraciones del SO₂ disminuyeron en forma considerable desde el primer trimestre del 2017 hasta el 2018, rompiendo la tendencia al alza que venía desde el último trimestre del año 2015. Finalmente, la figura 44 muestra la tendencia porcentual mensual del SO₂ desde el año 2014 al 2018, donde se aprecia que hay una tendencia promedio a la baja del 7.55% por año, con un intervalo de confianza de 0.88 y 12.15%, con un 95% de confianza.

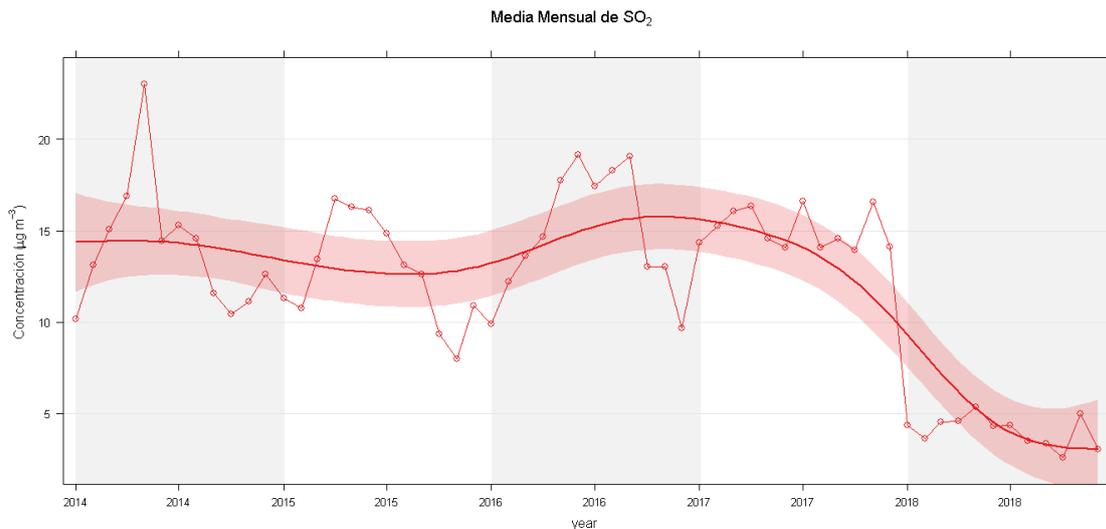


Figura 43. Concentración media mensual del SO₂ en estación de monitoreo Romeral desde el año 2014 al año 2018

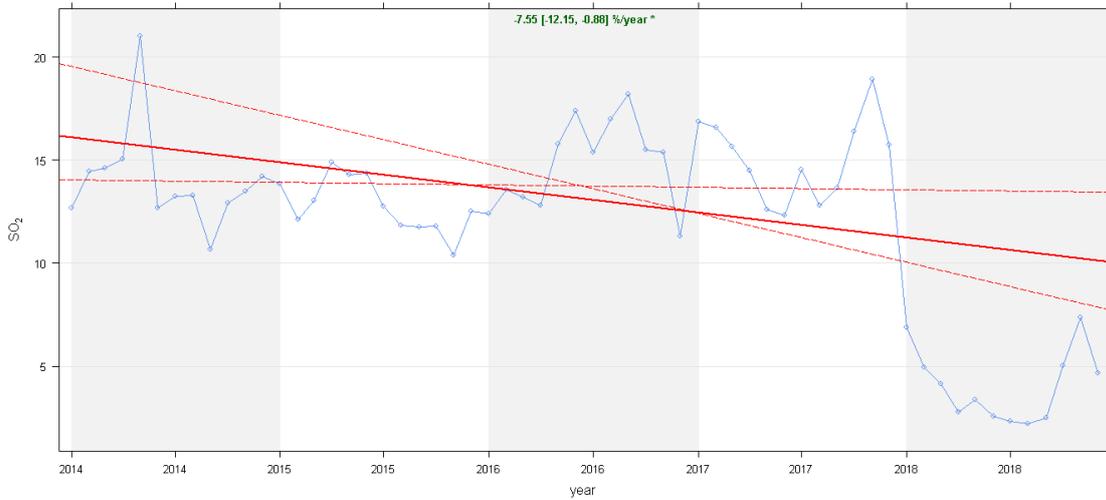


Figura 44. Tendencia porcentual de la media mensual del SO2 en estación de monitoreo Romeral desde el año 2014 al año 2018

Estación Lo Campo

Según los datos reportados por la estación durante los años 2014 al 2018, el promedio horario de MP10 alcanzó un primer máximo a las 19:00 h con un valor cercano a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, como se indica en la Figura 45. También se muestra un segundo pick que ocurrió alrededor de las 12:00 horas, con un valor horario promedio de 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. El mes de mayo presentó un valor mensual máximo de alrededor de 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, mientras que el mes de octubre mostrará valores menores a 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

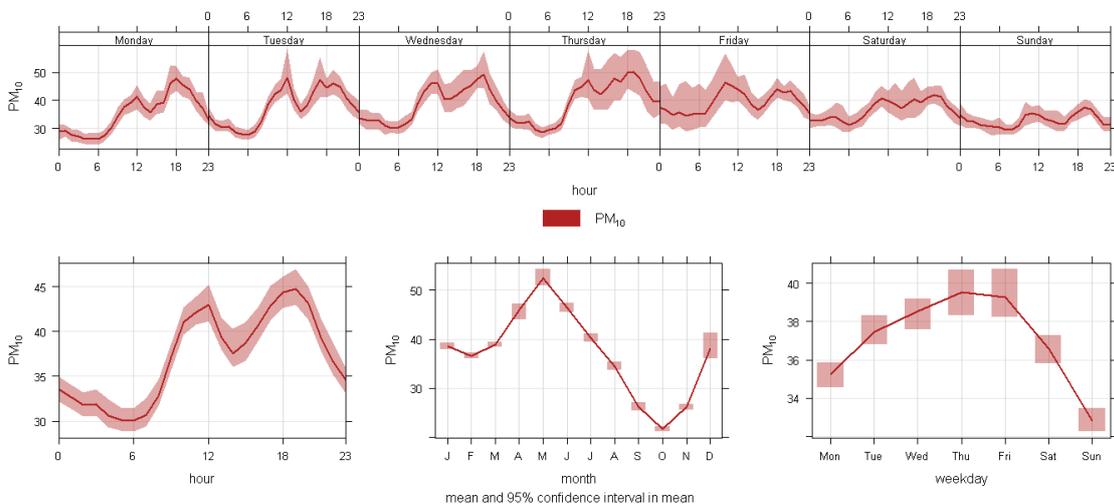


Figura 45. Ciclo estacional del MP10 en Lo Campo



En la Tabla 6 se muestran las concentraciones del MP10 medidas en estación Lo Campo entre los años 2014 y 2018. Aquí se puede apreciar claramente que la norma anual de MP10 se está cumpliendo, incluso el valor de latencia, con un máximo del 92.2% del 80% de la norma de 24 horas. Aun los resultados son positivos, la zona de latencia no es tan lejana, por lo que se deben redoblar esfuerzos en la zona de estudio para reducir los valores de las concentraciones de MP10 de la estación La Campo.

Tabla 6. Resumen de la concentración del MP10 en estación Lo Campo en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, y su comparación con norma Primaria de Calidad del Aire.

Año	Total Datos	Datos	MP10			Norma		
	Válidos	Validos (%)	Promedio	Promedio	P98 de	Anual	24 h	24 hr
			Anual	Triannual	Promedio 24h			80%
2014	359	98.36%	36.28	-	63.44	-	42.3%	52.9%
2015	340	93.15%	36.47	-	71.04	-	47.4%	59.2%
2016	358	98.08%	31.03	34.59	94.00	14.6%	62.7%	78.3%
2017	363	99.45%	34.85	34.12	88.97	15.5%	59.3%	74.1%
2018	352	96.44%	46.28	37.39	110.60	19.0%	73.7%	92.2%

En los meses de diciembre y enero se produjo un segundo máximo cercano a los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Finalmente, se observa que los días domingo ocurrieron menores concentraciones respecto al resto de los días de la semana. Según los datos reportados por la estación durante los años 2014 al 2018, el promedio horario de SO_2 alcanzó un primer máximo a las 11:00 h, con un valor cercano a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, como se indica en la Figura 46. También se observa un segundo pick alrededor de las 22 horas cercano a los $41 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Los menores valores ocurrieron alrededor de las 7:00 AM. El mes de febrero presentó el mayor promedio mensual de alrededor de $42 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, entre junio y agosto se presentaron los menores valores que fueron menores a las $25 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

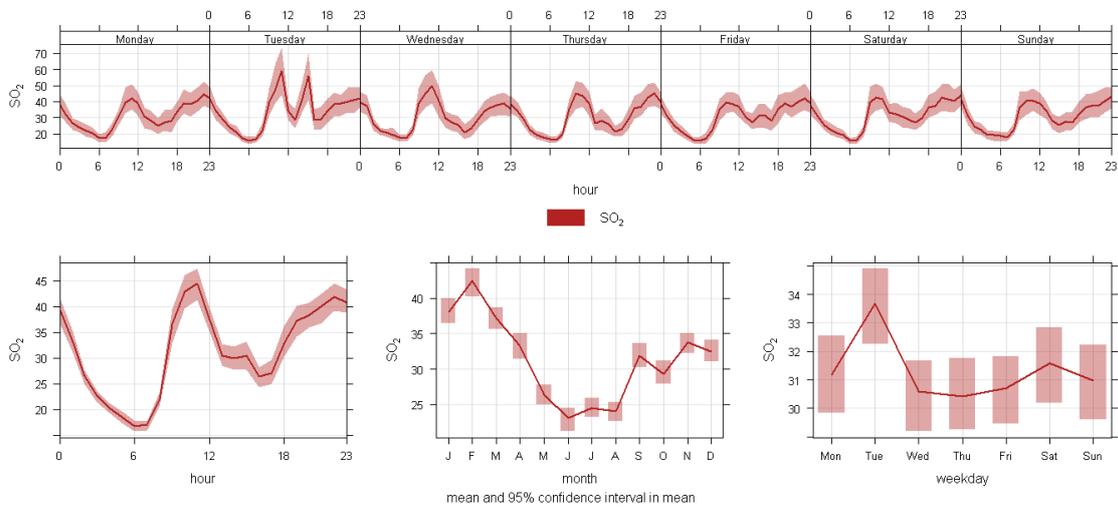


Figura 46. Ciclo estacional del SO₂ en Lo Campo

En la Tabla 7 se muestran las concentraciones del SO₂ medidas en estación Lo Campo entre los años 2014 y 2018, y su comparación con la norma primaria de calidad del aire. También se puede apreciar que las concentraciones anuales y diarias no sobrepasan la norma, y que las concentraciones van a la baja. En efecto, en el año 2018 se presentaron menores valores que el resto de los años, con solo un 27.7% de la norma anual y un 15.9% de la norma diaria de SO₂.

Tabla 7. Resumen de la concentración del SO₂ en estación Lo Campo en µg/m³N, y su comparación con norma Primaria de Calidad del Aire.

Año	Total Datos	Datos	SO2				Norma	
	Válidos	Validos (%)	Promedio	Promedio	P99 de	P99	Anual	24 h
			Anual	Triannual	Promedio 24h	Triannual		
2014	359	98.36%	27.29	-	83.54	-	-	-
2015	362	99.18%	63.3	-	123.30	-	-	-
2016	364	99.73%	28.67	39.75	89.63	98.82	49.7%	35.9%
2017	361	98.90%	26.12	39.36	80.84	97.92	49.2%	32.3%
2018	351	96.16%	11.77	22.19	39.63	70.03	27.7%	15.9%



La figura 47 muestra los promedios normalizados y adimensionales de la velocidad del viento, el material particulado y el SO2 medidos en la estación Lo Campo entre los años 2014 y 2018. En esta figura se aprecia que el SO2 tienen un máximo alrededor de las 11:00 AM y luego se reduce cuando el viento sopla con más fuerza, indicando una mejor dispersión, luego vuelve a subir hasta un segundo máximo que ocurre a las 22:00 horas, coincidiendo que la velocidad del viento comienza a bajar su intensidad después de las 19:00 horas. Considerando que la fundición opera en forma continua, las emisiones serían similares a cualquier hora del día, por lo que la dispersión de SO2 por las mayores velocidades del viento generaría esta reducción de las concentraciones en estación Lo Campo. Para el MP10 el comportamiento fue similar que el SO2, con un primer pick que ocurre alrededor de las 12:00 y el otro alrededor de las 19:00 horas. Este comportamiento se podría deber a las emisiones provenientes de las fuentes móviles, especialmente generadas en las rutas no pavimentadas.

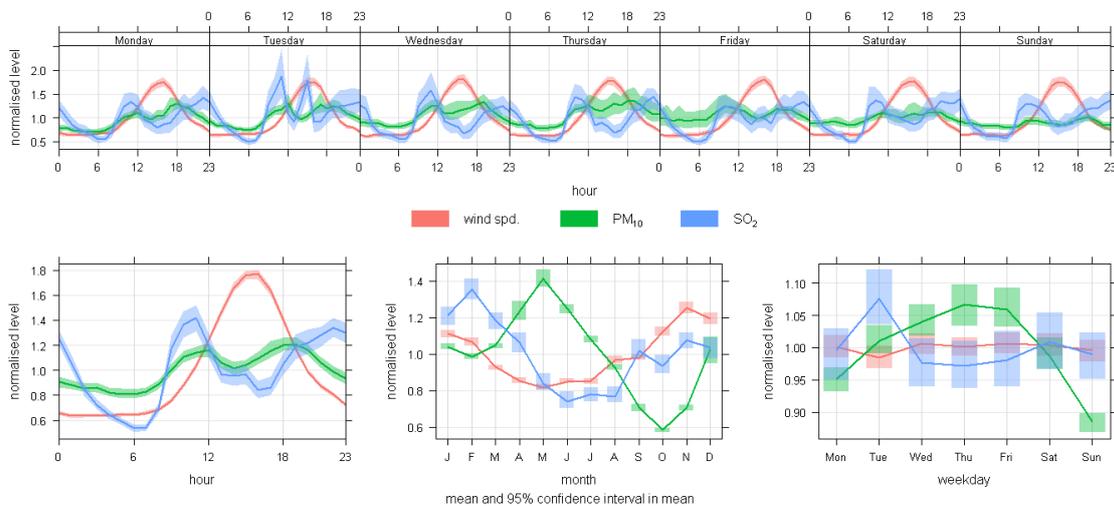


Figura 47. Ciclo estacional estandarizado de la velocidad del viento, MP10 y SO2 en la Estación Lo Campo desde los años 2014 al 2018

Este comportamiento también se puede apreciar en la Figura 48, donde se muestra el ciclo diario mensual de MP10 para la estación Lo Campo medido entre los años 2014 y 2018. En esta figura además se puede apreciar que en los años 2014 y 2017 las concentraciones del MP10 fueron bastante más bajas que el año 2018. Las mayores concentraciones del año 2018 ocurrieron en los meses de mayo y junio con un máximo ocurrido entre las 18 y 20 horas, y un segundo pick alrededor de los 12:00 horas. En abril del año 2017 también ocurrió un pick alrededor de las 18 y 19 horas.

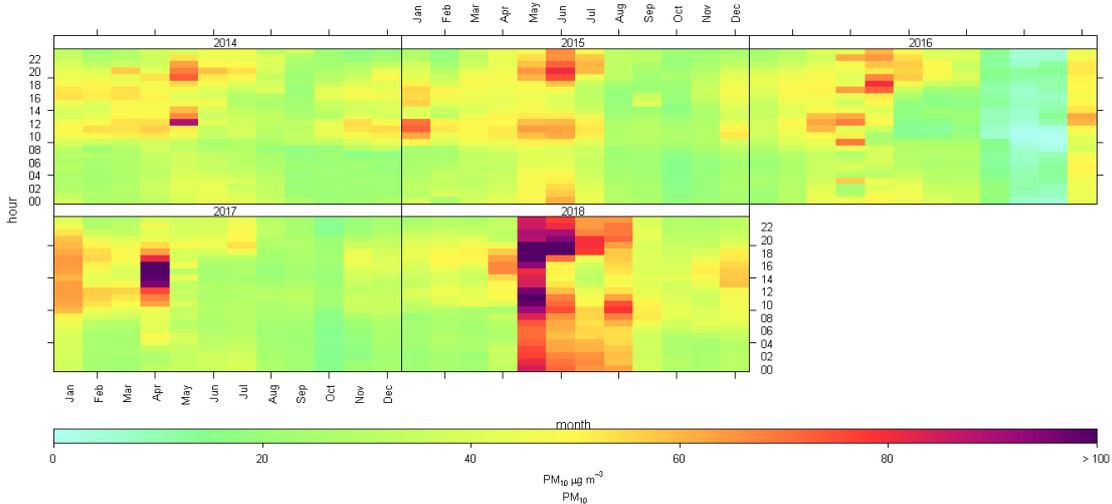


Figura 48. Ciclo horario mensual del MP10 en estación de monitoreo Lo Campo desde el año 2014 al año 2018

La figura 49 muestra las concentraciones mensuales del MP10, junto a sus percentiles 25 y 75 desde el año 2014 al 2018. Aquí claramente se puede apreciar que las concentraciones del MP10 aumentaron en forma considerable desde el segundo semestre del 2016, rompiendo la tendencia a la baja que venía desde el año 2014. Finalmente, la figura 50 muestra la tendencia porcentual mensual del MP10 desde el año 2014 al 2018, donde se aprecia que hay una tendencia promedio al alza del 1.34% por año, con un intervalo de confianza de -2.16 y 7.51%, con un 95% de confianza.

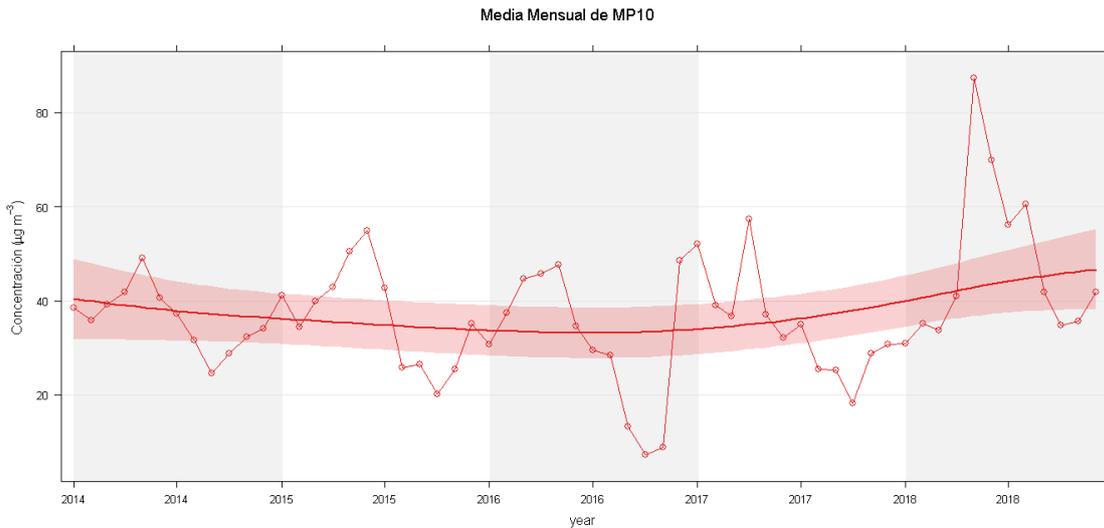


Figura 49. Concentración media mensual del MP10 en estación de monitoreo Lo Campo desde el año 2014 al año 2018

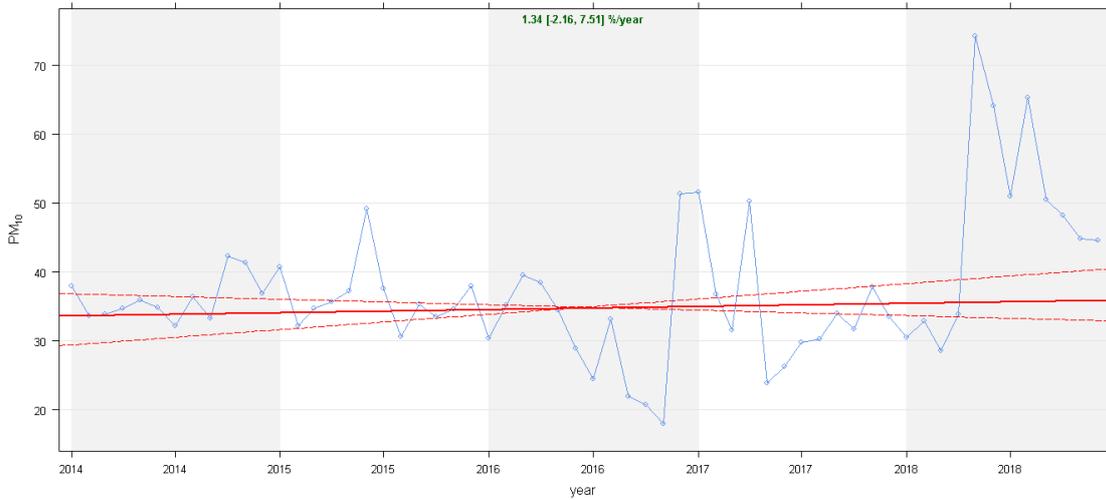


Figura 50. Tendencial porcentual de la media mensual del MP10 en estación de monitoreo Lo Campo desde el año 2014 al año 2018

Este comportamiento del SO₂ se puede apreciar en la Figura 51, donde se muestra el ciclo diario mensual de SO₂ para la estación Lo Campo medido entre los años 2014 y 2018. En esta figura además se puede apreciar que durante el año 2015 las concentraciones del SO₂ fueron bastante mayores que el resto de los años, sugiriendo una mala operación de la estación de monitoreo, pues no hay continuidad de este comportamiento al final del año 2014 y al inicio del año 2016. Finalmente, se muestran menores concentraciones durante el año 2018, con valores menores a los 60 µg/m³N.

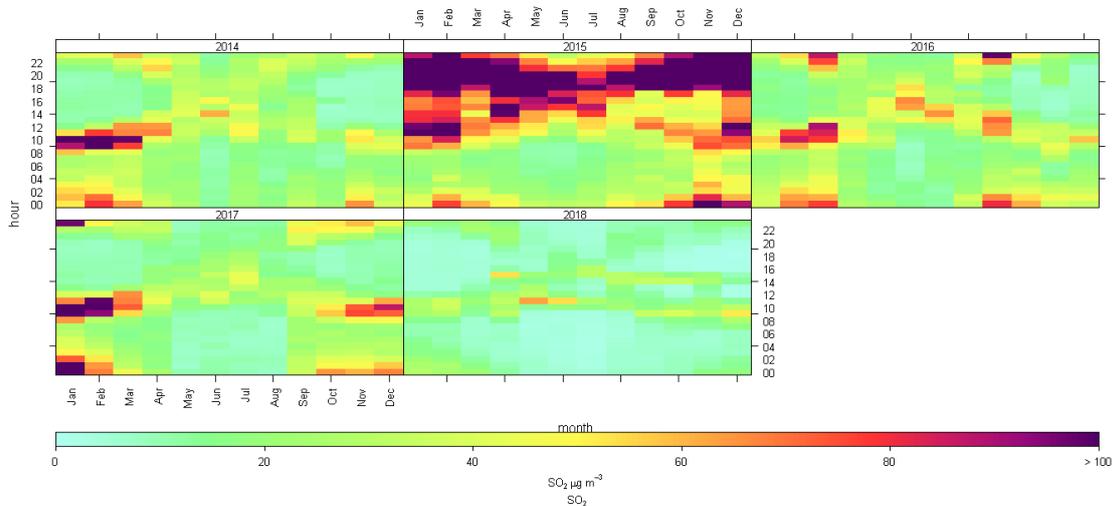


Figura 51. Ciclo horario mensual del SO₂ en estación de monitoreo Lo Campo desde el año 2014 al año 2018



La figura 52 muestra las concentraciones mensuales del SO₂, junto a sus percentiles 25 y 75 desde el año 2014 al 2018. Aquí claramente se puede apreciar que las concentraciones del SO₂ disminuyeron en forma considerable desde el segundo semestre del 2015, rompiendo la tendencia al alza que venía desde el año 2014. Finalmente, la figura 53 muestra la tendencia porcentual mensual del SO₂ desde el año 2014 al 2018, donde se aprecia que hay una tendencia promedio a la baja del 14.04% por año, con un intervalo de confianza de 9.93 y 18.90%, con un 95% de confianza.

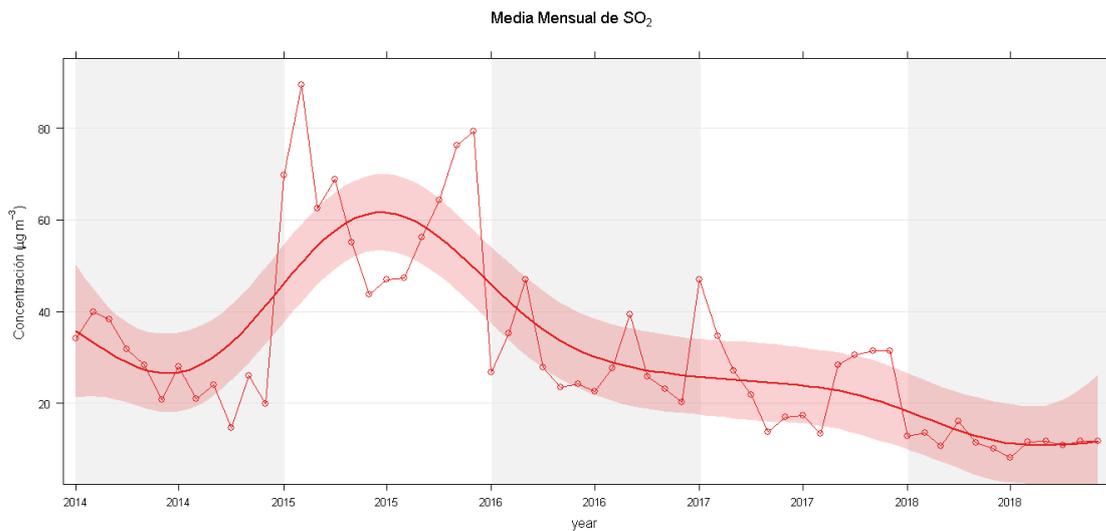


Figura 52. Concentración media mensual del SO₂ en estación de monitoreo Lo Campo desde el año 2014 al año 2018

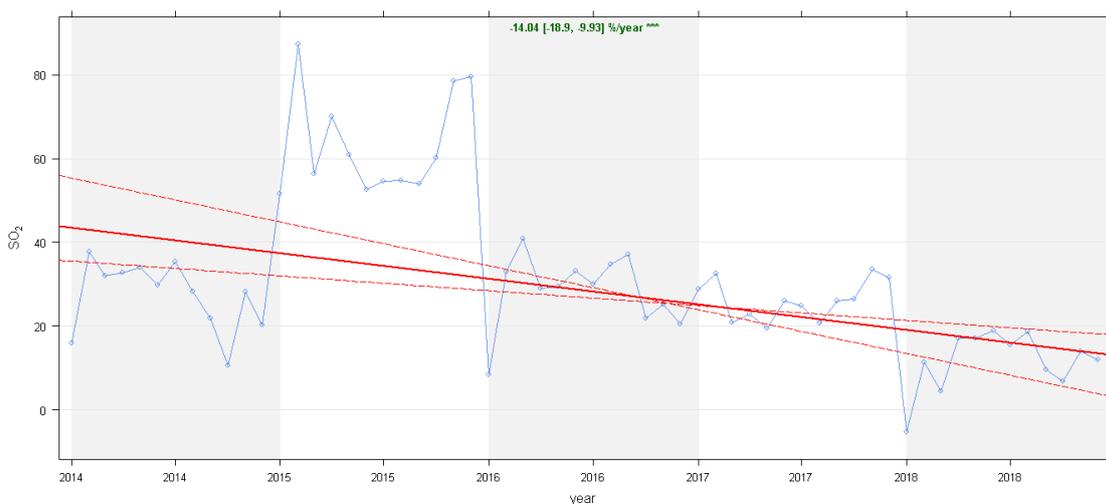


Figura 53. Tendencial porcentual de la media mensual del SO₂ en estación de monitoreo Lo Campo desde el año 2014 al año 2018



ANEXOS

A.1. Estación Catemu

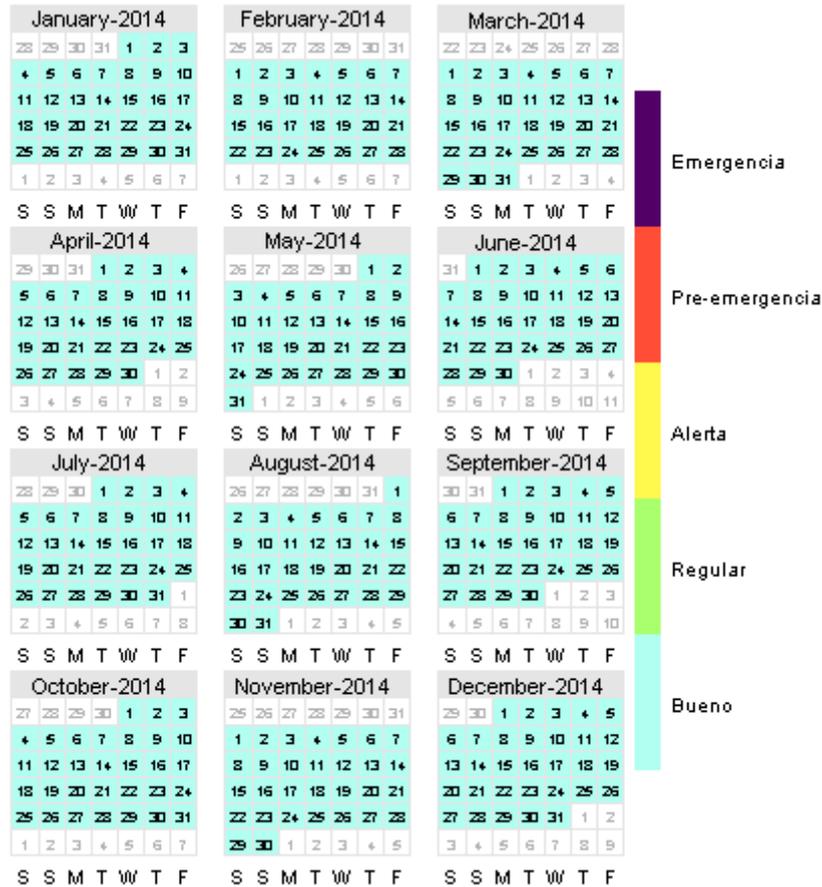


Figura A.1. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Catemu año 2014

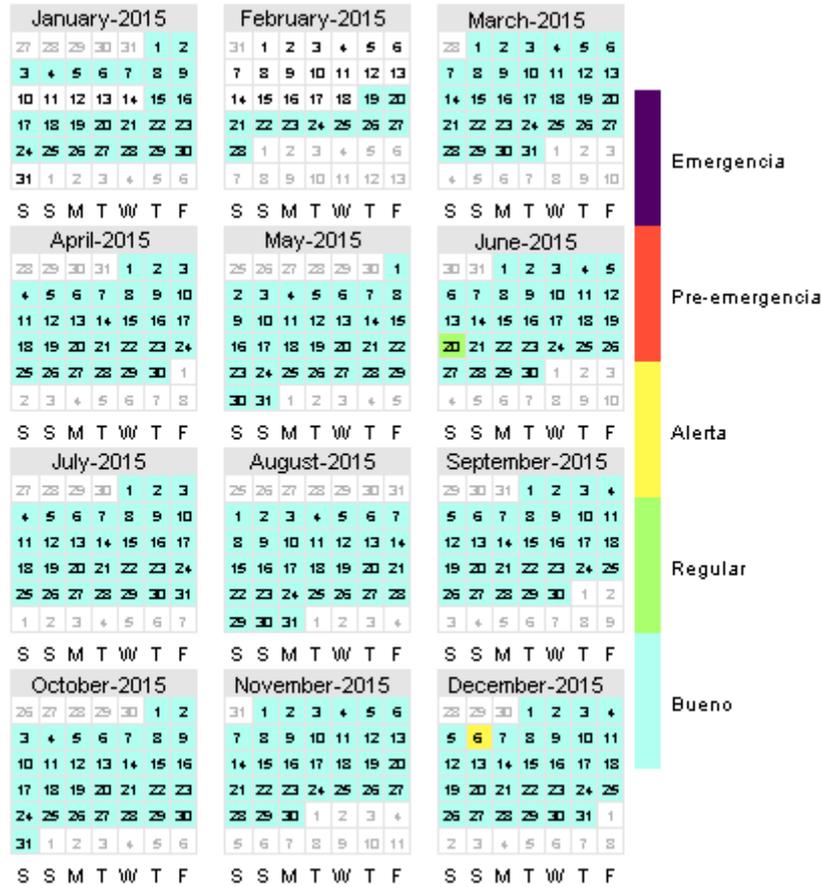


Figura A.2. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Catemu año 2015

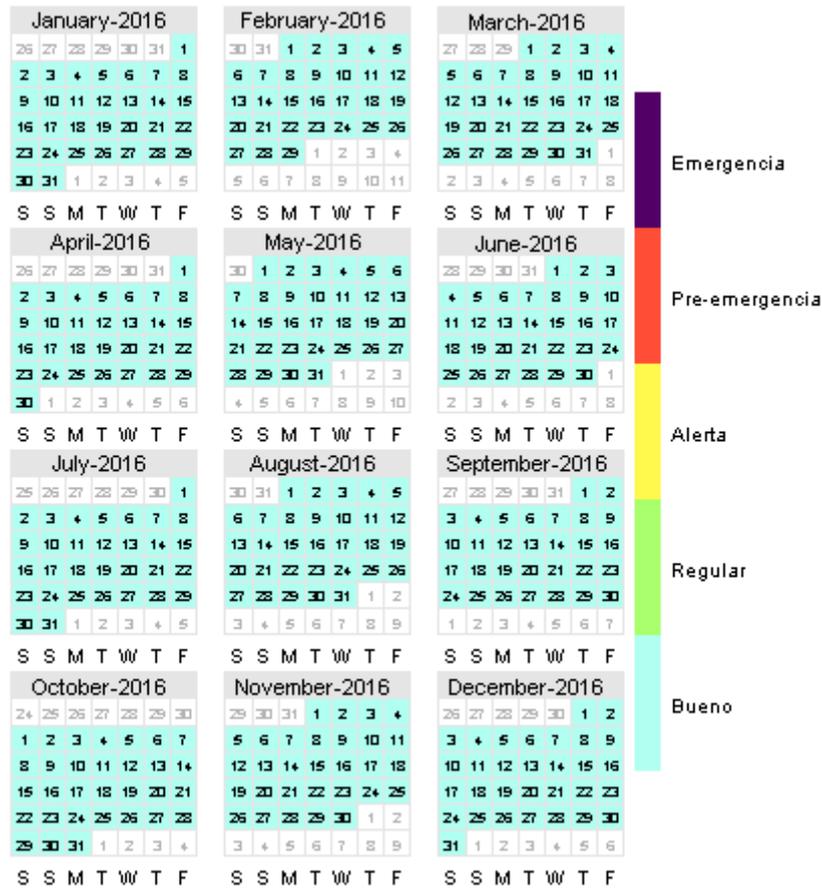


Figura A.3. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Catemu año 2016

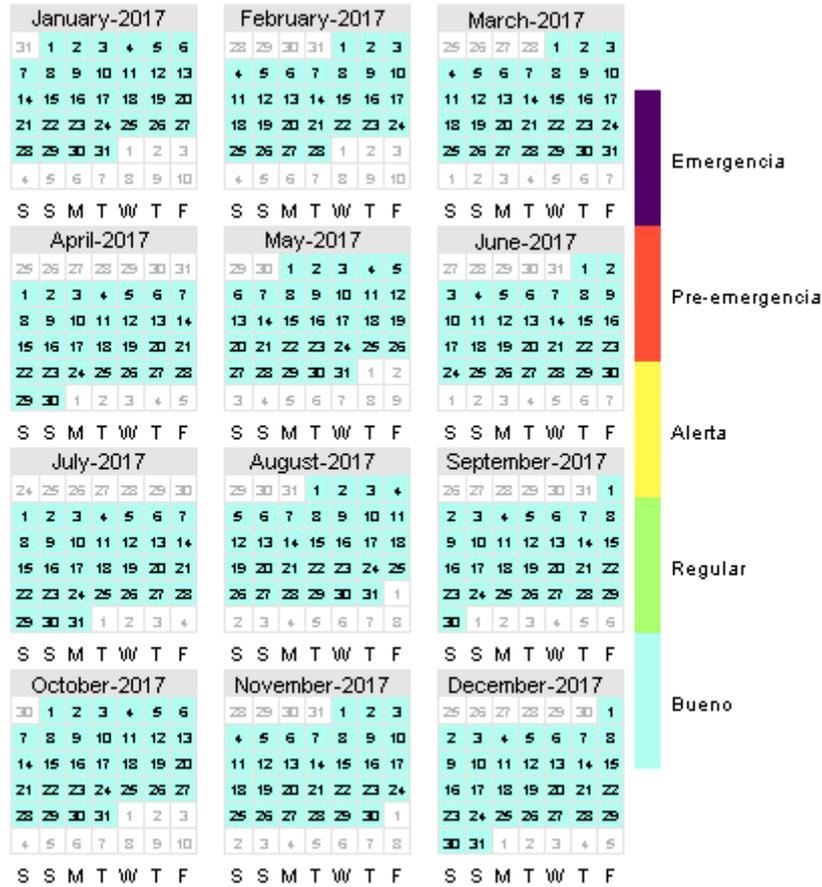


Figura A.4. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Catemu año 2017

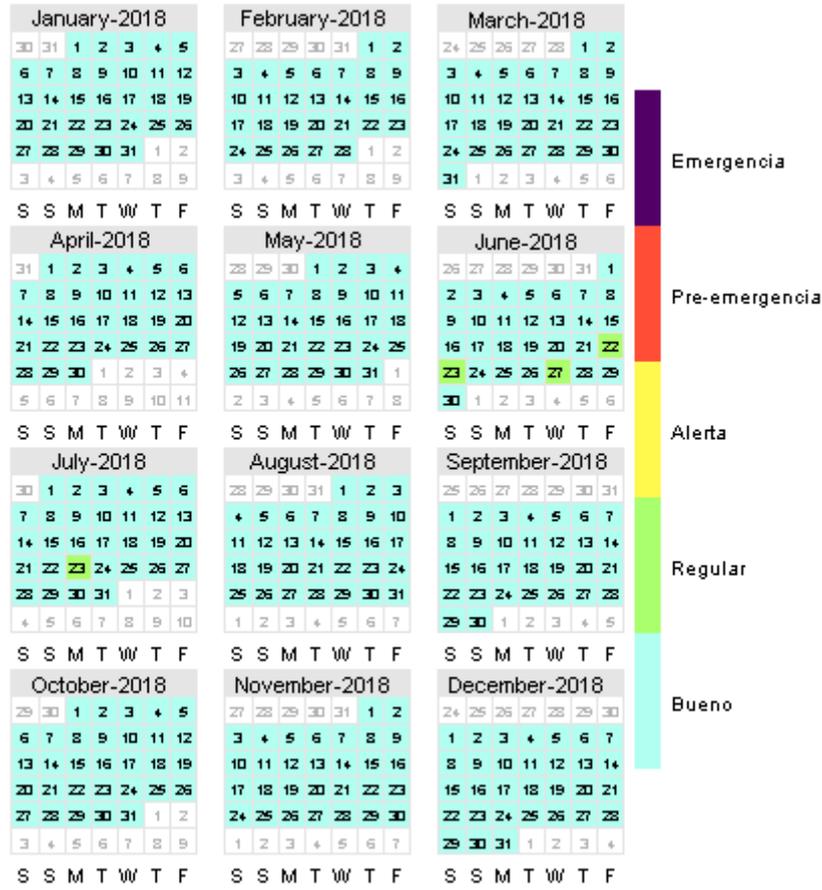


Figura A.5. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Catemu año 2018

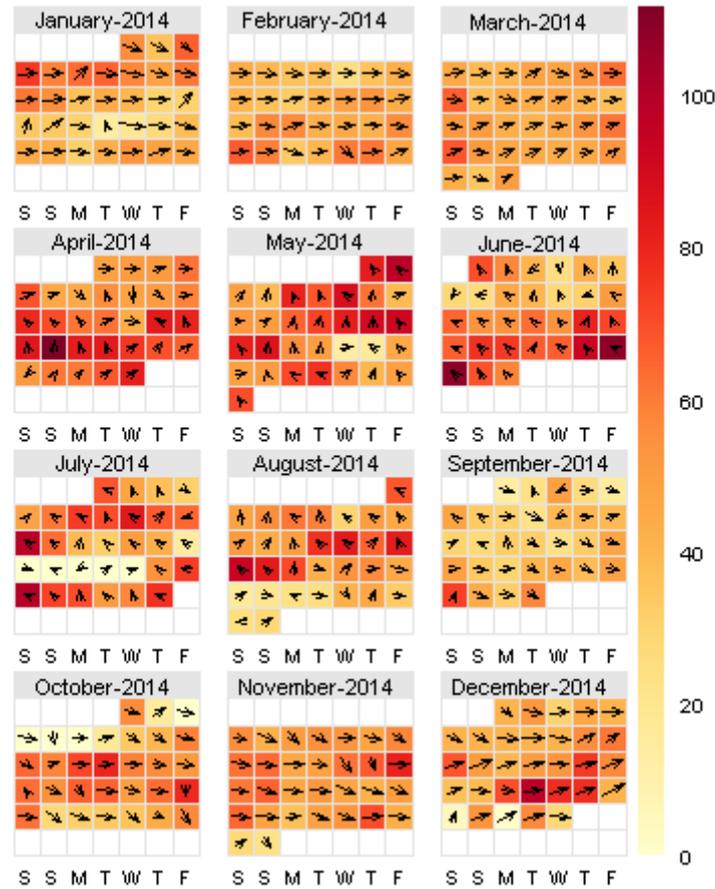


Figura A.6. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Catemu año 2014.

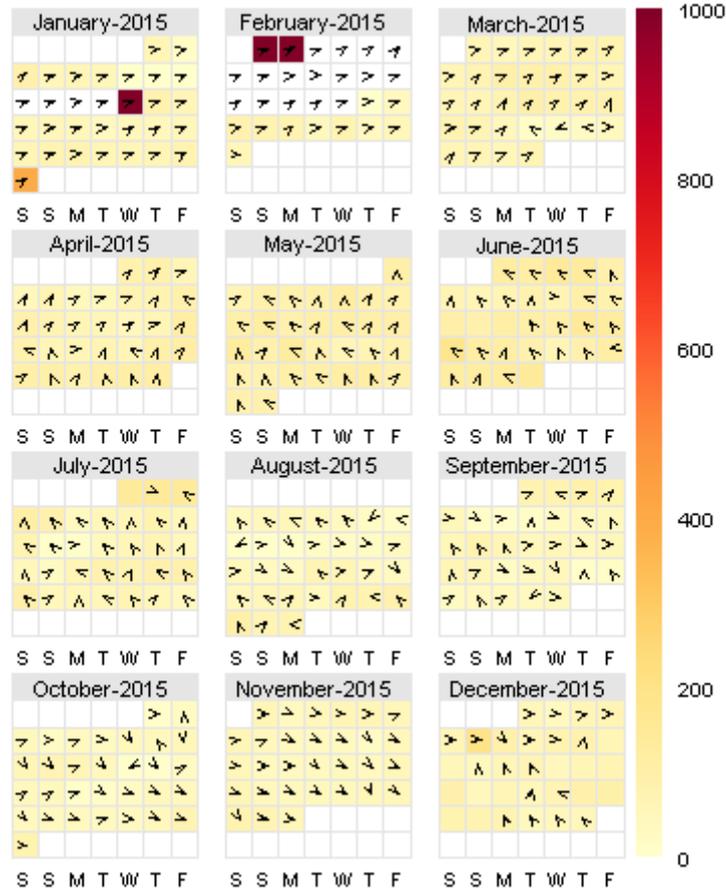


Figura A.7. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Catemu año 2015.

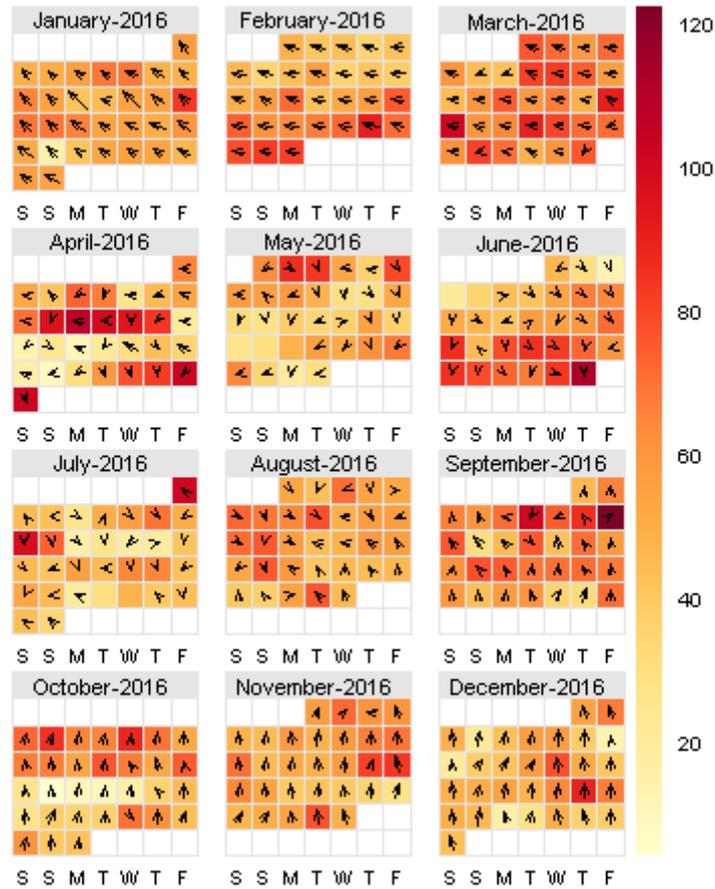


Figura A.8. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Catemu año 2016.

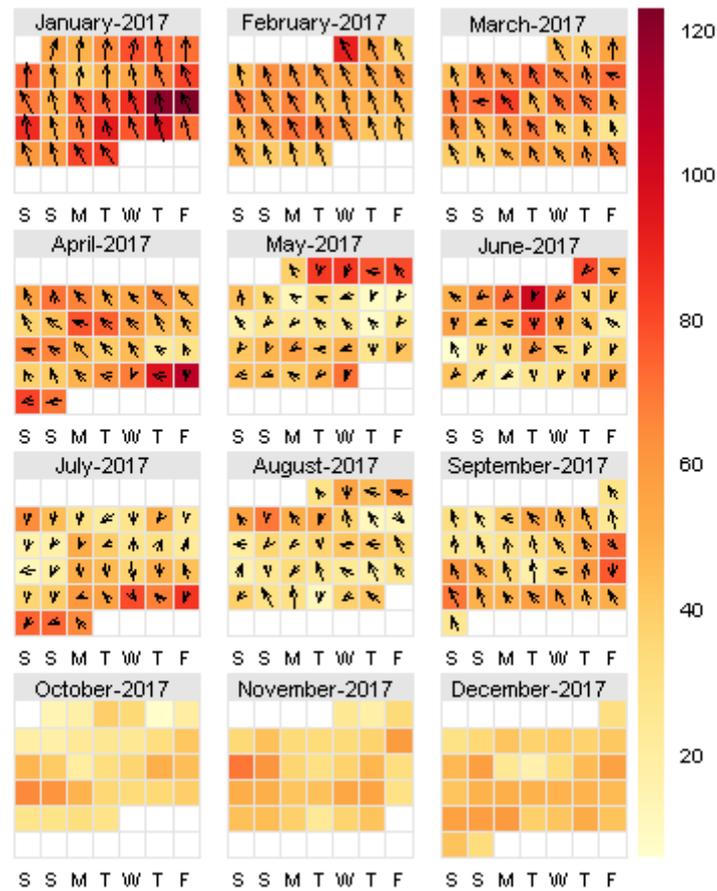


Figura A.9. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Catemu año 2017.



CalendarPlotSO₂CatemuEpisodios2014

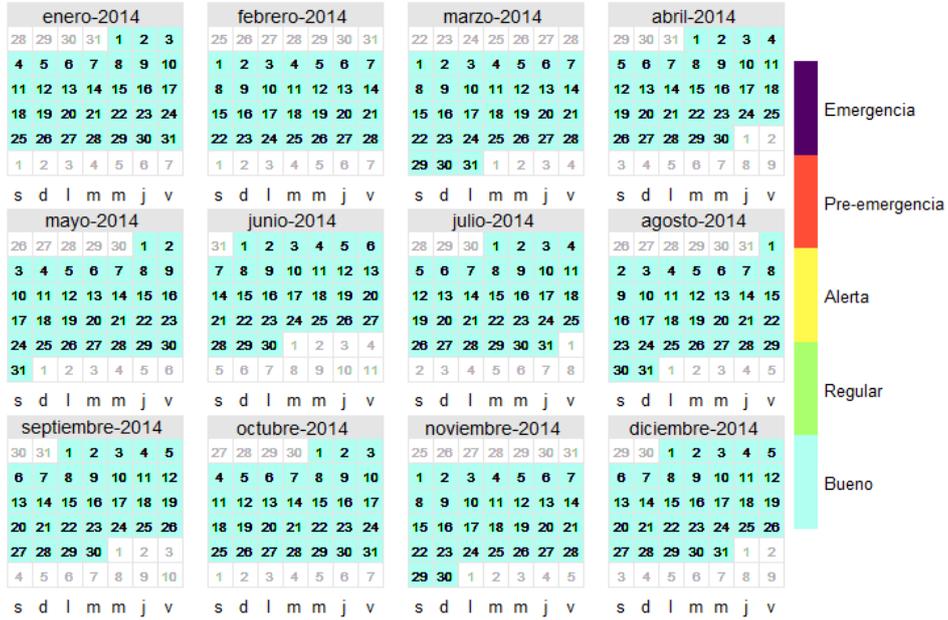


Figura A.11. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Catemu año 2014

CalendarPlotSO₂CatemuEpisodios2015

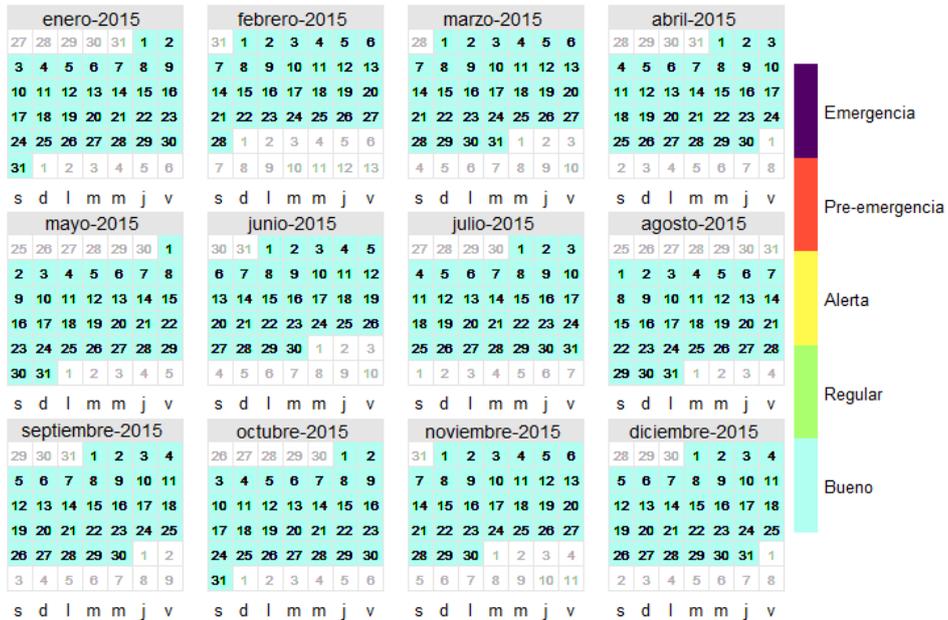


Figura A.12. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Catemu año 2015



CalendarPlotSO₂CatemuEpisodios2016

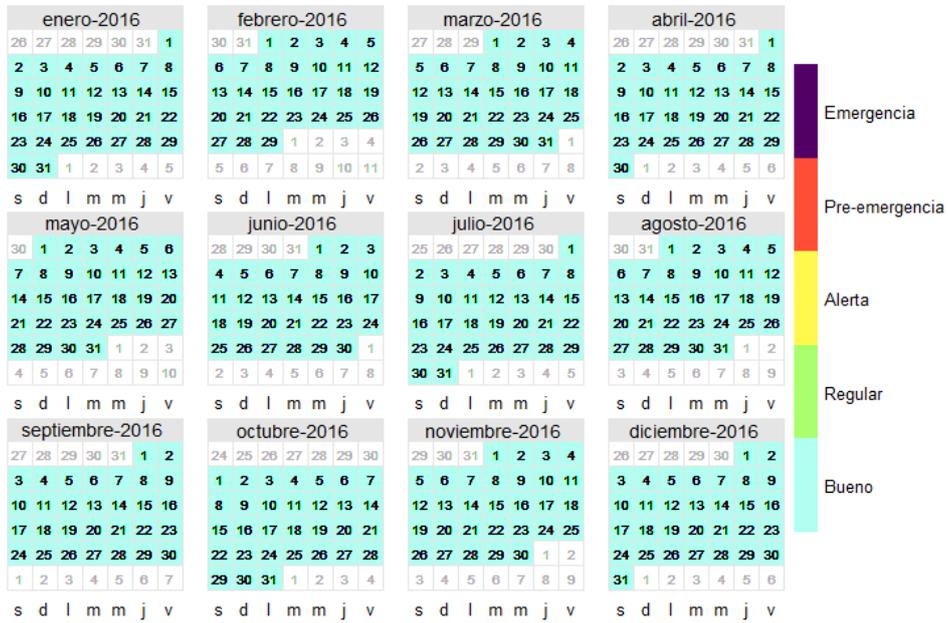


Figura A.13. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Catemu año 2016

CalendarPlotSO₂CatemuEpisodios2017

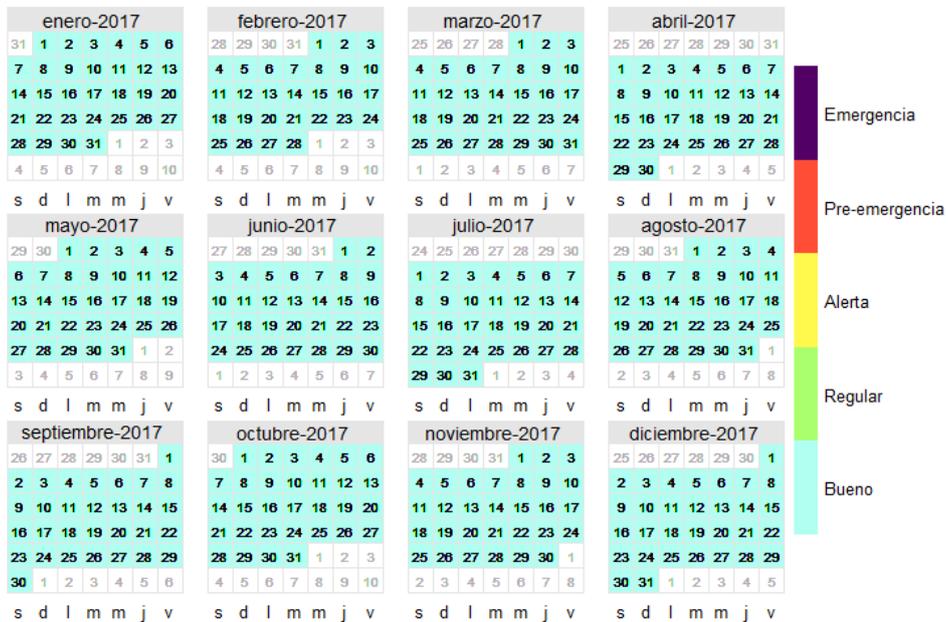


Figura A.14. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Catemu año 2017

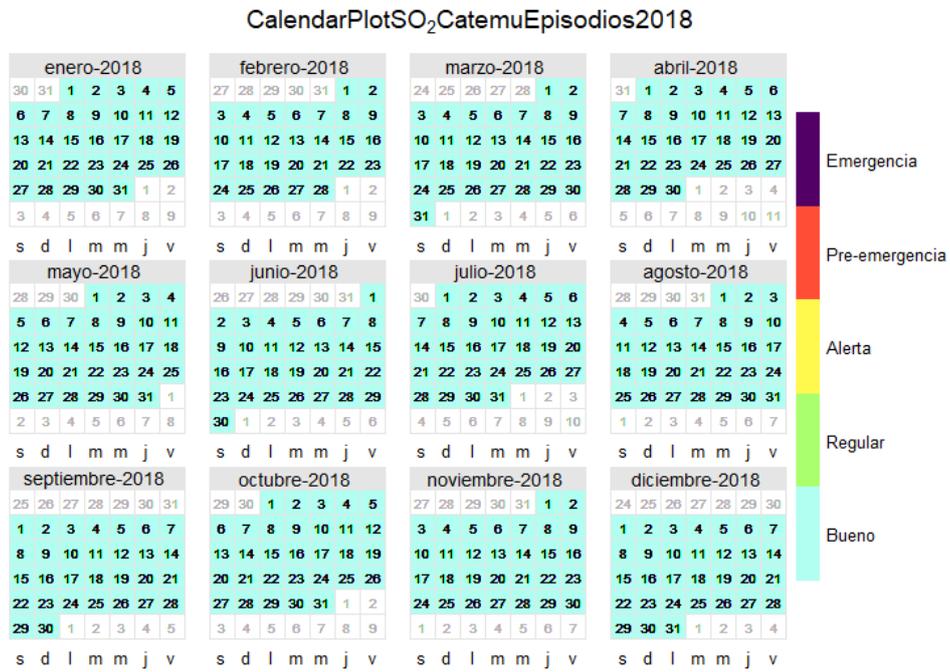


Figura A.15. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Catemu año 2018



A.2 Estación Lo Campo

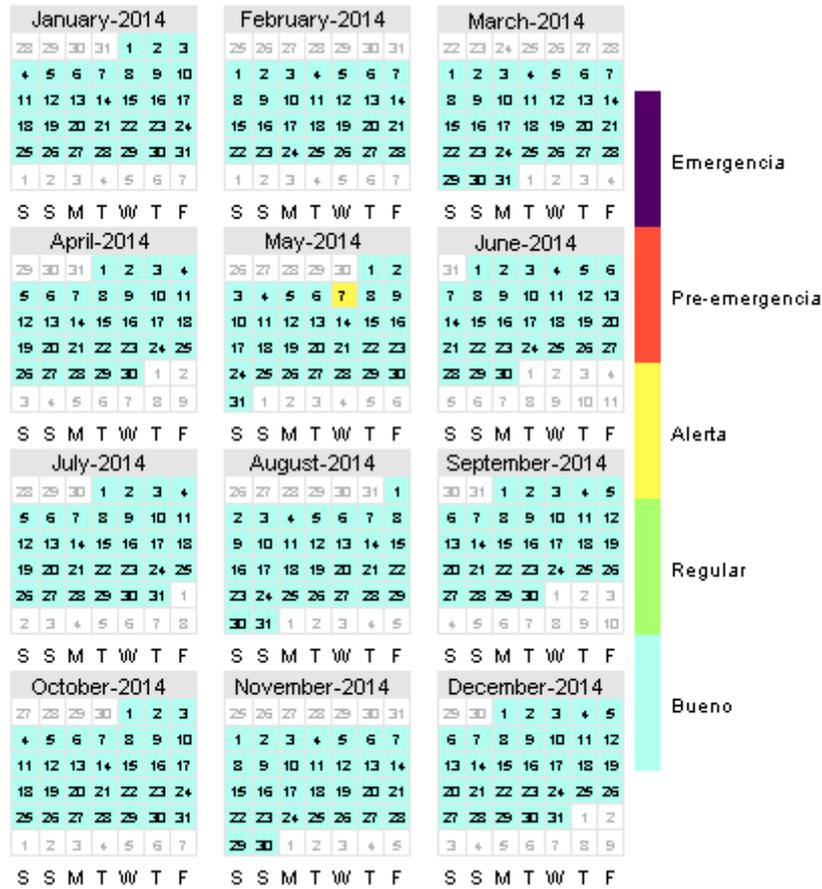


Figura A.16. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Lo Campo año 2014

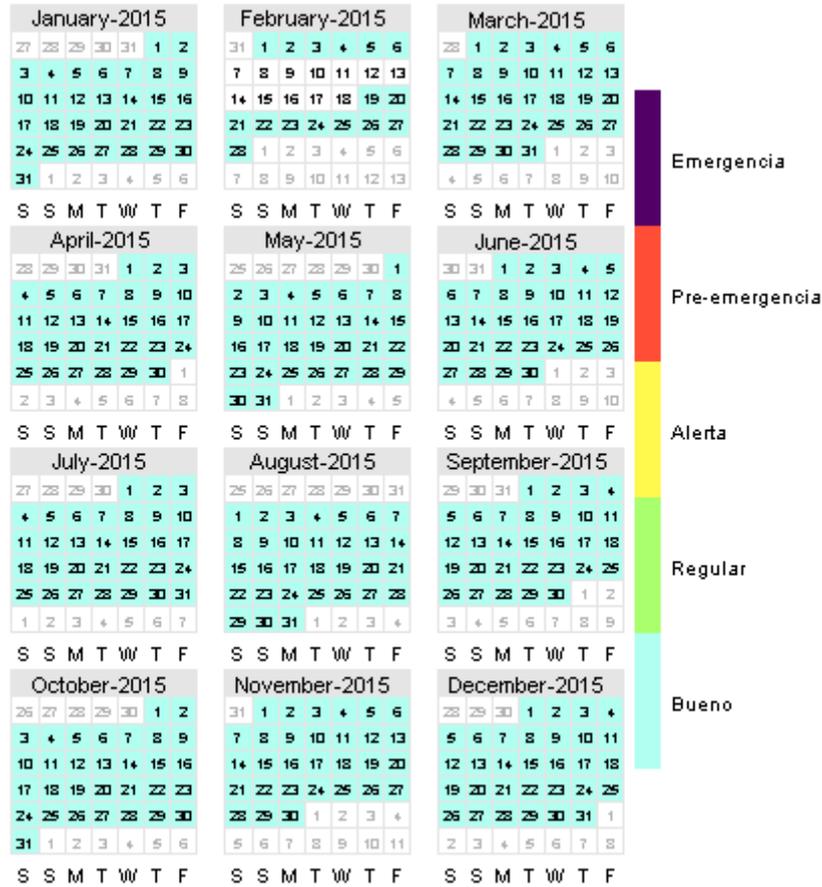


Figura A.17. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Lo Campo año 2015

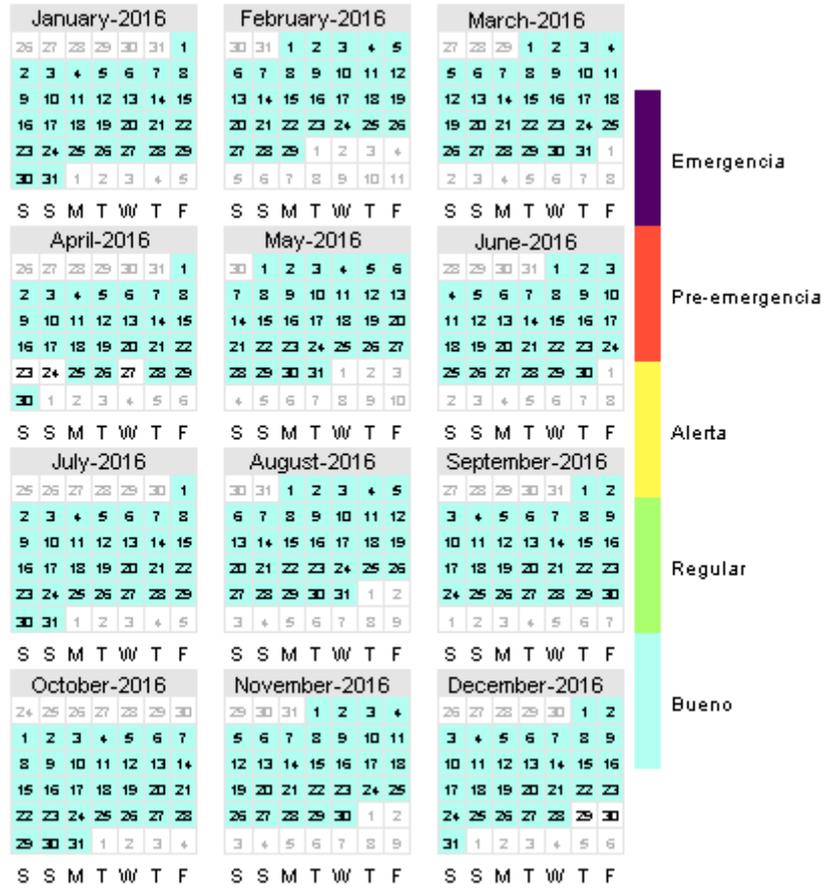


Figura A.18. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Lo Campo año 2016

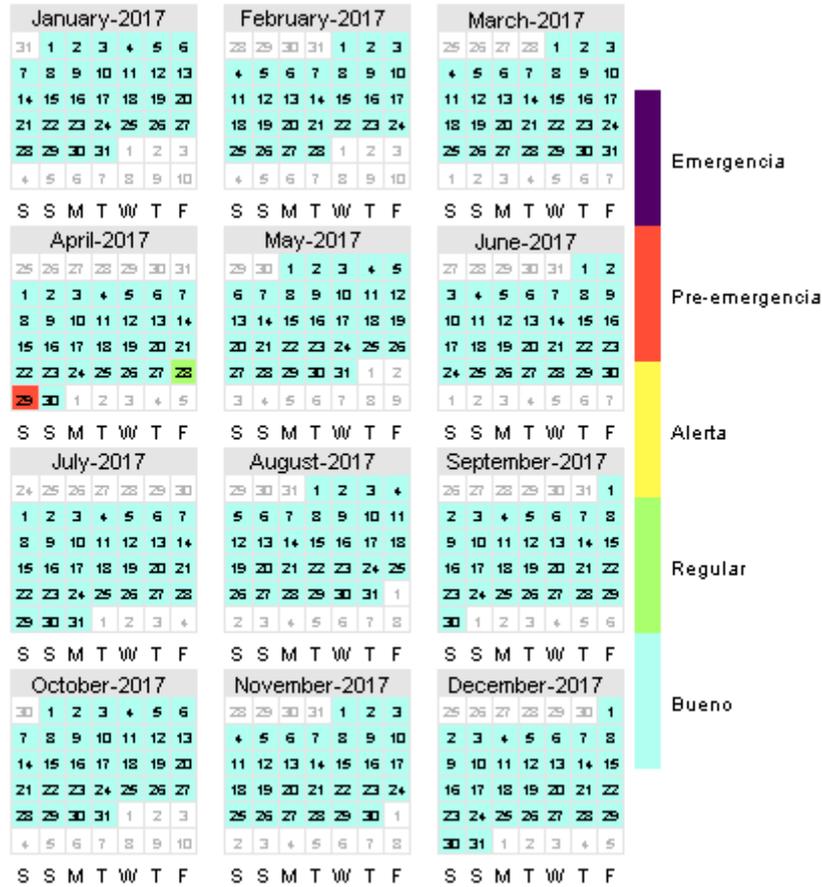


Figura A.19. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Lo Campo año 2017

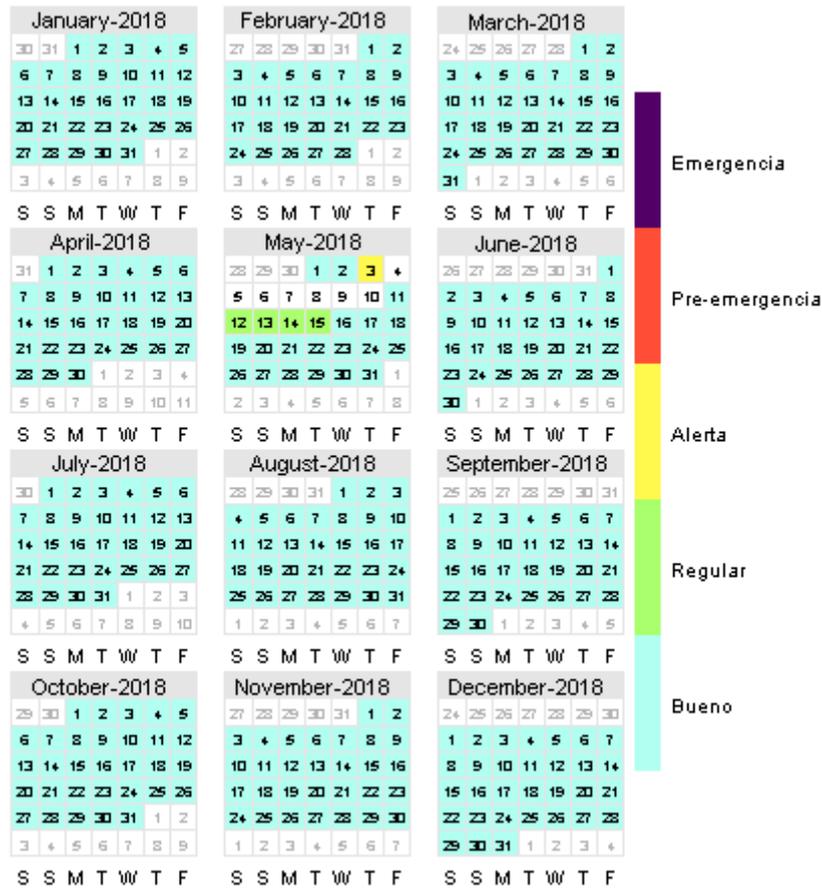


Figura A.20. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Lo Campo año 2018

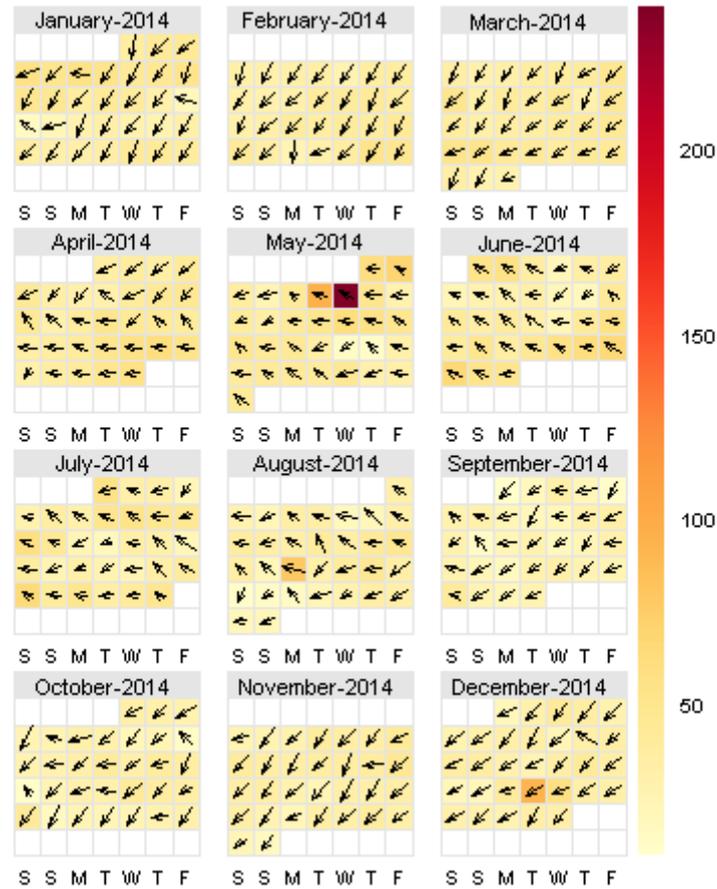


Figura A.21. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Lo Campo año 2014.

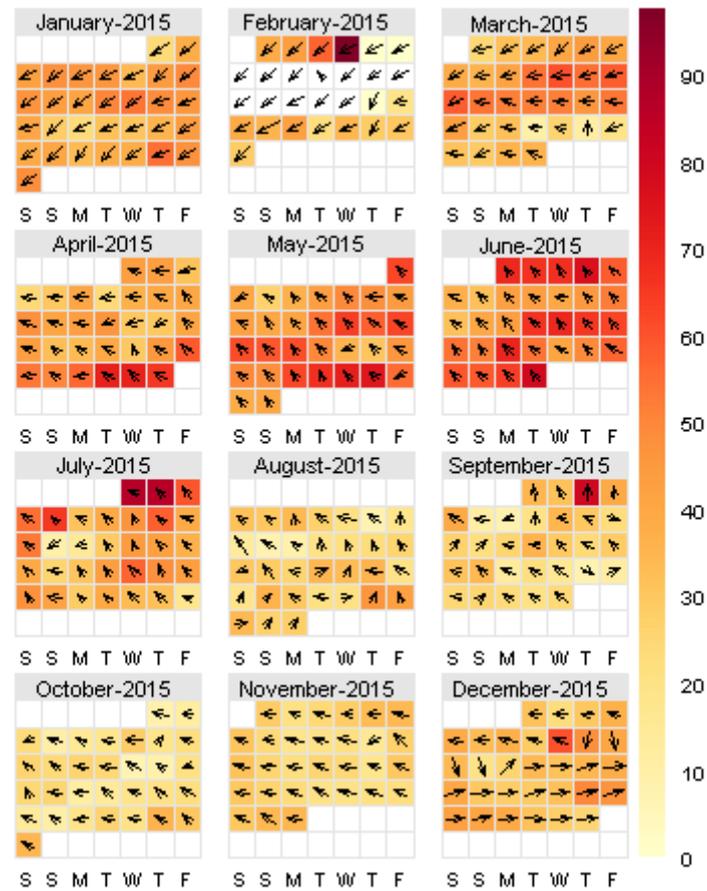


Figura A.22. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Lo Campo año 2015.

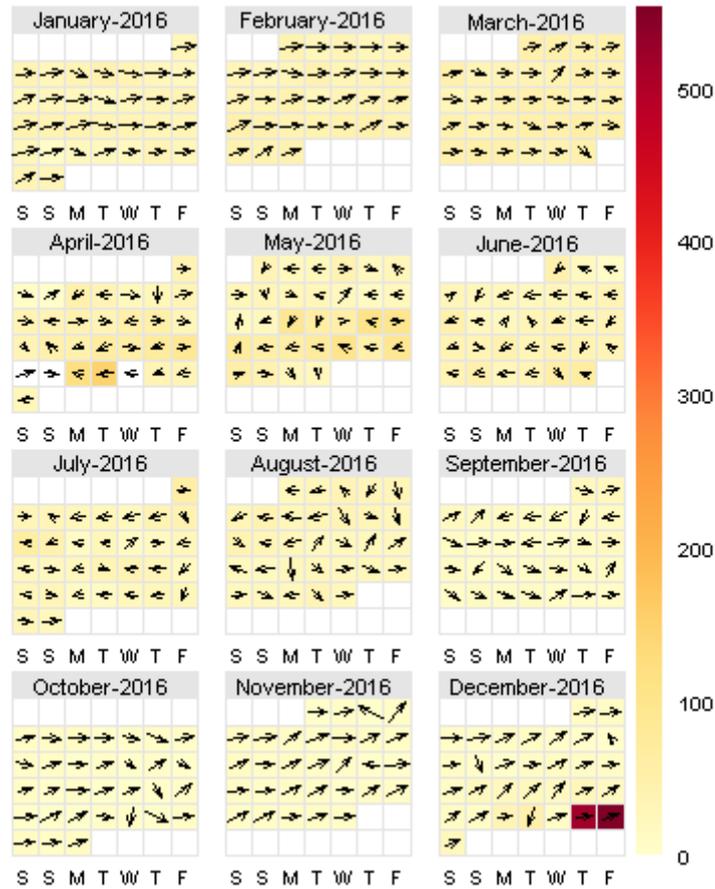


Figura A.23. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Lo Campo año 2016.

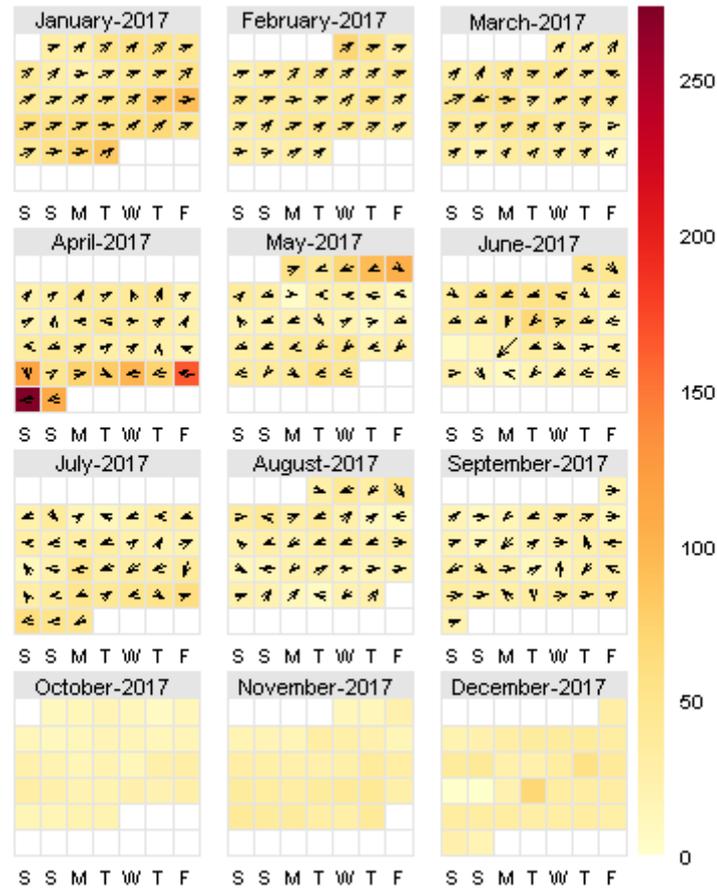


Figura A.24. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Lo Campo año 2017.

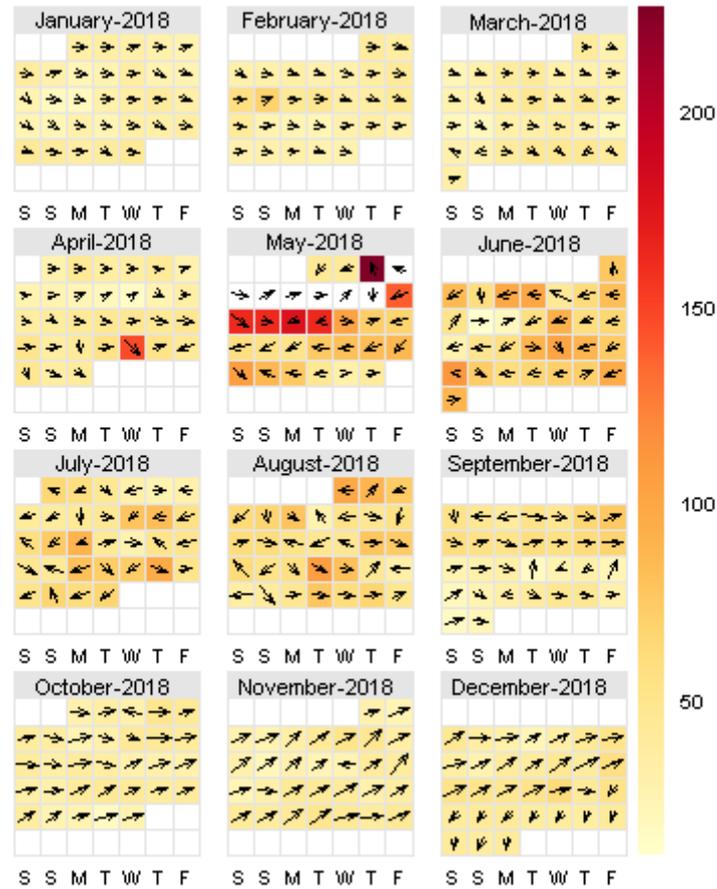


Figura A.25. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Lo Campo año 2018.



CalendarPlotSO₂LoCampoEpisodios2014

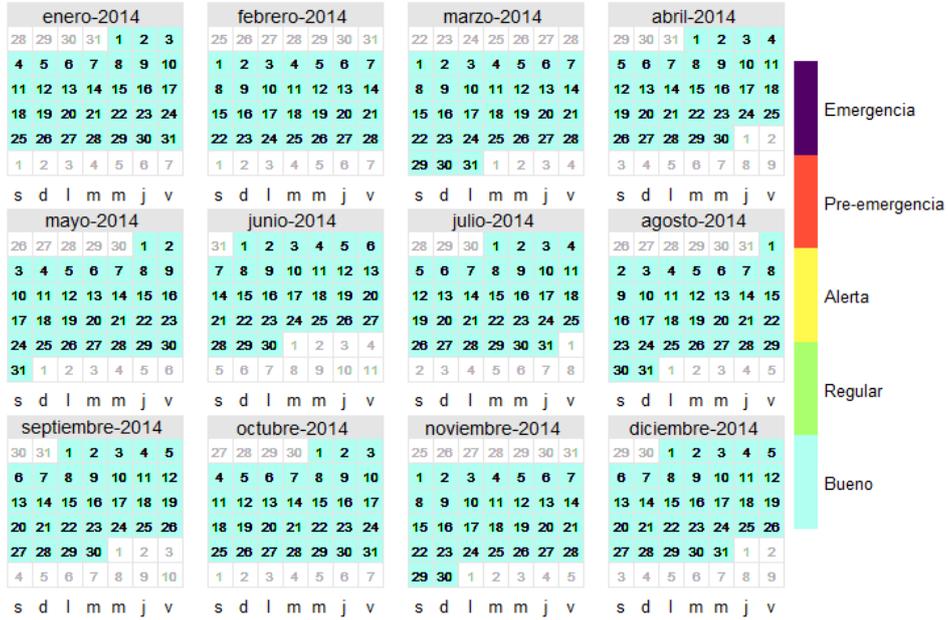


Figura A.26. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Lo Campo año 2014

CalendarPlotSO₂LoCampoEpisodios2015

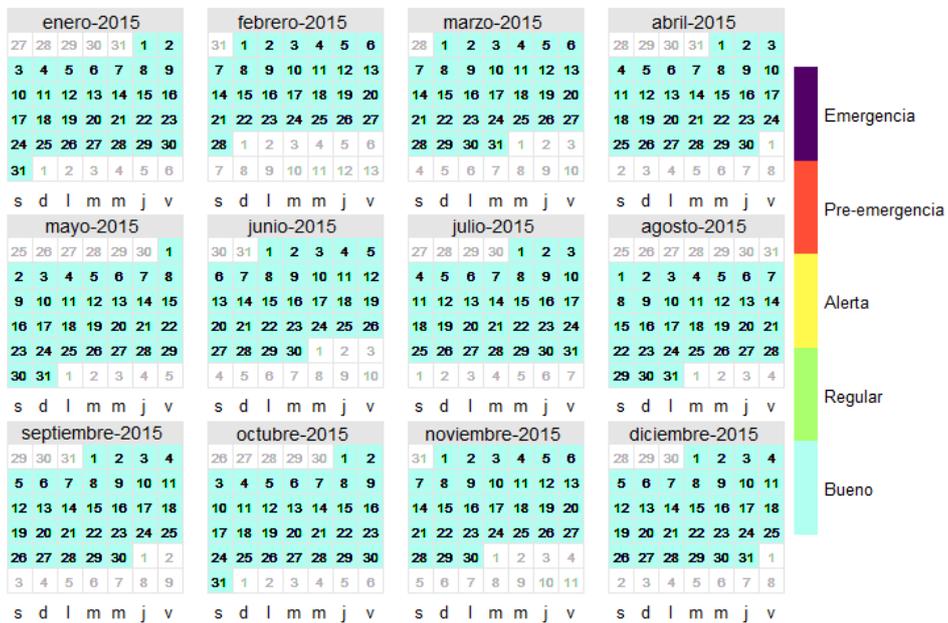


Figura A.27. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Lo Campo año 2015



CalendarPlotSO₂LoCampoEpisodios2016

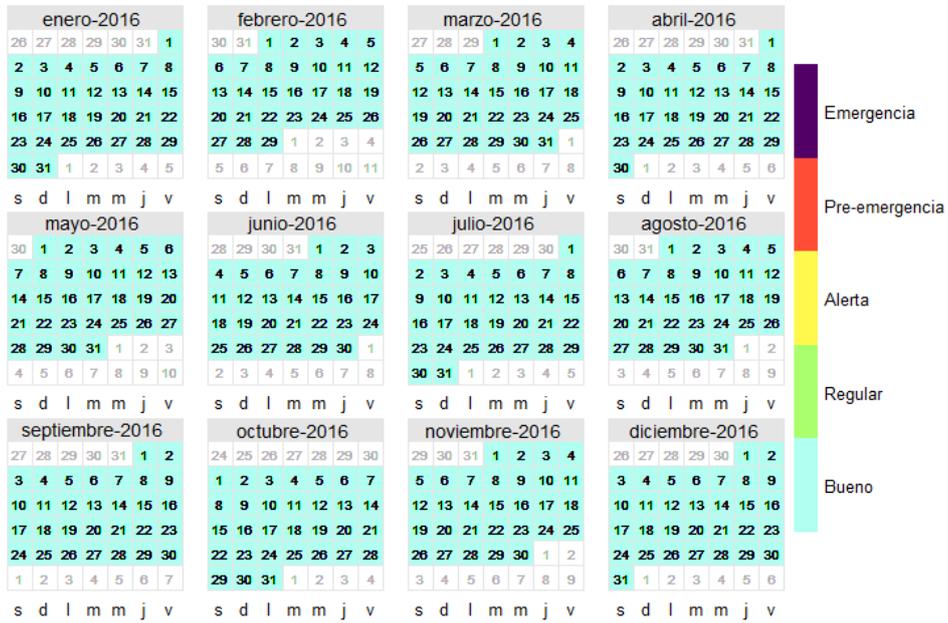


Figura A.28. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Lo Campo año 2016

CalendarPlotSO₂LoCampoEpisodios2017

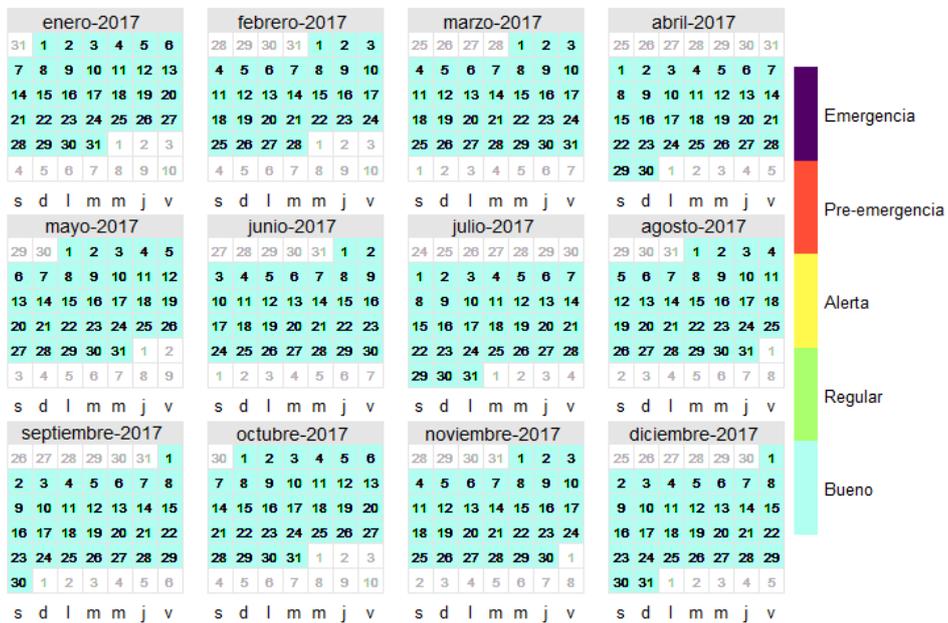


Figura A.29. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Lo Campo año 2017



CalendarPlotSO₂LoCampoEpisodios2018

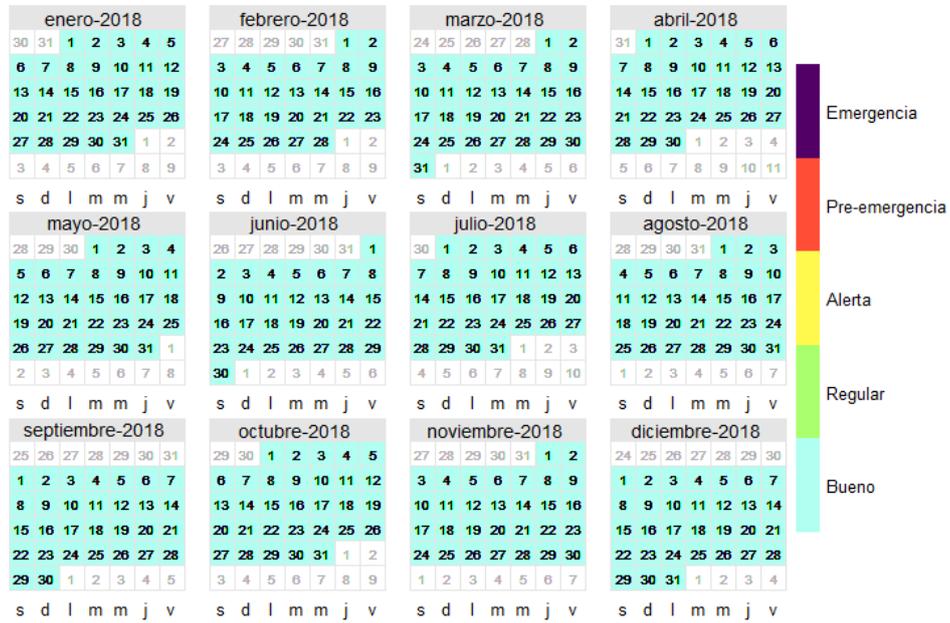


Figura A.30. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Lo Campo año 2018



A.3 Estación Romeral

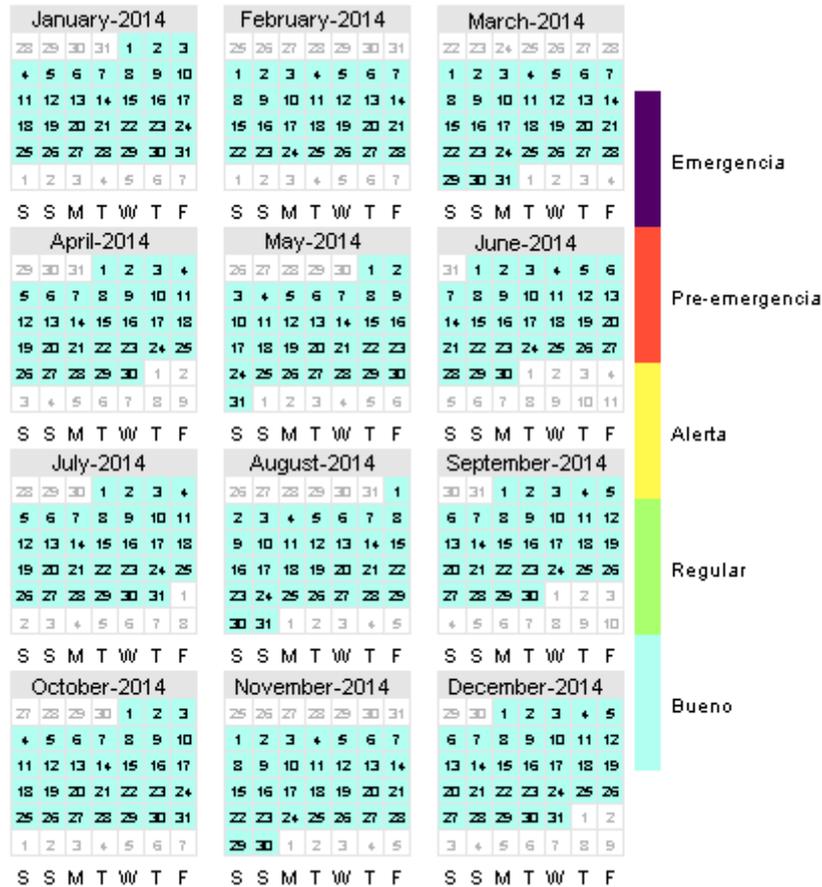


Figura A.31. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Romeral 2014

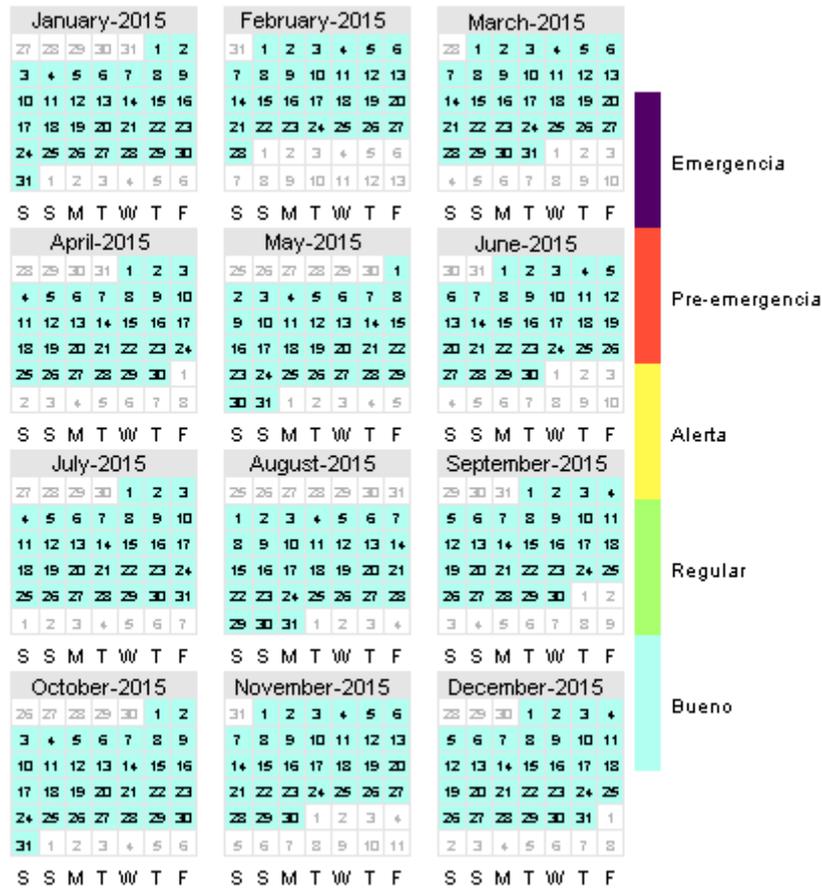


Figura A.32. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Romeral 2015

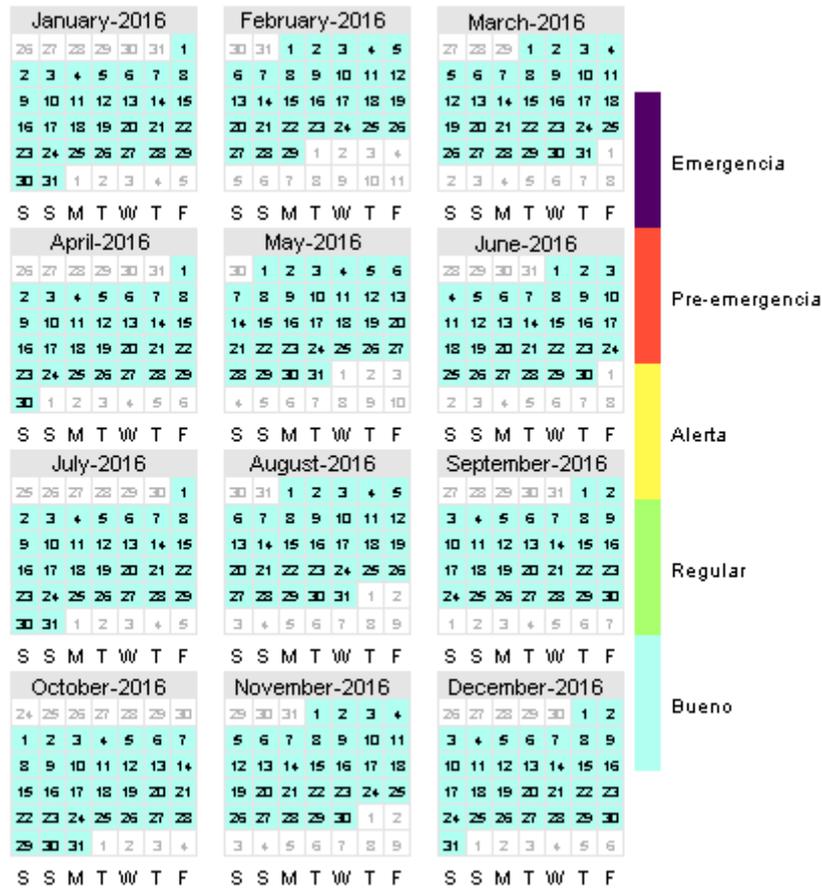


Figura A.33. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Romeral 2016

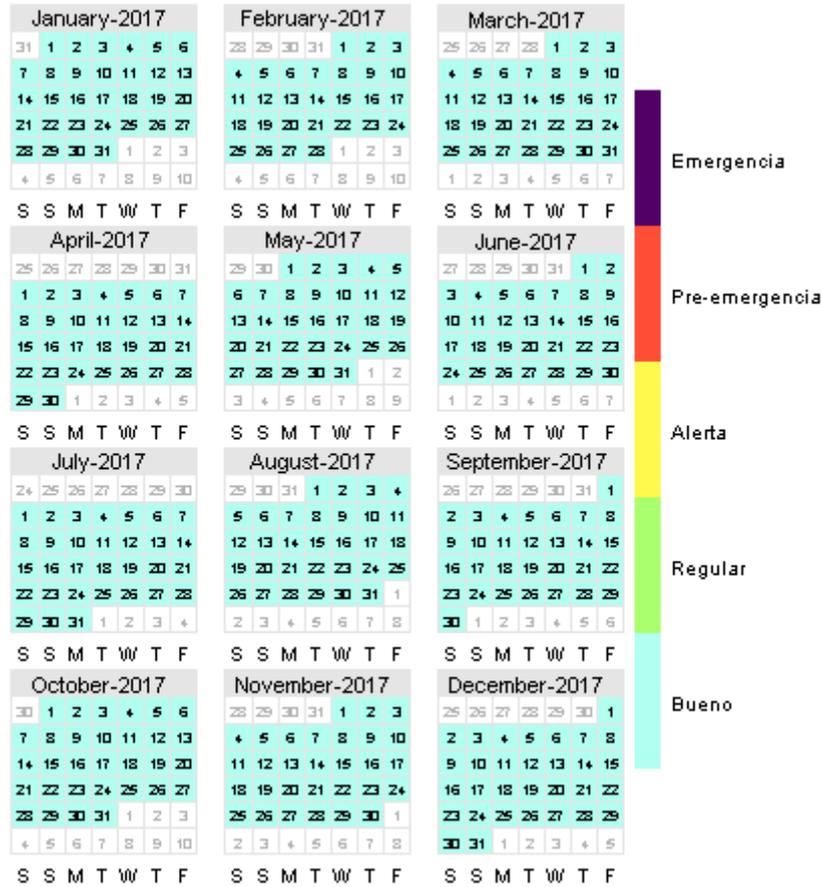


Figura A.34. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Romeral 2017

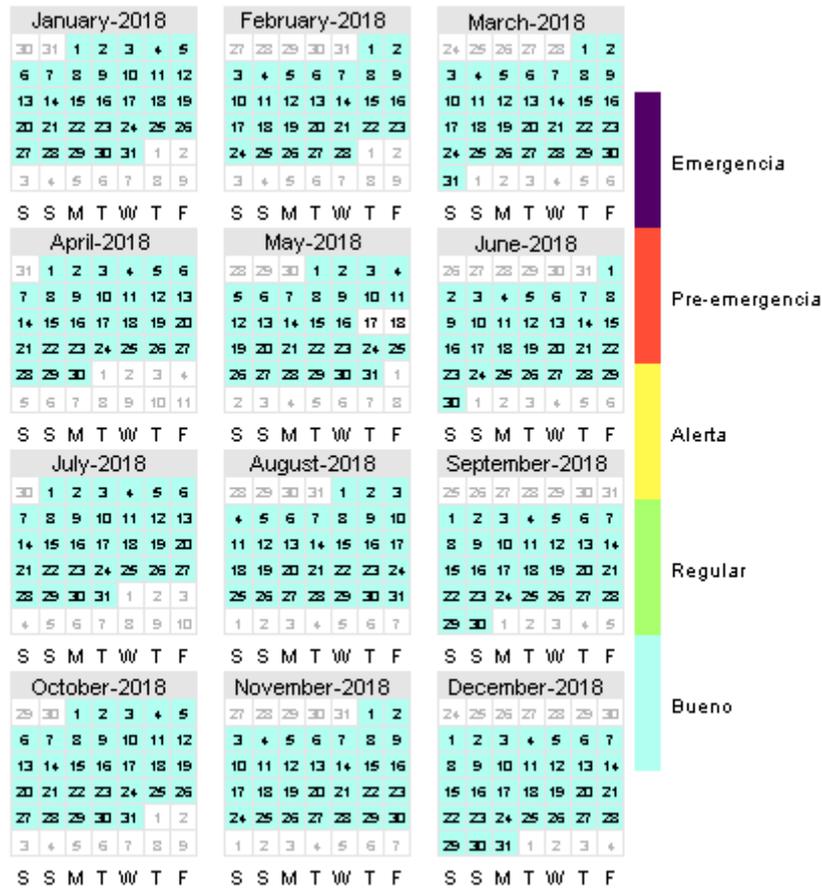


Figura A.35. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Romeral 2018

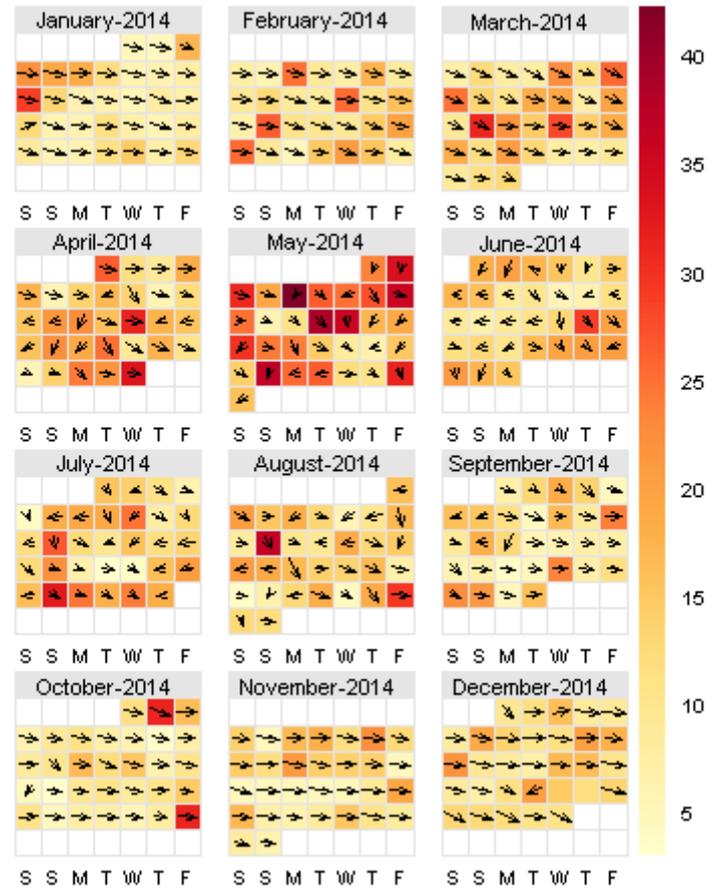


Figura A.36. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Romeral año 2014.

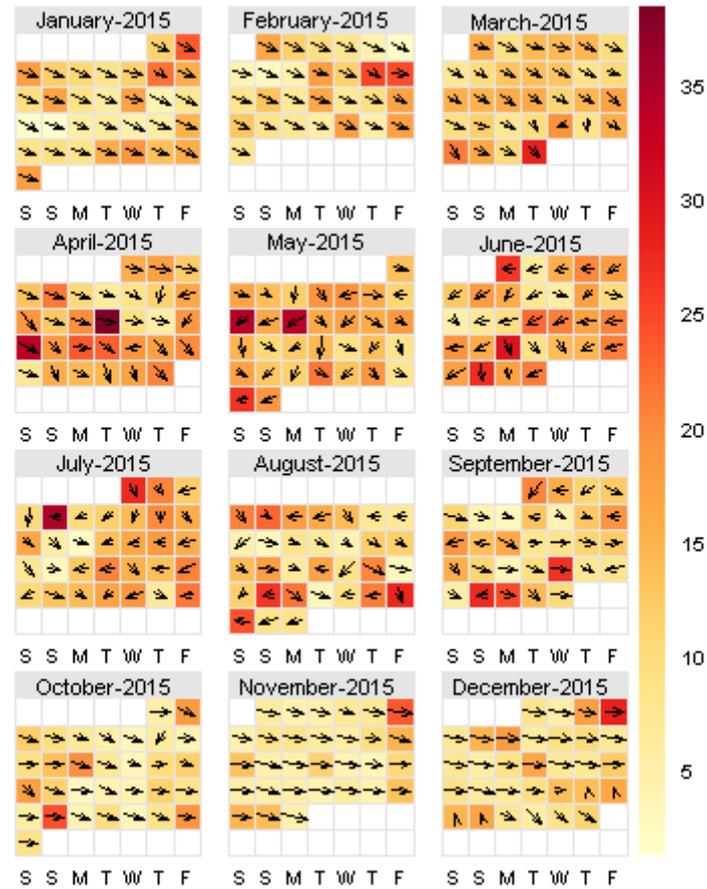


Figura A.37. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Romeral año 2015.

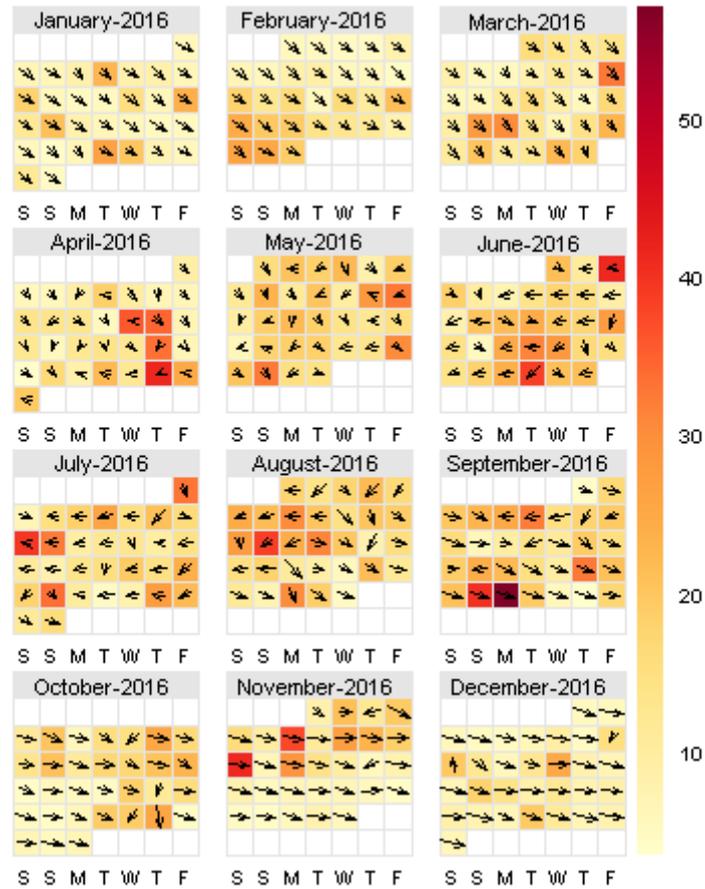


Figura A.38. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Romeral año 2016.

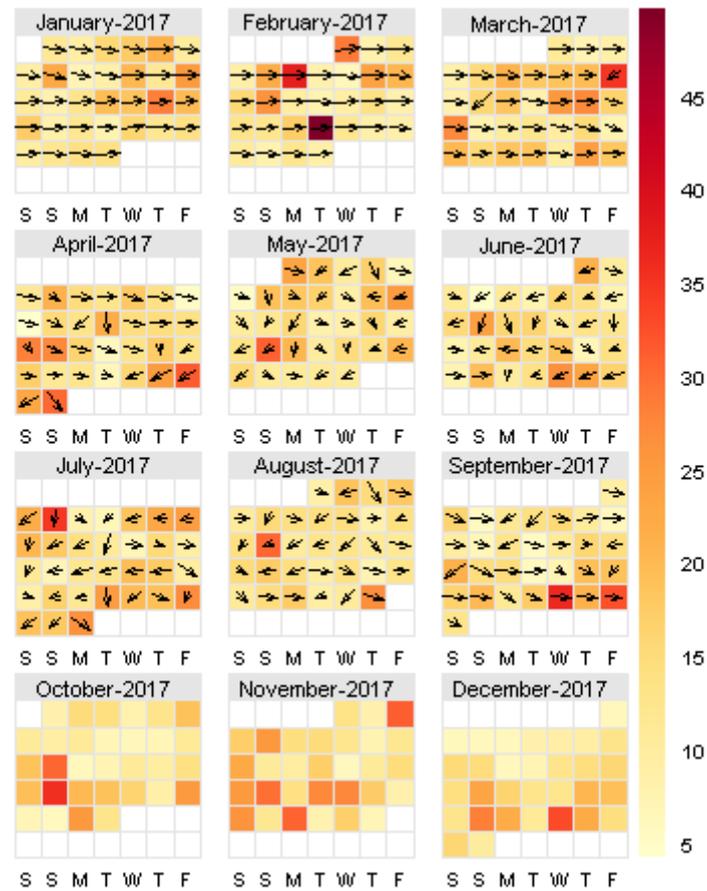


Figura A.39. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Romeral año 2017.

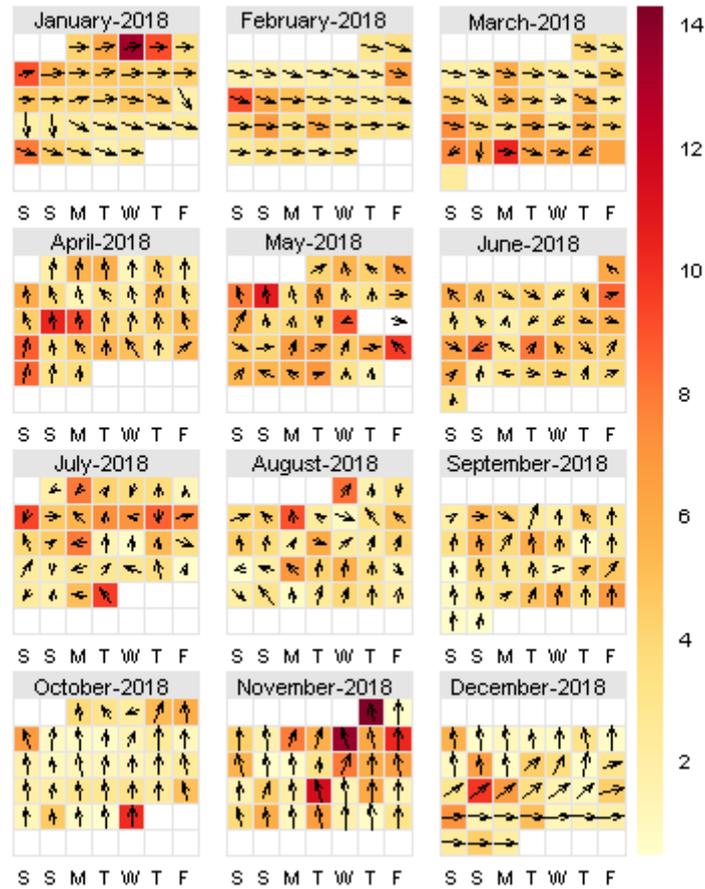


Figura A.40. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Romeral año 2018.



CalendarPlotSO₂RomeralEpisodios2014

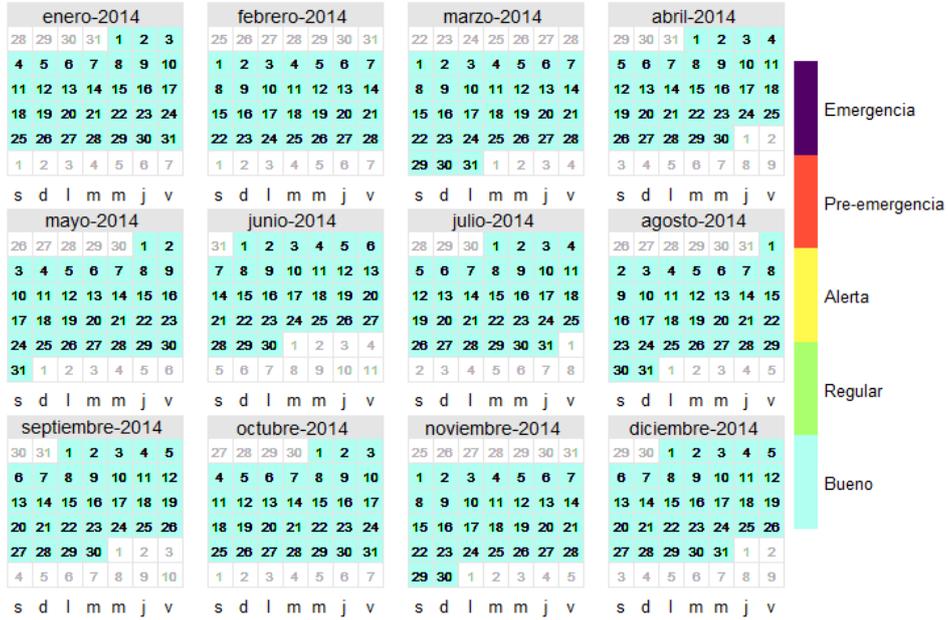


Figura A.41. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Romeral año 2014

CalendarPlotSO₂RomeralEpisodios2015

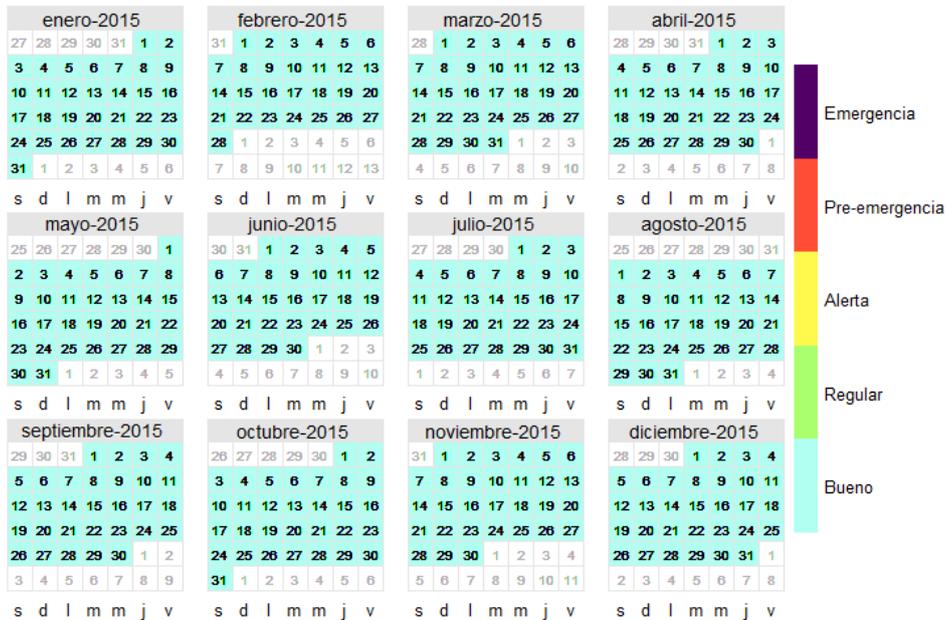


Figura A.42. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Romeral año 2015



CalendarPlotSO₂RomeralEpisodios2016

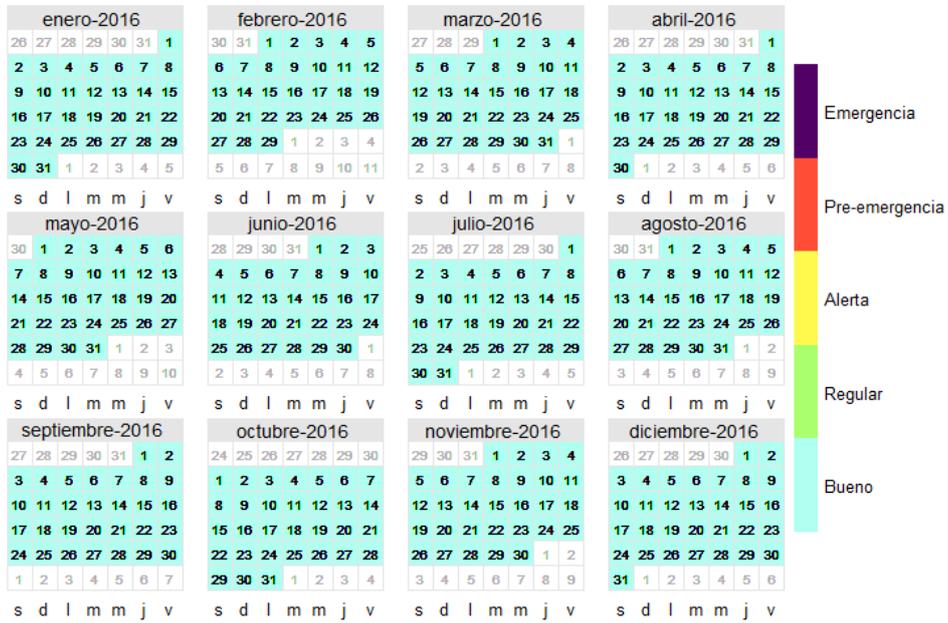


Figura A.43. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Romeral año 2016

CalendarPlotSO₂RomeralEpisodios2017

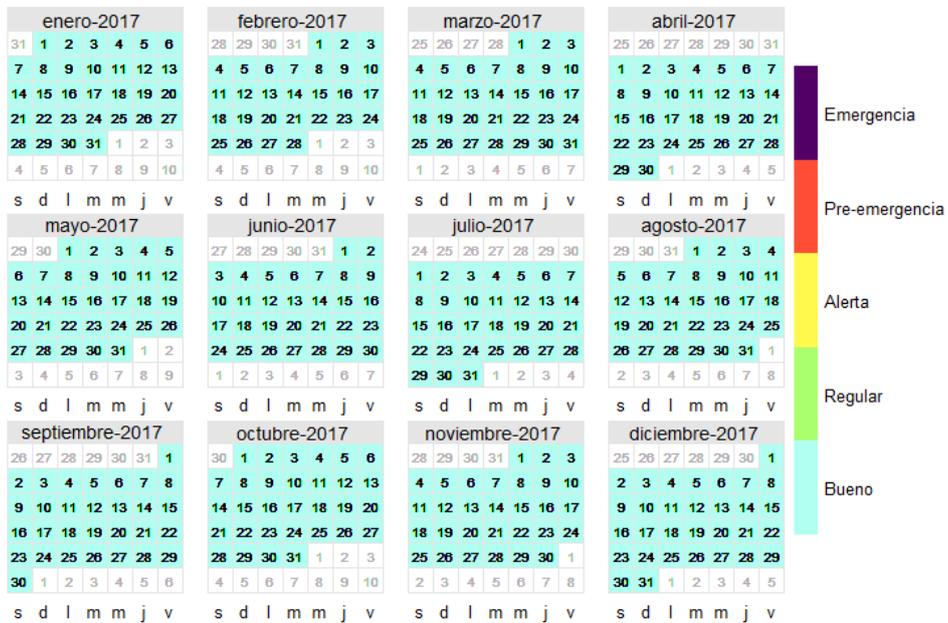


Figura A.44. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Romeral año 2017

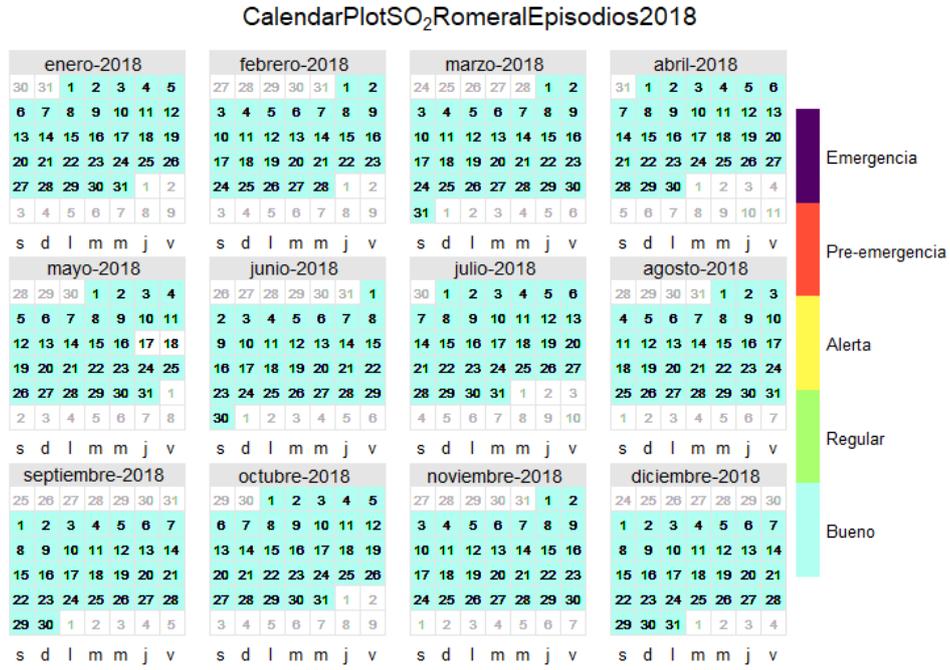


Figura A.45. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Romeral año 2018



A.3 Estación Santa Margarita

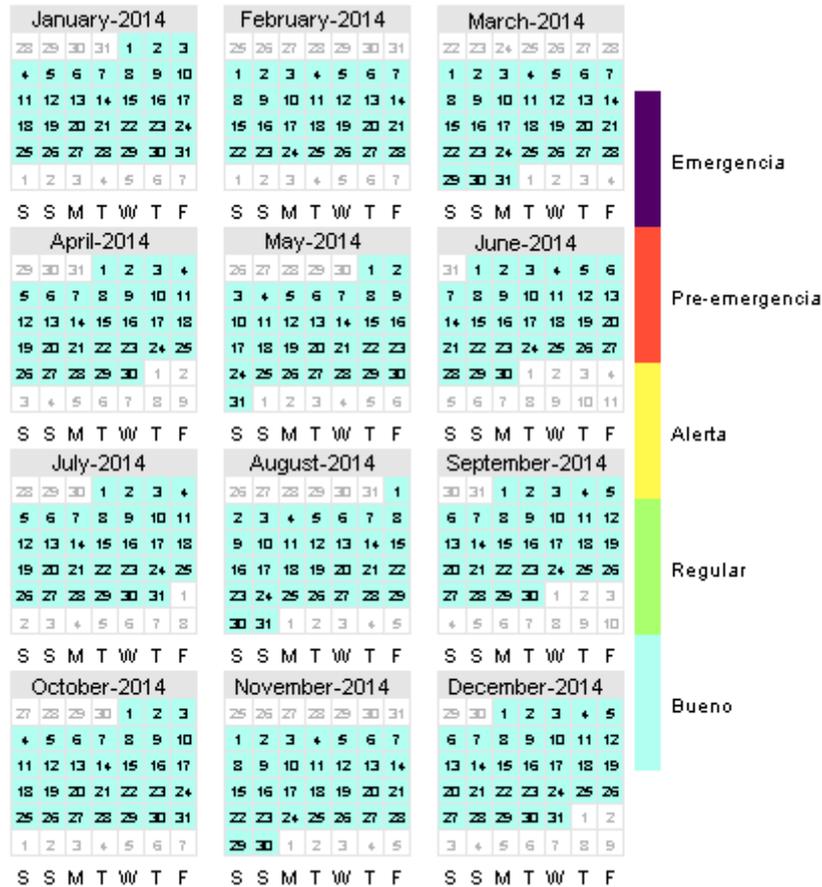


Figura A.46. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Santa Margarita 2014

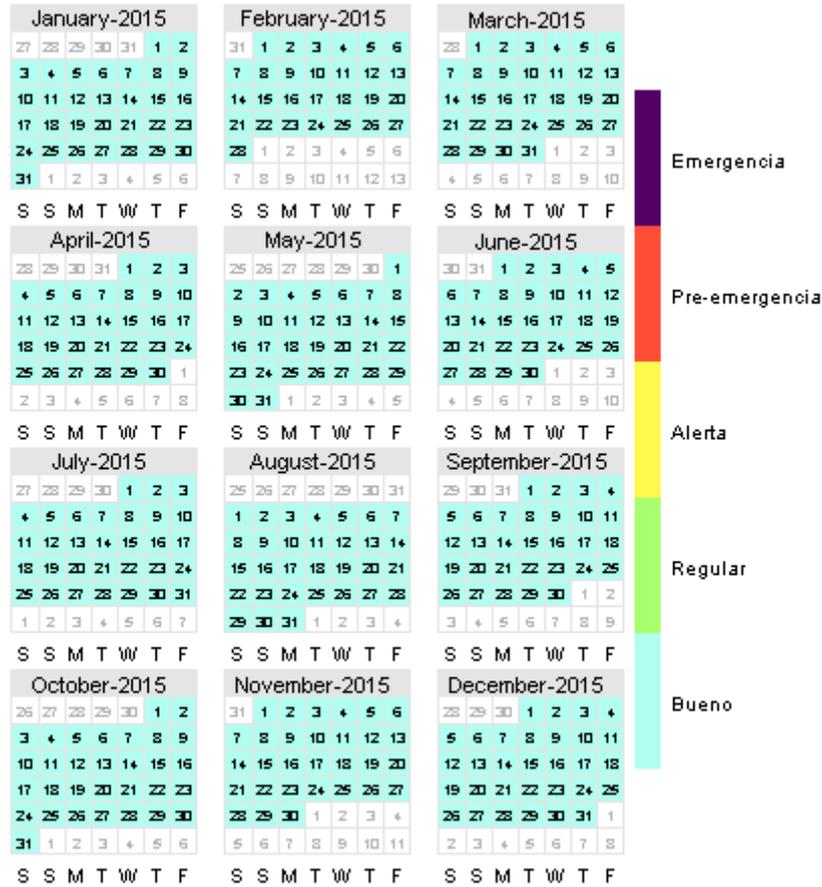


Figura A.47. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Santa Margarita 2015

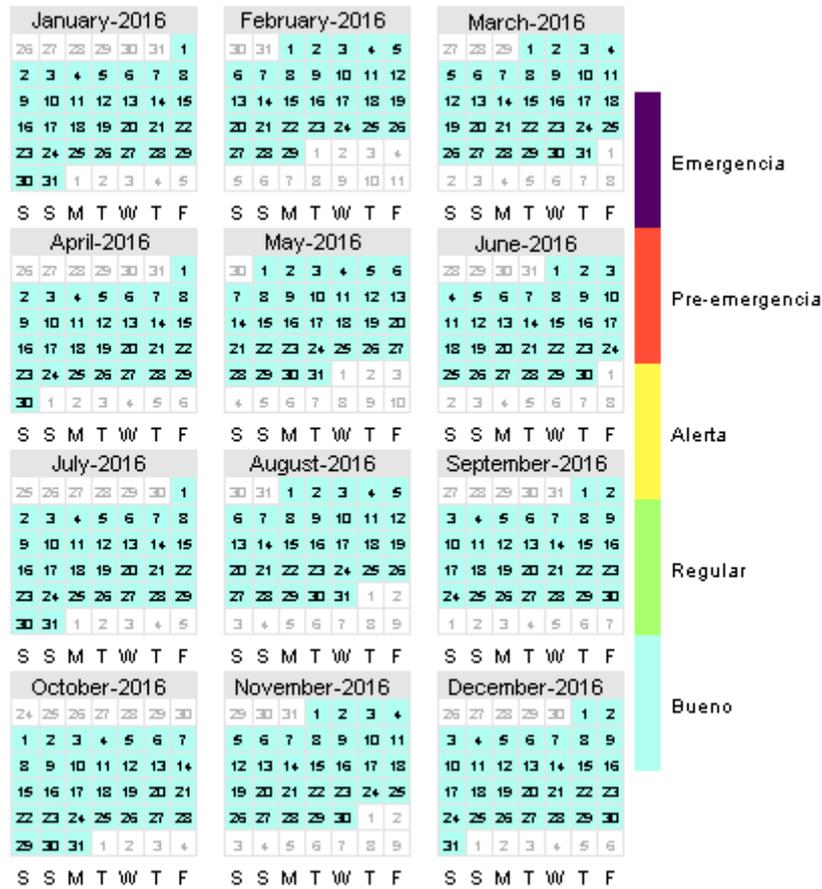


Figura A.48. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Santa Margarita 2016

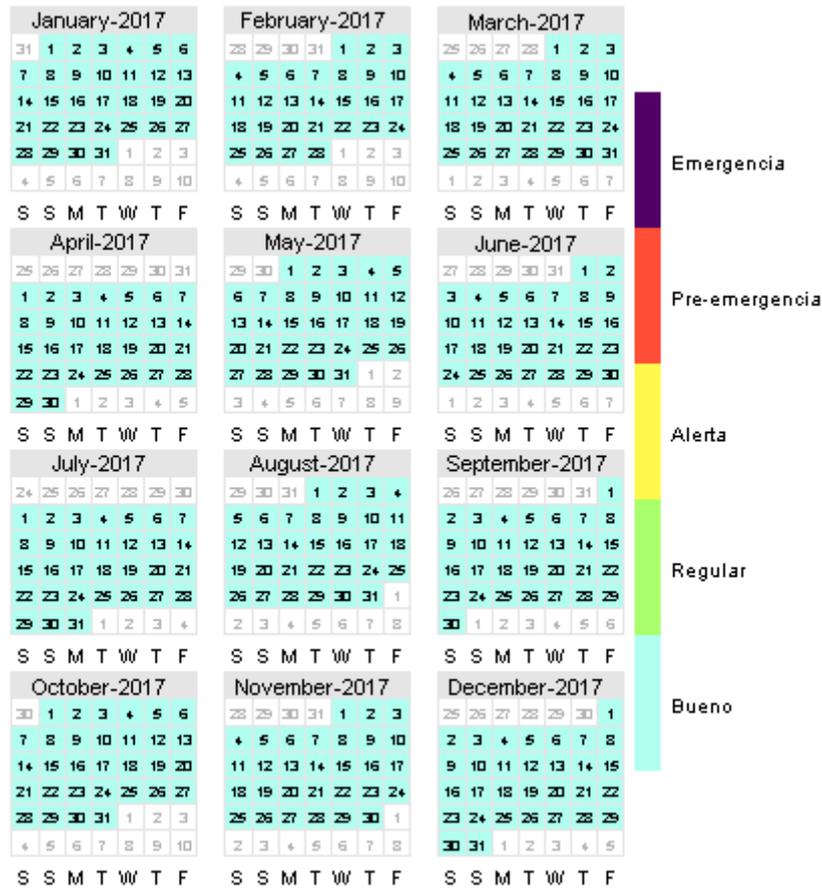


Figura A.49. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Santa Margarita 2017

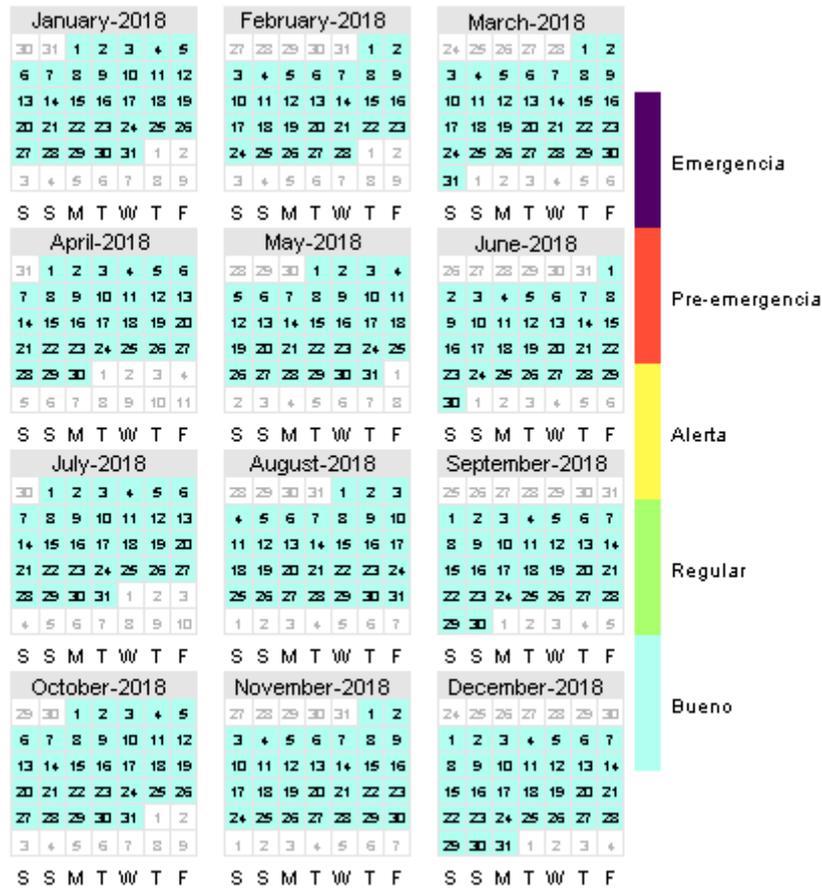


Figura A.50. Días de superación de norma diaria del MP10 en estación Santa Margarita 2018

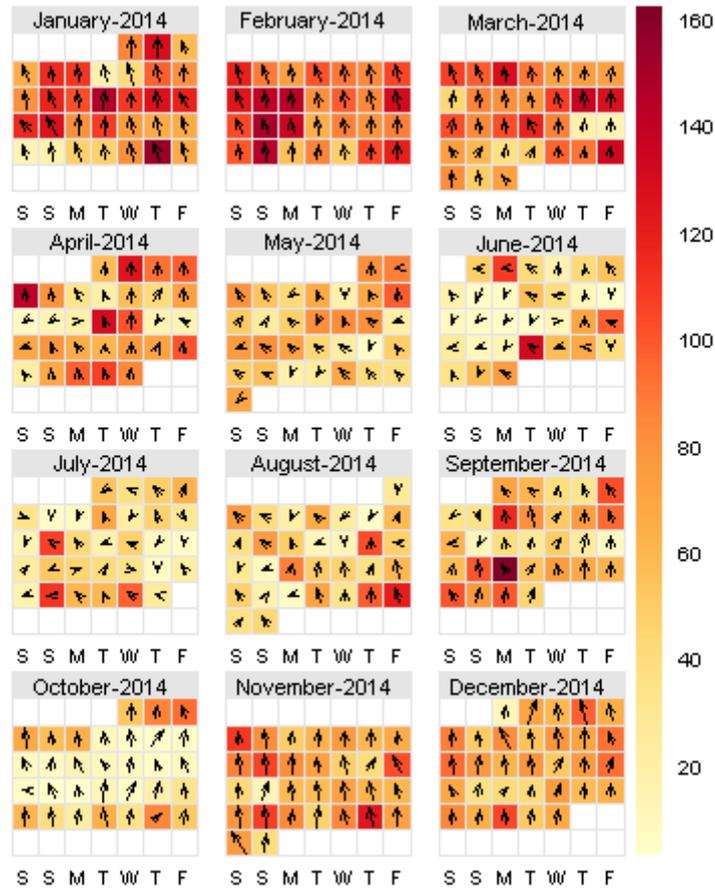


Figura A.51. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Santa Margarita año 2014.

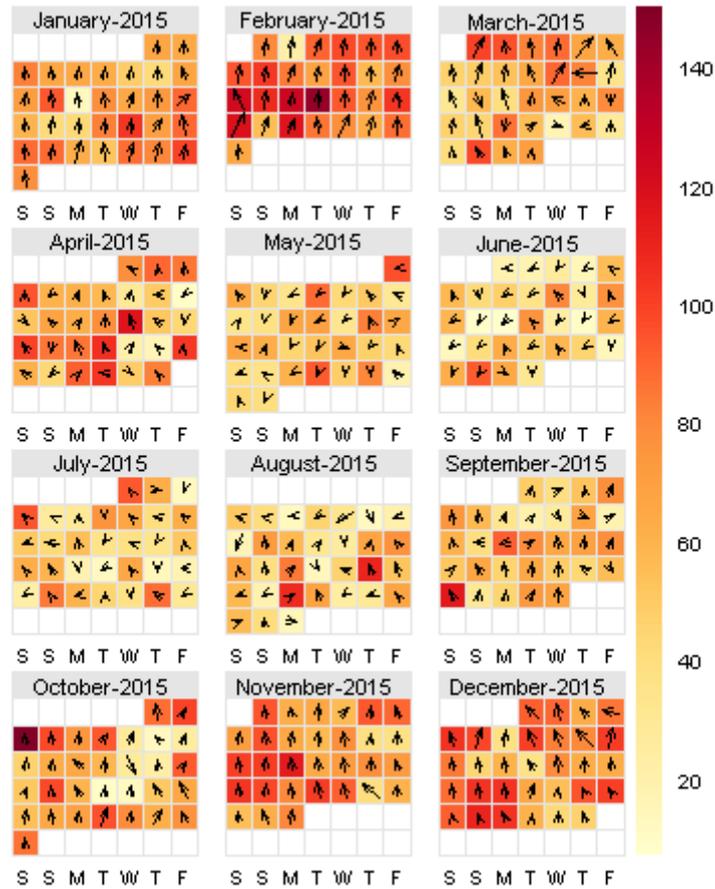


Figura A.52. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Santa Margarita año 2015.

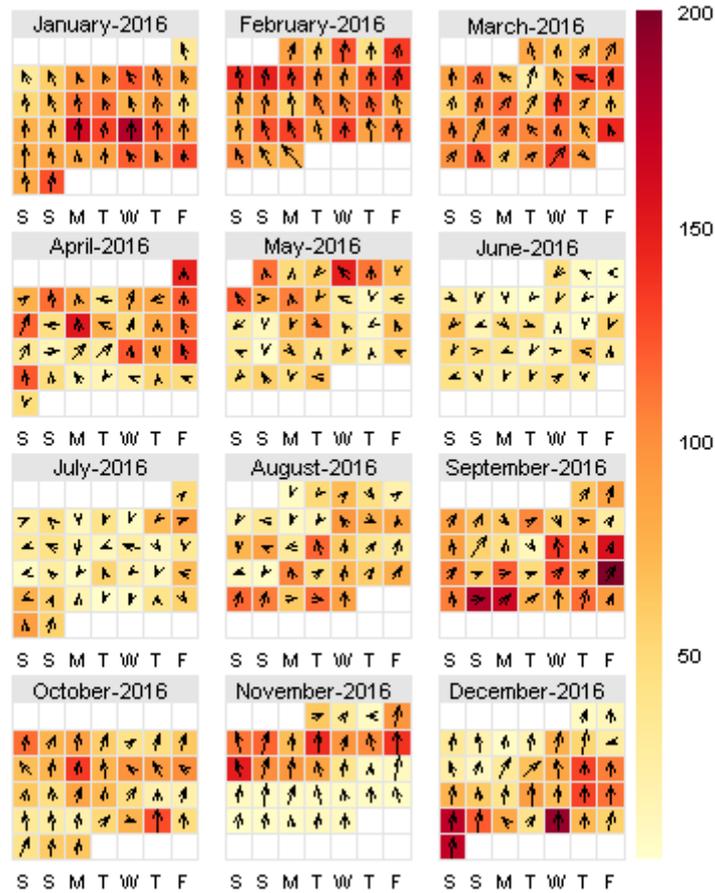


Figura A.53. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Santa Margarita año 2016.

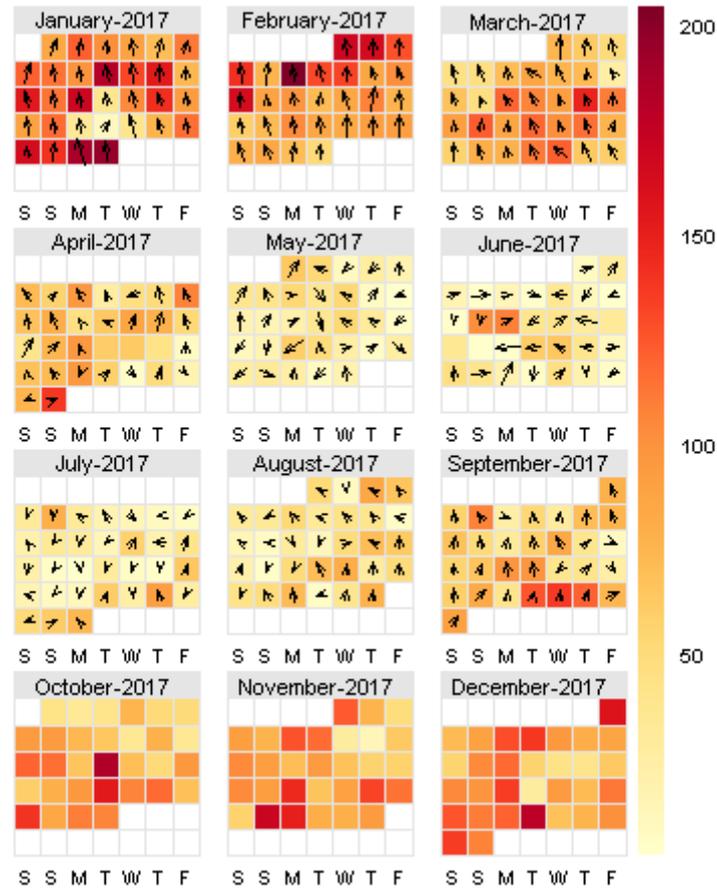


Figura A.54. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Santa Margarita año 2017.

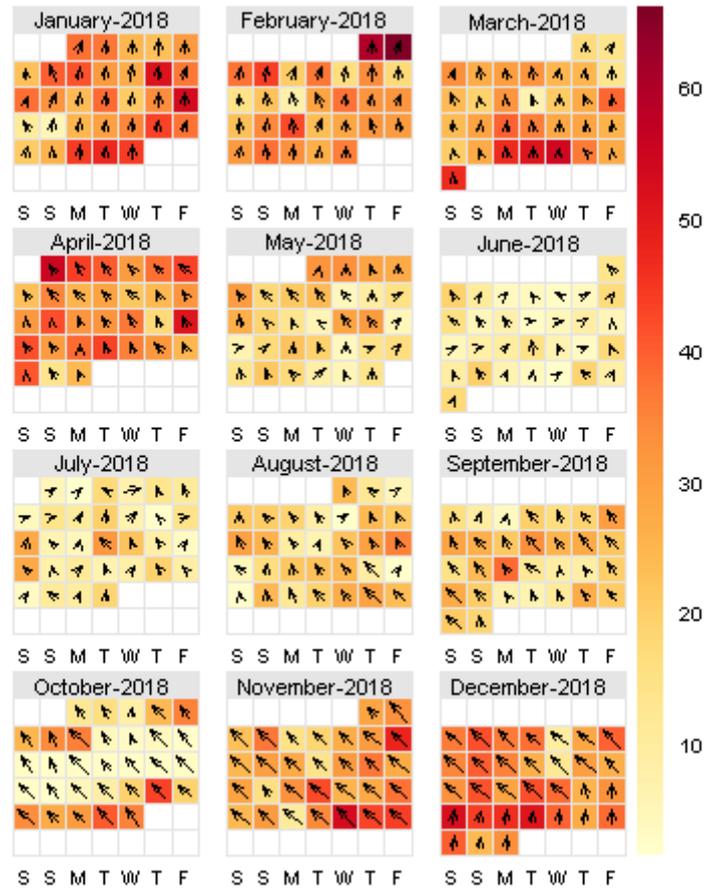


Figura A.55. Concentración máxima del MP10 versus dirección del viento en estación Santa Margarita año 2018.



CalendarPlotSO₂SantaMargaritaEpisodios2014

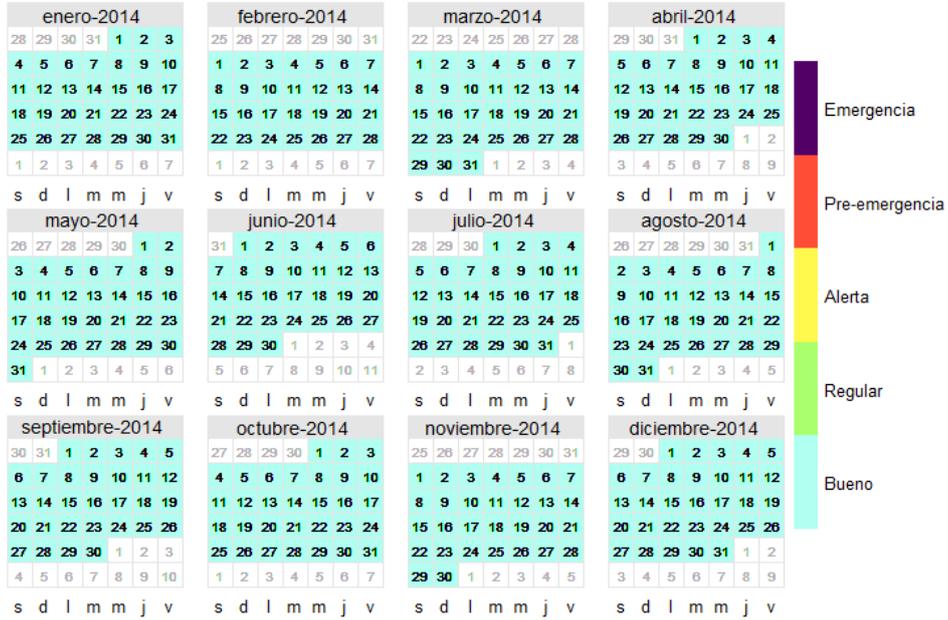


Figura A.56. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Santa Margarita año 2014

CalendarPlotSO₂SantaMargaritaEpisodios2015

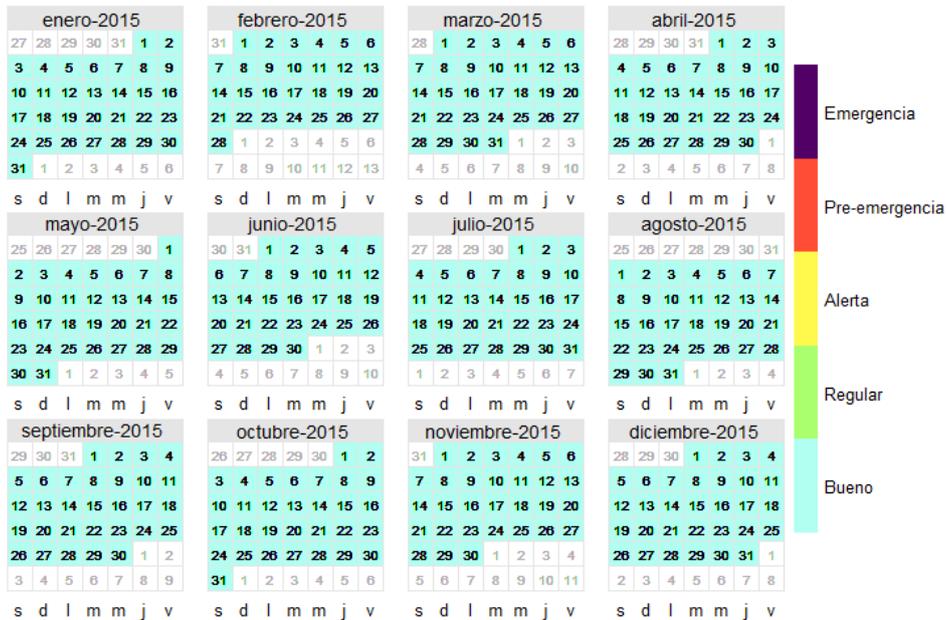


Figura A.57. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Santa Margarita año 2015



CalendarPlotSO₂SantaMargaritaEpisodios2016

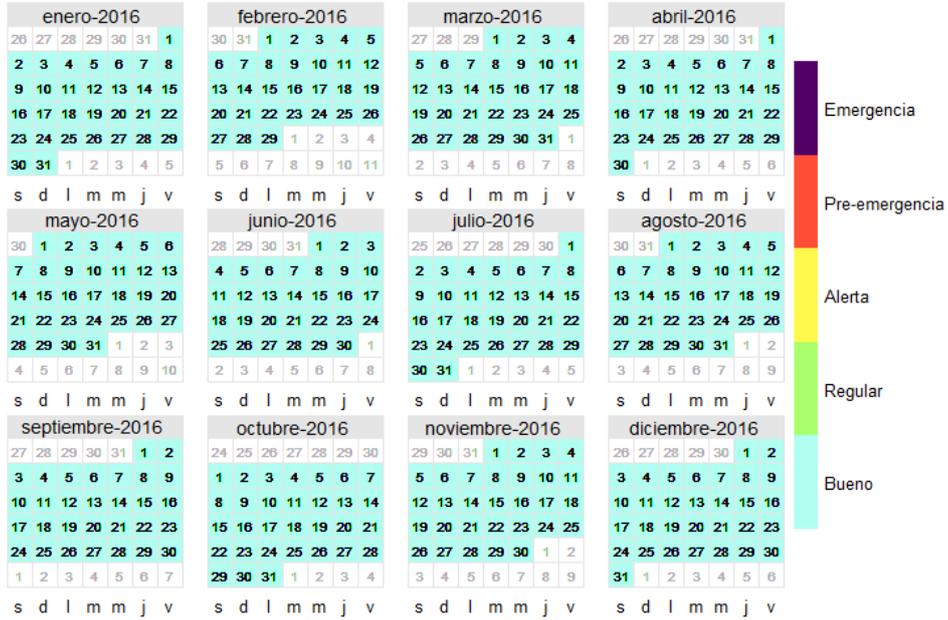


Figura A.58. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Santa Margarita año 2016

CalendarPlotSO₂SantaMargaritaEpisodios2017

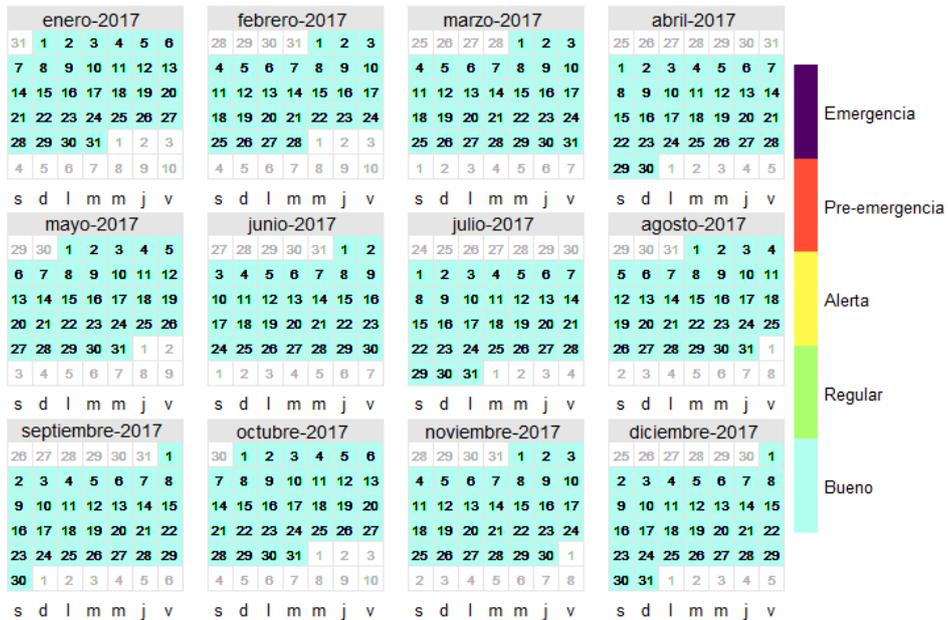


Figura A.59. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Santa Margarita año 2017



CalendarPlotSO₂SantaMargaritaEpisodios2018

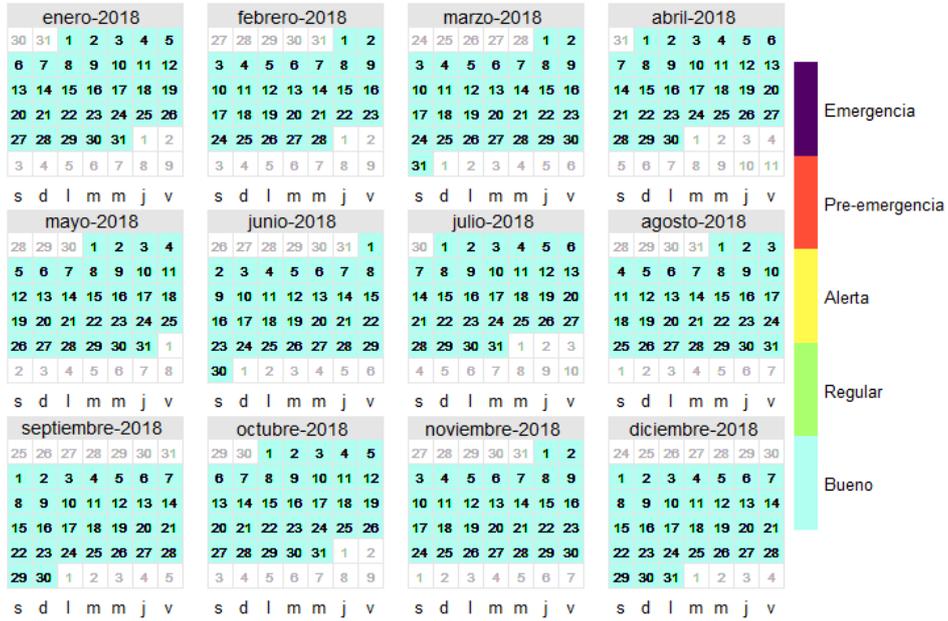


Figura A.60. Días de superación de nivel de latencia de la norma diaria del SO₂ en estación Santa Margarita año 2018



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

SEGUNDO INFORME INVENTARIO DE EMISIONES

**INVENTARIO DE EMISIONES Y MODELACIÓN
DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PARA**



AngloAmerican

FUNDICIÓN CHAGRES

2019



“Inventario de emisiones y modelación de contaminantes para Fundición Chagres – Anglo American”

INFORME 2

INVENTARIO DE EMISIONES AÑO 2018

Preparado por:
PARTICUOLOTECH LTDA.

Versión del Documento		1	
Responsables Elaboración de Informe Rev. 2		Responsable Revisión y Aprobación de Informe Rev.2 e Informe de Monitoreo	
Nombre:	Fidel Vallejo Gallardo	Nombre:	Luis Alonso Díaz Robles
Cargo:	Ingeniero Senior Magíster en Ciencias de la Ingeniería Particulotech Ltda.	Cargo:	Jefe de Proyecto Gerente General Particulotech Ltda.
Fecha:	15-08-2019	Fecha:	15-08-2019
	André González Coindreau	Nombre:	Luis Alonso Díaz Robles
	Ingeniero Ingeniero Civil Químico Particulotech Ltda.	Cargo:	Jefe de Proyecto Gerente General Particulotech Ltda.
	13-08-2019	Fecha:	15-08-2019



Contenido

Resumen ejecutivo	4
1. Introducción	6
2. Inventario de Emisiones 2018	7
2.1. Inventario de emisiones de fuentes fijas, etapa de operación	8
2.1.1. Grupos Electrógenos	15
2.1.1.1. Factor de emisión Grupos Electrógenos	15
2.1.1.2. Nivel de Actividad Grupos Electrógenos	15
2.1.1.3. Emisiones de los Grupos Electrógenos	18
2.2. Inventario de emisiones fugitivas	22
2.3. Inventario de emisiones fuentes areales etapa de operación	23
2.3.1. Descarga de material de camiones en escorial	23
2.3.2. Inventario de emisiones de fuentes móviles en área Sur	25
3. Perfiles Temporales de las Emisiones por Tipo de Fuentes	25
4. RESUMEN DE EMISIONES	31



Resumen ejecutivo

El presente documento corresponde al segundo informe de avance, y presenta el inventario de emisiones del año 2018 de las fuentes fijas, móviles, areales y fugitivas de la Fundación Chagres de Anglo American. Para el desarrollo de este inventario, se tuvo como base la información de niveles de actividad, mediciones isocinéticas y perfiles de operación de las distintas fuentes entregadas por la contraparte técnica e información actualizada de proyecciones de producción.

Para las fuentes fijas se realizó un análisis de los datos considerando la existencia de información como coordenadas geográficas de las fuentes, así como consumo de combustible, muestreos isocinéticos mensuales, niveles de actividad productiva, altura y diámetro de chimenea, temperatura y velocidad de salida de los gases. Para las fuentes areales, fugitivas y móviles se analizaron y estimaron las áreas de operación y transportes, tales como edificios y naves de operación, polígonos de escoriales, largo y ancho de caminos pavimentados y no pavimentados, flujo y carga de camiones y otros vehículos. Esta información es relevante para la elaboración de inventario de emisiones con sus perfiles temporales y posterior modelación de la calidad del aire en la zona de estudio. Los contaminantes considerados fueron el MP_{10} , SO_2 , CO y NO_x , asumiendo que todo el MP de los muestreos isocinéticos era MP_{10} .

Para la elaboración del inventario de emisiones de la etapa de operación año 2018 se consideraron las emisiones del tipo fuentes fijas, fuentes areales, fuentes móviles y emisiones fugitivas. Cada una de estas emisiones es generada por las siguientes fuentes:

- Emisiones de fuentes fijas: Secador Kumera, Horno Fusión Flash, Convertidores Peirce Smith, Horno Limpieza Escoria, Horno de Refino y Grupos electrógenos.
- Emisiones de fuentes areales: Stoke Piles y Escoriales.
- Emisiones de fugitivas: Horno Fusión Flash, Convertidores Peirce Smith, Horno, Limpieza Escoria y Horno de Refino.
- Emisiones de fuentes móviles: Camiones que circulan por rutas sin pavimentar.



Las emisiones totales año 2018 de MP₁₀, CO, NO_x y SO₂ se indican en la siguiente tabla:

Tipo Emisión	Fuente	MP ₁₀ (ton/año)	SO ₂ (ton/año)	CO (ton/año)	NO _x (ton/año)	
Emisiones Fuentes Fijas	Secador Kumera	1,12	0,09	0,04	0,00	
	Planta de limpieza de gases HLE y refinó	HLE	1,95	87,83	9,99	3,03
		Refinó	1,02	12,65	0,75	0,89
	Planta de ácido (CPS)	1,92	389,53	0,00	0,00	
	Horno Fusión Flash Chimenea Fría	6,91	56,49	0,00	0,69	
	Grupos electrógenos	0,01	0,00	0,08	0,36	
Emisiones Fuentes Fugitivas		575,79	9.908,59			
Emisiones areales	Descarga en escoria	0,1761				
	Emisiones área Sur	3,63				
TOTAL [ton/año]		592,52	10.455,18	10,86	4,97	

Cabe destacar que las principales emisiones de MP₁₀ y SO₂ del año 2018 fueron emitidas por las fuentes fugitivas, representando esta emisión el 97% del MP₁₀ y el 95% del SO₂ emitido.



1. Introducción

En junio de 2019 fueron declaradas Zona Saturada por MP_{10} como concentración anual y latente por MP_{10} como concentración diaria a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la provincia de San Felipe; además de Quillota, La Calera, La Cruz, Hijuelas y Nogales en la provincia de Quillota.

Según la Autoridad Ambiental, los factores responsables de estos índices son las quemas agrícolas, la combustión de la leña domiciliaria y las emisiones del parque automotriz. Se espera que la declaratoria sea publicada en el Diario Oficial y luego habrá un plazo de 12 meses para elaborar un plan de descontaminación, que será presentado a la comunidad para su aprobación y posterior aplicación.

Si bien la autoridad no menciona a las fuentes industriales, pero con el fin de adelantarse a la elaboración del anteproyecto del futuro Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), es que Fundación Chagres de Anglo American está elaborando un estudio y modelación de la calidad del aire que permita anticiparse y reducir potenciales episodios de contaminación atmosférica. En efecto, para el desarrollo de esta robusta herramienta, primeramente, se debe elaborar y estimar un completo inventario de emisiones de las fuentes antropogénicas, incluyendo los principales contaminantes de cada una de estas fuentes, así como de sus perfiles temporales del año base.

Un inventario de emisiones es una lista comprensiva de fuentes de contaminación atmosférica y un estimado de sus emisiones en un área geográfica específica para un intervalo específico de tiempo. En este caso, Fundación Chagres se encuentra ubicada en la V Región, Provincia de Catemu. La Figura 1 indica la geografía de la zona estudiada. En esta figura y a simple vista, es posible identificar la zona de recepción del concentrado de cobre, zona de almacenaje y secado del concentrado, hornos de fundición, planta de ácido sulfúrico, caminos y los escoriales.



Figura 1. Zona de Estudio de Fundición Chagres

2. Inventario de Emisiones 2018

Para la elaboración del inventario de emisiones de la etapa de operación año 2018 se consideraron las emisiones del tipo fuentes fijas, fuentes areales, fuentes móviles y emisiones fugitivas. Cada una de estas emisiones es generada por las siguientes fuentes:

- Emisiones de fuentes fijas: Secador Kumera, Horno Fusión Flash, Convertidores Peirce Smith, Horno Limpieza Escoria, Horno de Refino y Grupos electrógenos.
- Emisiones de fugitivas: Horno Fusión Flash, Convertidores Peirce Smith, Horno, Limpieza Escoria y Horno de Refino.
- Emisiones de fuentes areales: Stoke Piles y Escoriales
- Emisiones de fuentes móviles: Camiones que circulan por rutas sin pavimentar.

En el caso de las fuentes fijas, se utilizaron los resultados de las mediciones isocinéticas del año 2018, las cuales fueron realizadas mensualmente en cada fuente. En cuanto a las emisiones fugitivas, para el SO₂ se realizó un balance de azufre, y para el MP se utilizó el factor de emisión para MP₁₀ de acuerdo al documento "Optimización fundición Chagres, ingeniería de detalles con aseguramiento de calidad, estimación de emisiones fundición Chagres". cade-idep doc n°rep-0550-fs-004.



Para determinar las emisiones de los grupos electrógenos y fuentes areales se utilizaron factores de emisiones y niveles de actividad usando la siguiente ecuación:

$$E_i = FE_i \cdot NA \cdot \left(1 - \frac{\%Ef}{100}\right) \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde:

- E_i : Emisiones del contaminante i
- FE_i : Factor de emisión del contaminante i
- NA : Nivel de actividad
- $\%Ef$: Porcentaje de eficiencia de abatimiento

Para la estimación de emisiones de estas fuentes, se utilizaron los factores de emisión definidos en el AP 42, Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, United States – Environmental Protection Agency y en el Informe Final Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental (MMA 2015).

El Inventario de emisiones de Fundición Chagres del año base 2018 se realizó para cada tipo de fuente: Fuentes Fijas, Fuentes Fugitivas y Fuentes Móviles y Areales. Posterior al cálculo de las emisiones de los contaminantes considerados (MP_{10} , SO_2 , CO y NO_x), se determinaron los perfiles temporales de las fuentes con mayor aporte, con el objetivo de mejorar de forma significativa la predicción del modelado de la dispersión que será material del informe 3.

2.1. Inventario de emisiones de fuentes fijas, etapa de operación

Las emisiones de fuentes fijas son generadas por las siguientes actividades de operación:

- Secador Kumera
- Horno Fusión Flash
- Horno Limpieza Escoria
- Horno de Refino
- Planta de ácido (Convertidores Peirce Smith)
- Grupos electrógenos



Las emisiones de las fuentes fijas, a excepción de los grupos electrógenos, fueron determinadas mediante las mediciones isocinéticas del año 2018, las cuales fueron realizadas mensualmente en cada fuente.

Las emisiones finales mensuales de cada contaminante se determinaron utilizando las ecuaciones de la Tabla 1.

Tabla 1: Ecuaciones de transformación de mediciones de concentraciones de fuentes fijas a emisión

Contaminante	Emisión [kg/mes]	Definición de Variables
MP	$E_{MP} \cdot hr$	E_{MP} : Emisión de MP extraída de informe isocinético (kg/h) hr: Horas de operación al mes
SO ₂	$\frac{C_{SO_2} \cdot 2,86 \cdot Q}{10^6} \cdot hr$	C_{SO_2} : Concentración de SO ₂ medido (ppm) Q: Caudal de gases (m ³) hr: Horas de operación al mes
CO	$\frac{C_{CO} \cdot 1,25 \cdot Q}{10^6} \cdot hr$	C_{CO} : Concentración de CO medido (ppm) Q: Caudal de gases (m ³) hr: Horas de operación al mes
NO _x	$\frac{C_{NO_x} \cdot 2,86 \cdot Q}{10^6} \cdot hr$	C_{NO_x} : Concentración de NO _x medido (ppm) Q: Caudal de gases (m ³) hr: Horas de operación al mes

A continuación, se definen las variables utilizadas para determinar las emisiones mensuales de cada fuente. En la Tabla 2 se muestran los resultados de las mediciones realizadas a cada fuente durante cada mes del año 2018, donde se señalan las concentraciones medidas (emisión directa en el caso del MP) y el caudal de gases en el que fueron medidas dichas concentraciones. En las fuentes que no se dispone de la medición de cada uno de los 12 meses del año, los valores mensuales faltantes fueron determinados como el promedio mensual de los datos disponibles.



En la Tabla 3 se presentan las horas reales de operación de cada fuente durante el año 2018. Al reemplazar los valores de la Tabla 2 y Tabla 3 en las ecuaciones de la Tabla 1, se obtienen las emisiones de dichas fuentes fijas, las cuales se presentan en la Tabla 4

**Tabla 2: Resultados de mediciones isocinéticas de fuentes fijas del año 2018**

Fuente	Variable	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18
Secador Kumera	Caudal (Nm3/h)	18458	16666	16723	15776	15651	13848	16417	15742	16138	16067	17070	17955
	MP (kg/h)	0,09	0,15	0,10	0,12	0,19	0,17	0,23	0,24	0,10	0,14	0,16	0,14
	SO2 (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00
	CO (ppm)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
	NOX (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horno Limpieza Escoria	Caudal (Nm3/h)	61804	41291	51417	43834	50774	50900	51467	51721	52002	52428	54925	54046
	MP (kg/h)	0,89	0,47	0,42	0,24	0,57	1,90	0,39	0,37	0,33	0,20	1,07	0,99
	SO2 (ppm)	763,00	122,00	113,00	116,00	120,00	120,00	125,00	119,00	168,00	163,00	132,00	127,00
	CO (ppm)	74,00	49,00	53,00	54,00	44,00	44,00	44,00	44,00	61,00	57,00	45,00	53,00
	NOX (ppm)	9,00	8,00	9,00	9,00	17,00	7,00	14,00	14,00	6,00	2,00	14,00	2,00
Planta de ácido	Caudal (Nm3/h)	150323	153053	153001	151954	158171	152196	154978	148782	180266	180833	145991	150719
	MP (kg/h)	0,59	0,59	0,31	0,59	0,59	0,25	0,59	0,59	0,59	0,59	1,20	0,59
	SO2 (ppm)	227,00	200,00	230,00	218,00	241,00	231,00	286,00	211,00	370,00	362,00	288,00	367,00
	CO (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NOX (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horno de refino	Caudal (Nm3/h)	30461	19374	16214	33786	30627	31150	30350	32833	31460	31864	30759	30571
	MP (kg/h)	0,23	0,24	0,25	0,69	0,54	0,26	0,19	0,28	0,38	0,62	0,52	0,62
	SO2 (ppm)	21,00	34,00	20,00	20,00	18,00	28,00	17,00	18,00	384,00	263,00	21,00	25,00
	CO (ppm)	41,00	46,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NOX (ppm)	18,00	9,00	14,00	0,00		5,00	9,00	9,00	1,00	2,00	9,00	
	Caudal (Nm3/h)	115746	115746	128529	115746	115746	128149	115746	115746	115746	115746	90560	115746



Fuente	Variable	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18
Horno Fusión Flash (chimenea fria)	MP (kg/h)	1,72	1,72	1,66	1,72	1,72	2,10	1,72	1,72	1,72	1,72	1,40	1,72
	SO2 (ppm)	42,67	42,67	42,00	42,67	42,67	32,00	42,67	42,67	42,67	42,67	54,00	42,67
	CO (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NOX (ppm)	0,67	0,67	2,00	0,67	0,67	0,00	0,67	0,67	0,67	0,67	0,00	0,67

Tabla 3: Horas de operación de las fuentes fijas del año 2018

Fuente	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18
Secador Kumera	649,58	608,33	614,73	651,73	621,30	618,82	620,10	667,10	666,97	361,02	656,87	637,47
Horno Limpieza Escoria Reducción	123,35	110,09	72,81	113,51	115,38	71,48	116,81	110,74	111,89	54,59	109,27	119,40
Horno Limpieza Escoria Sedimentación	155,90	130,68	110,05	147,58	167,89	127,93	171,27	165,45	157,62	80,58	155,63	173,60
Planta de ácido (CPS)	274,64	261,16	267,49	298,60	287,47	299,22	296,84	294,09	273,99	150,84	286,73	279,43
Horno de refino 1	113,08	116,80	144,52	140,05	143,68	64,57	100,50	90,83	84,35	52,47	108,32	127,53
Horno de refino 2	116,20	112,73	77,02	95,72	109,67	156,65	93,00	93,10	93,65	49,95	121,62	129,12
Fugitivas (chimenea fria) Sangrado del eje	107,55	105,20	103,37	97,81	85,08	97,64	98,34	102,06	90,65	48,51	101,84	85,58
Fugitivas (chimenea fria) Sangrado escoria	369,35	335,81	322,77	320,48	293,54	231,74	114,98	185,15	182,38	117,41	204,70	216,65



Tabla 4: Emisión mensual generada por cada fuente fija de Chagres del año 2018

Fuente	Variable	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18	TOTAL (kg/año)
Secador Kumera	MP (kg/mes)	58,46	91,25	64,30	76,38	117,98	102,85	142,62	160,04	64,56	51,52	103,52	86,44	1119,93
	SO2 (kg/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,35	0,00	0,00	0,00	92,35
	CO (kg/mes)	0,00	0,00	25,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,45	0,00	0,00	39,15
	NOX (kg/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horno Limpieza Escoria Reducción	MP (kg/mes)	109,78	51,74	30,58	27,24	65,76	135,80	45,56	40,97	36,92	10,92	116,92	118,21	790,41
	SO2 (kg/mes)	16635,90	1586,12	1209,85	1650,68	2010,48	1248,59	2149,21	1949,36	2795,72	1334,27	2265,68	2343,89	37179,74
	CO (kg/mes)	705,18	278,43	248,01	335,85	322,19	200,09	330,65	315,02	443,67	203,93	337,58	427,52	4148,12
	NOX (kg/mes)	140,65	74,55	69,07	91,80	204,15	52,21	172,54	164,38	71,57	11,73	172,24	26,46	1251,36
Horno Limpieza Escoria Sedimentación	MP (kg/mes)	138,75	61,42	46,22	35,42	95,70	243,07	66,79	61,22	52,01	16,12	166,52	171,86	1155,11
	SO2 (kg/mes)	21025,84	1882,79	1828,69	2146,21	2925,62	2234,85	3151,21	2912,37	3938,20	1969,53	3226,93	3407,87	50650,11
	CO (kg/mes)	891,26	330,51	374,87	436,67	468,85	358,15	484,80	470,65	624,97	301,02	480,81	621,58	5844,14
	NOX (kg/mes)	177,77	88,50	104,40	119,36	297,08	93,44	252,98	245,59	100,82	17,32	245,32	38,47	1781,04
Planta de ácido	MP (kg/mes)	161,44	153,52	82,92	175,52	168,99	75,85	174,49	172,87	161,06	88,67	344,08	164,26	1923,68
	SO2 (kg/mes)	26802,81	22863,48	26921,13	28289,12	31340,60	30086,23	37629,43	26404,19	52265,37	28241,17	34479,17	44205,16	389527,85
	CO (kg/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NOX (kg/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horno de refino 1	MP (kg/mes)	26,01	28,03	36,13	96,63	77,59	16,79	19,10	25,43	32,05	32,53	56,32	79,07	525,69
	SO2 (kg/mes)	206,88	220,04	134,03	270,65	226,54	161,06	148,30	153,53	2914,35	1257,49	200,10	278,77	6171,75
	CO (kg/mes)	176,54	130,12	87,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	394,52
	NOX (kg/mes)	127,11	41,75	67,25	0,00	0,00	20,62	56,28	55,02	5,44	6,85	61,47	0,00	441,79
Horno de refino 2	MP (kg/mes)	26,73	27,06	19,25	66,04	59,22	40,73	17,67	26,07	35,59	30,97	63,24	80,05	492,62



Fuente	Variable	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18	TOTAL (kg/año)
	SO2 (kg/mes)	212,59	212,38	71,43	184,98	172,91	390,76	137,23	157,36	3235,67	1197,17	224,67	282,23	6479,38
	CO (kg/mes)	181,40	125,59	46,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	353,82
	NOX (kg/mes)	130,61	40,30	35,84	0,00	0,00	50,02	52,08	56,40	6,04	6,53	69,02	0,00	446,82
Horno Fusión Flash (chimenea fria) Sangrado del eje	MP (kg/mes)	184,98	180,95	171,59	168,23	146,34	205,05	169,15	175,54	155,92	83,43	142,58	147,20	1930,97
	SO2 (kg/mes)	1518,99	1485,92	1595,87	1381,49	1201,67	1145,19	1388,97	1441,52	1280,36	685,14	1424,37	1208,79	15758,26
	CO (kg/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NOX (kg/mes)	17,01	16,64	54,47	15,47	13,46	0,00	15,56	16,14	14,34	7,67	0,00	13,54	184,31
Horno Fusión Flash (chimenea fria) Sangrado escoria	MP (kg/mes)	635,28	577,59	535,80	551,23	504,88	486,66	197,77	318,45	313,70	201,95	286,58	372,64	4982,53
	SO2 (kg/mes)	5216,72	4743,02	4983,19	4526,55	4145,94	2717,95	1624,01	2615,02	2575,99	1658,31	2862,96	3060,00	40729,66
	CO (kg/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NOX (kg/mes)	58,43	53,12	170,09	50,70	46,43	0,00	18,19	29,29	28,85	18,57	0,00	34,27	507,94



2.1.1. Grupos Electrógenos

Dado que a los Grupos Electrógenos no se les realiza medición de emisiones, estas fueron determinadas mediante factores de emisión de la Ecuación 1.

La operación del establecimiento cuenta con 6 grupos electrógenos, a continuación, se define los factores de emisión y niveles de actividad utilizados y la respectiva emisión estimada para esta fuente.

2.1.1.1. Factor de emisión Grupos Electrógenos

A continuación, se definen los factores de emisión utilizados para la estimación de emisiones de los grupos electrógenos, los cuales fueron obtenidos de la Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana, enero 2012.

Tabla 5: Factores de emisión utilizados para grupos electrógenos

Condición	MP	SO _x	NO _x	CO	Unidad
Hasta 600 hp	1,31E-03	1,25E-03	0,0188	4,06E-03	kg/kw-h
más de 600 hp	4,26E-04	2,46E-05	0,0146	3,34E-03	kg/kw-h

2.1.1.2. Nivel de Actividad Grupos Electrógenos

El nivel de actividad asociado a las emisiones generadas por los grupos electrógenos está dado por la potencia generada por horas durante un periodo de tiempo, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación.

$$PG = P_i \cdot t$$

Ecuación 2

Dónde:

PG : Potencia generada [kW-h]

P_i : Potencia del grupo electrógeno i [kW]

t : Horas de funcionamiento [h]

La siguiente tabla muestra la potencia, las horas de funcionamiento y el nivel de actividad para cada generador electrógeno.



Tabla 6: Nivel de Actividad utilizado para los grupos electrógenos GE 1

Fecha	hrs	kW	kW-h
Ene-16	-	1150	-
Feb-16	0,46	1150	528,28
Mar-16	0,83	1150	950,55
Abr-16	-	1150	-
May-16	1,08	1150	1.240,74
Jun-16	-	1150	-
Jul-16	2,04	1150	2.349,41
Ago-16	1,62	1150	1.860,66
Sep-16	0,75	1150	858,91
Oct-16	-	1150	-
Nov-16	0,37	1150	430,35
Dic-16	0,32	1150	371,05

Tabla 7: Nivel de Actividad utilizado para los grupos electrógenos GE 2

Fecha	hrs	kW	kW-h
Ene-16	-	1150	-
Feb-16	0,46	1150	528,28
Mar-16	0,83	1150	950,55
Abr-16	-	1150	-
May-16	1,08	1150	1.240,74
Jun-16	-	1150	-
Jul-16	2,04	1150	2.349,41
Ago-16	1,62	1150	1.860,66
Sep-16	0,75	1150	858,91
Oct-16	-	1150	-
Nov-16	0,37	1150	430,35
Dic-16	0,32	1150	371,05

Tabla 8: Nivel de Actividad utilizado para los grupos electrógenos GE 3

Fecha	hrs	kW	hp
Ene-16	-	144	-
Feb-16	-	144	-
Mar-16	-	144	-



Fecha	hrs	kW	hp
Abr-16	-	144	-
May-16	-	144	-
Jun-16	-	144	-
Jul-16	-	144	-
Ago-16	-	144	-
Sep-16	-	144	-
Oct-16	-	144	-
Nov-16	-	144	-
Dic-16	-	144	-

Tabla 9: Nivel de Actividad utilizado para los grupos electrógenos GE 4

Fecha	hrs	kW	hp
Ene-16	-	400	-
Feb-16	-	400	-
Mar-16	-	400	-
Abr-16	-	400	-
May-16	-	400	-
Jun-16	-	400	-
Jul-16	-	400	-
Ago-16	-	400	-
Sep-16	-	400	-
Oct-16	-	400	-
Nov-16	-	400	-
Dic-16	-	400	-

Tabla 10: Nivel de Actividad utilizado para los grupos electrógenos GE 5

Fecha	hrs	kW	kW-h
Ene-16	-	2000	-
Feb-16	-	2000	-
Mar-16	-	2000	-
Abr-16	-	2000	-
May-16	0,63	2000	1.250,00
Jun-16	-	2000	-



Fecha	hrs	kW	kW-h
Jul-16	0,63	2000	1.250,00
Ago-16	-	2000	-
Sep-16	-	2000	-
Oct-16	-	2000	-
Nov-16	0,63	2000	1.250,00
Dic-16	-	2000	-

Tabla 11: Nivel de Actividad utilizado para los grupos electrógenos GE 6

Fecha	hrs	kW	kW-h
Ene-16	-	2000	-
Feb-16	-	2000	-
Mar-16	-	2000	-
Abr-16	-	2000	-
May-16	0,63	2000	1.250,00
Jun-16	-	2000	-
Jul-16	0,63	2000	1.250,00
Ago-16	-	2000	-
Sep-16	-	2000	-
Oct-16	-	2000	-
Nov-16	0,63	2000	1.250,00
Dic-16	-	2000	-

2.1.1.3. Emisiones de los Grupos Electrógenos

Finalmente, al multiplicar el factor de emisión de cada contaminante por el nivel de actividad correspondiente a cada mes del año 2018 de cada grupo electrógeno, se obtienen las siguientes tasas de emisión para cada contaminante generado por cada grupo.

Tabla 12: Tasas de emisión estimadas para GE 1

Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Ene-18	-	-	-	-	kg/mes
Feb-18	0,23	0,01	7,71	1,76	kg/mes
Mar-18	0,40	0,02	13,88	3,17	kg/mes
Abr-18	-	-	-	-	kg/mes



Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
May-18	0,53	0,03	18,11	4,14	kg/mes
Jun-18	-	-	-	-	kg/mes
Jul-18	1,00	0,06	34,30	7,85	kg/mes
Ago-18	0,79	0,05	27,17	6,21	kg/mes
Sep-18	0,37	0,02	12,54	2,87	kg/mes
Oct-18	-	-	-	-	kg/mes
Nov-18	0,18	0,01	6,28	1,44	kg/mes
Dic-18	0,16	0,01	5,42	1,24	kg/mes
TOTAL	3,66	0,21	125,41	28,69	kg/año

Tabla 13: Tasas de emisión estimadas para GE 2

Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Ene-18	-	-	-	-	kg/mes
Feb-18	0,23	0,01	7,71	1,76	kg/mes
Mar-18	0,40	0,02	13,88	3,17	kg/mes
Abr-18	-	-	-	-	kg/mes
May-18	0,53	0,03	18,11	4,14	kg/mes
Jun-18	-	-	-	-	kg/mes
Jul-18	1,00	0,06	34,30	7,85	kg/mes
Ago-18	0,79	0,05	27,17	6,21	kg/mes
Sep-18	0,37	0,02	12,54	2,87	kg/mes
Oct-18	-	-	-	-	kg/mes
Nov-18	0,18	0,01	6,28	1,44	kg/mes
Dic-18	0,16	0,01	5,42	1,24	kg/mes
TOTAL	3,66	0,21	125,41	28,69	kg/año

Tabla 14: Tasas de emisión estimadas para GE 3

Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Ene-18	-	-	-	-	kg/mes
Feb-18	-	-	-	-	kg/mes
Mar-18	-	-	-	-	kg/mes
Abr-18	-	-	-	-	kg/mes
May-18	-	-	-	-	kg/mes



Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Jun-18	-	-	-	-	kg/mes
Jul-18	-	-	-	-	kg/mes
Ago-18	-	-	-	-	kg/mes
Sep-18	-	-	-	-	kg/mes
Oct-18	-	-	-	-	kg/mes
Nov-18	-	-	-	-	kg/mes
Dic-18	-	-	-	-	kg/mes
TOTAL	-	-	-	-	kg/año

Tabla 15: Tasas de emisión estimadas para GE 4

Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Ene-18	-	-	-	-	kg/mes
Feb-18	-	-	-	-	kg/mes
Mar-18	-	-	-	-	kg/mes
Abr-18	-	-	-	-	kg/mes
May-18	-	-	-	-	kg/mes
Jun-18	-	-	-	-	kg/mes
Jul-18	-	-	-	-	kg/mes
Ago-18	-	-	-	-	kg/mes
Sep-18	-	-	-	-	kg/mes
Oct-18	-	-	-	-	kg/mes
Nov-18	-	-	-	-	kg/mes
Dic-18	-	-	-	-	kg/mes
TOTAL	-	-	-	-	kg/año

Tabla 16: Tasas de emisión estimadas para GE 5

Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Ene-18	-	-	-	-	kg/mes
Feb-18	-	-	-	-	kg/mes
Mar-18	-	-	-	-	kg/mes
Abr-18	-	-	-	-	kg/mes
May-18	0,53	0,03	18,25	4,18	kg/mes
Jun-18	-	-	-	-	kg/mes
Jul-18	0,53	0,03	18,25	4,18	kg/mes
Ago-18	-	-	-	-	kg/mes
Sep-18	-	-	-	-	kg/mes
Oct-18	-	-	-	-	kg/mes
Nov-18	0,53	0,03	18,25	4,18	kg/mes



Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Dic-18	-	-	-	-	kg/mes
TOTAL	1,60	0,09	54,75	12,53	kg/año



Tabla 17: Tasas de emisión estimadas para GE 6

Fecha	MP	SOx	NOx	CO	Unidad
Ene-18	-	-	-	-	kg/mes
Feb-18	-	-	-	-	kg/mes
Mar-18	-	-	-	-	kg/mes
Abr-18	-	-	-	-	kg/mes
May-18	0,53	0,03	18,25	4,18	kg/mes
Jun-18	-	-	-	-	kg/mes
Jul-18	0,53	0,03	18,25	4,18	kg/mes
Ago-18	-	-	-	-	kg/mes
Sep-18	-	-	-	-	kg/mes
Oct-18	-	-	-	-	kg/mes
Nov-18	0,53	0,03	18,25	4,18	kg/mes
Dic-18	-	-	-	-	kg/mes
TOTAL	1,60	0,09	54,75	12,53	kg/año

2.2. Inventario de emisiones fugitivas

Las emisiones fugitivas de SO₂ se determinaron mediante un balance al azufre, el cual se resume en la Tabla 18.

Tabla 18: Balance de Azufre

Actividad	Emisión	Unidad	Contaminante
Azufre Ingresado	168.500	Ton/año	
Fijacion	163.159	Ton/año	
Delta Inventarios	348	Ton/año	
Total emisiones	5.148	Ton/año	S
Total emisiones	10.295,08	Ton/año	SO2
Emisiones por Chimeneas	386	Ton/año	SO2
Total emisiones Fugitivas	9.909	Ton/año	SO2

En cuanto a las emisiones fugitivas de MP, se utiliza el factor de emisión para MP10 de acuerdo al documento "Optimización fundición Chagres, ingeniería de detalles con aseguramiento de calidad, estimación de emisiones fundición Chagres". cade-idep doc n°rep-0550-fs-004. En la Tabla 19 se presentan las variables utilizadas para el cálculo y la emisión de MP fugitiva resultante.



Tabla 19: Emisiones fugitivas de MP

Actividad	Concentrado de Cu Procesado Ton/año	Cu Moldeado Ton/año	FE _{MP} FE Kg/Ton Conc Cu.	Emisión MP	Unidad
Emisiones Fugitivas HHF + HLE + CPS + OLLA ESC Has (PS000577-2)	552055	139655	1,04	575,79	Ton/año

2.3. Inventario de emisiones fuentes areales etapa de operación

2.3.1. Descarga de material de camiones en escorial

Para la descarga de material de los camiones en escorial se emplea la siguiente ecuación:

$$Emisión \left(\frac{Ton \text{ contaminante}}{año} \right) = F_e \left(\frac{kg \text{ contaminante}}{Ton \text{ material}} \right) \cdot N_a \cdot \left(\frac{Ton \text{ material}}{año} \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

F_e : Factor de emisión del contaminante

N_a : Nivel de actividad expresado como cantidad de material a descargar en un año.

Para determinar el factor de emisión del contaminante, se emplea la siguiente ecuación:

$$F_e \left(\frac{kg \text{ contaminante}}{Ton \text{ material}} \right) = k \cdot 0,0016 \cdot \frac{\left(\frac{U}{2,2} \right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2} \right)^{1,4}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

k: multiplicador de partícula adimensional (depende del contaminante)

U: Velocidad media del viento (m/s)

M: Contenido promedio de humedad del material (%)

El factor k según el tiempo de contaminante particulado se observa en la siguiente tabla:

Tabla 20. Parámetro k a emplear en el factor de emisión para la descarga de material en botadero.

Contaminante	k
PTS	0,74
PM10	0,35
PM2.5	0,0053



El contenido de humedad del material a descargar se consideró como 1,1 %. Además, la velocidad media del viento se estableció en 4,03 m/s.

De esta forma, el factor de emisión para PTS sería:

$$F_{e(PTS)} = 0,74 \cdot 0,0016 \cdot \frac{\left(\frac{4,03}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{1,1}{2}\right)^{1,4}}$$

$$F_{e(PTS)} = 154,9 \cdot 10^{-6} \left(\frac{kg PTS}{Ton mineral} \right)$$

Para el resto de los contaminantes se procede de igual forma, obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 21. Factor de emisión de descarga de material de camiones en botadero.

Contaminante	$F_e \left(\frac{kg \text{ contaminante}}{Ton \text{ material}} \right) \cdot 10^6$
PTS	6006,1
PM10	2840,7
PM2.5	43,0

La cantidad de material a descargar por los camiones en el escorial para el año base sería de 62000 toneladas. De esta forma, las emisiones de PTS para el año base sería de esta forma:

$$Emisión_{PTS} = 6006,1 \cdot 10^{-6} \left(\frac{kg PTS}{Ton material} \right) \cdot 62\ 000 \cdot \left(\frac{Ton material}{año} \right)$$

$$Emisión_{PTS} = 0,3724 \left(\frac{Ton contaminante}{año} \right)$$

Para el resto de los contaminantes se procede de igual forma, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 22. Emisiones anuales de descarga de material de camiones en botadero.

Contaminante	$Emisión \left(\frac{Ton contaminante}{año} \right)$
PTS	0,3724
PM10	0,1761
PM2.5	0,0027



2.3.2. Inventario de emisiones de fuentes móviles en área Sur

En la siguiente tabla se presentan las emisiones de fuentes móviles del área Sur, cuyos resultados fueron otorgados por la contraparte de este equipo consultor.

Actividad			kg/mes		
			MP 10	MP2,5	PTS
Transito Camino Pavimentados	Camiones	Camión Acido Grado A (cargados)	162,1376	25,5677	973,492
		Camión Acido Grado A (vacíos)	34,4301	5,3593	207,247
		Camión Acido 35% (vacío)	0,2176	0,0308	1,138
		Camión Acido 35% (cargado)	0,7701	0,1100	4,022
		Camión Concentrado Los Bronces (vacío)	10,9171	1,5384	57,160
		Camión Concentrado Los Bronces (cargado)	56,1444	8,0275	293,129
		Camión Concentrado El Soldado (vacío)	2,9493	0,4156	15,442
		Camión Concentrado El Soldado (cargado)	14,8097	2,1174	77,322
	Equipos ESTIN	Cargador Frontal	0,0537	0,0076	0,281
		Camión Hyvac	0,0067	0,0007	0,076
		Grua Horquilla (10 ton)	0,0067	0,0009	0,035
	Equipos Repolmet	Grua Horquilla (4 ton)	0,0549	0,0074	0,290
		Barredora Clark	0,0023	0,0034	0,129
	Otros	Barredora Dulevo	0,0245	0,0003	0,013
	Descarga de Concentrado	Camionetas	0,0210	0,0011	0,147
Camión Concentrado Los Bronces		19,9383	7,4342	42,155	
Camión Concentrado El Soldado		0,0005	0,0002	0,001	
Total		302,48	50,62	1672,08	

3. Perfiles Temporales de las Emisiones por Tipo de Fuentes

El análisis de los perfiles temporales de las emisiones permite determinar el comportamiento de las fuentes emisoras dentro del inventario de emisiones, además de ser un valor crítico de ingreso para los modelos de calidad del aire. De acuerdo a la



información de operación de Fundición Chagres entregada por la contraparte técnica, se realizó un cálculo por tipo de fuente y por mes de operación, generando los perfiles temporales que se indican en las Figuras 2 a la 8. Debido a la diferencia en orden de magnitud de algunas emisiones, las líneas punteadas se leen en el eje secundario (eje vertical derecho).

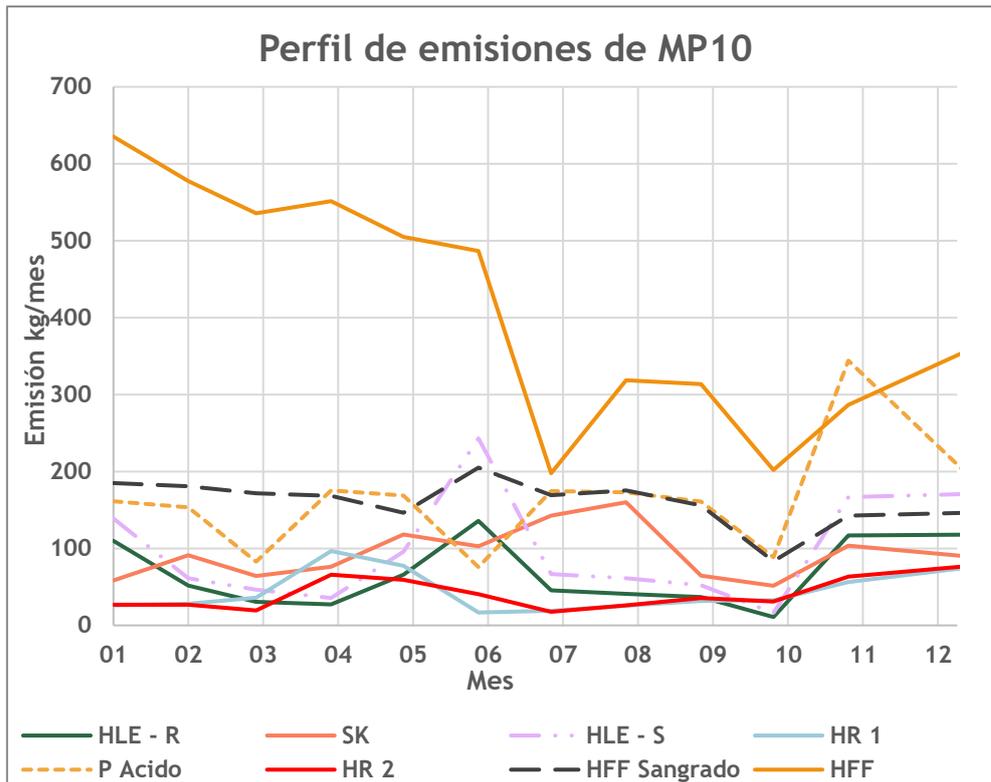


Figura 2. Perfil mensual de emisiones de MP₁₀ de fuentes fijas

La Figura 2 muestra el perfil de emisiones del MP₁₀ para las fuentes fijas. Los valores más bajos pertenecen a los Hornos de Refino HR 1 y HR 2, con valores promedios de 43.81 y 41.05 kg/mes. Los HFF presentan las mayores emisiones, por sobre los 200 kg/mes, alcanzado en los meses de enero a mayo valores por encima de los 500 kg/mes. Para el resto de las fuentes analizadas, el promedio se encuentra debajo de los 200 kg/mes.

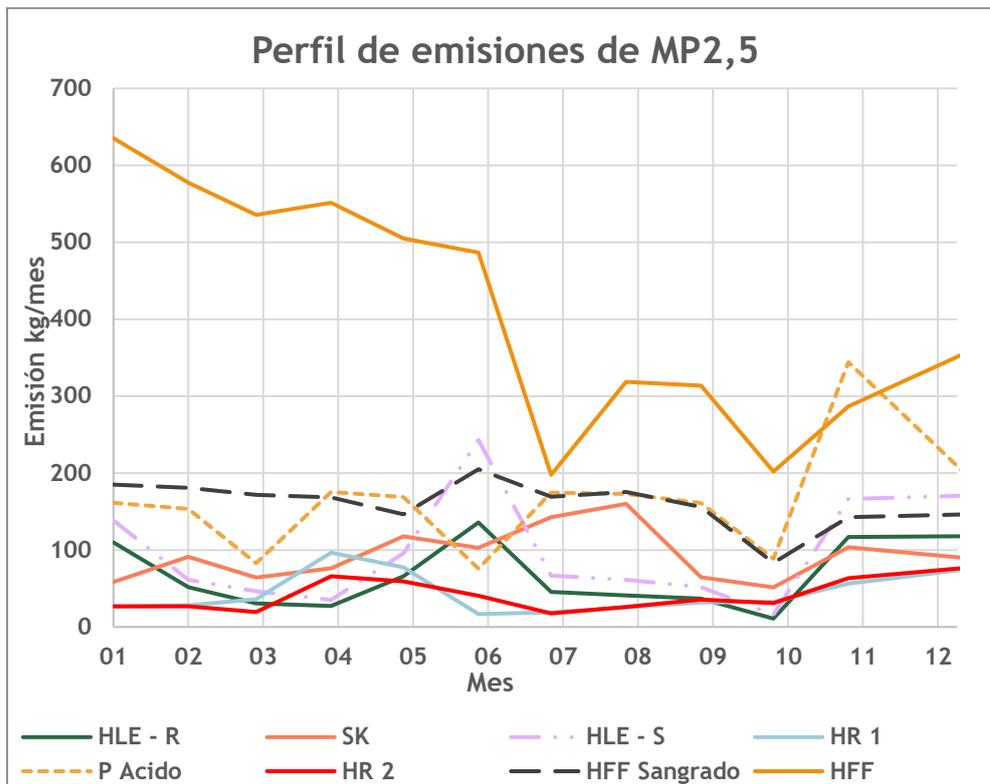


Figura 3. Perfiles mensuales de emisiones de MP_{2,5} de fuentes fijas

La Figura 3 muestra el perfil de emisiones del MP_{2,5} para las fuentes fijas. Los valores para PM_{2.5} se asumen que son los mismo que para MP₁₀, lo que constituye un escenario de estimación pesimista.

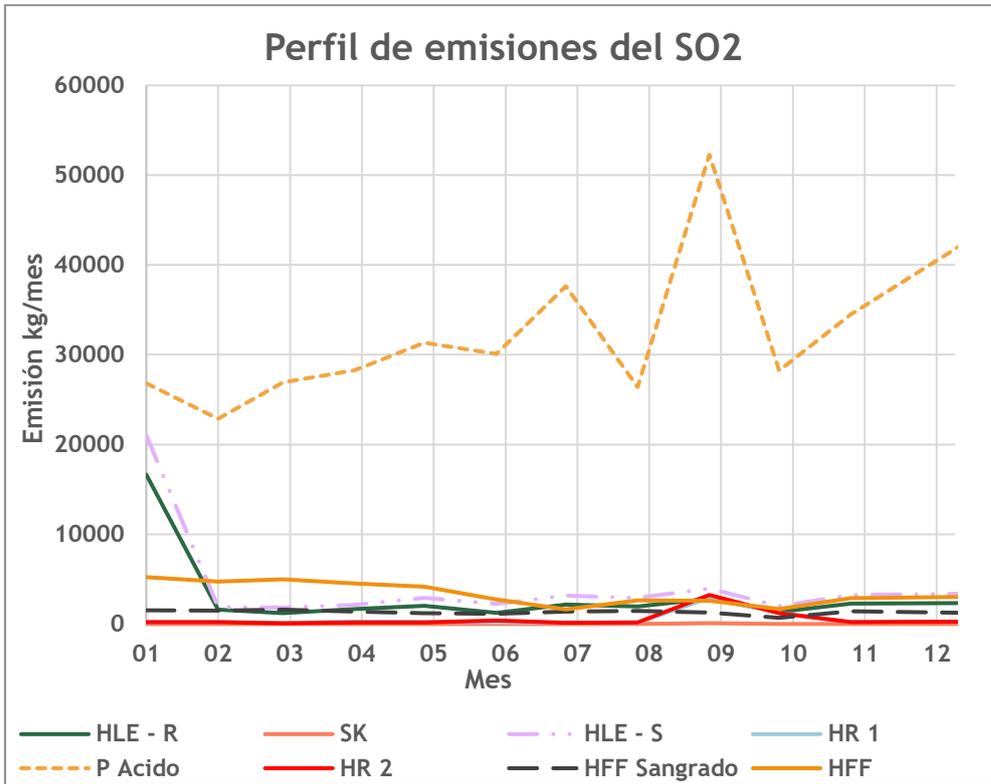


Figura 4. Perfiles de emisiones de SO_x de fuentes fijas

La Figura 4 muestra el perfil para SO₂ en las fuentes analizadas. La planta de ácido es la principal fuente emisora, con valores de hasta 52265 kg/mes en el mes de septiembre. El promedio de emisión es de 32461 kg/mes en todo el año. Las demás fuentes se encuentran por debajo de los 5000 kg/mes. Para el caso de los HLE (Reducción y Sedimentación) los valores promedio son 3098.3 y 4220.8 kg/mes, con máximos en el mes de septiembre.

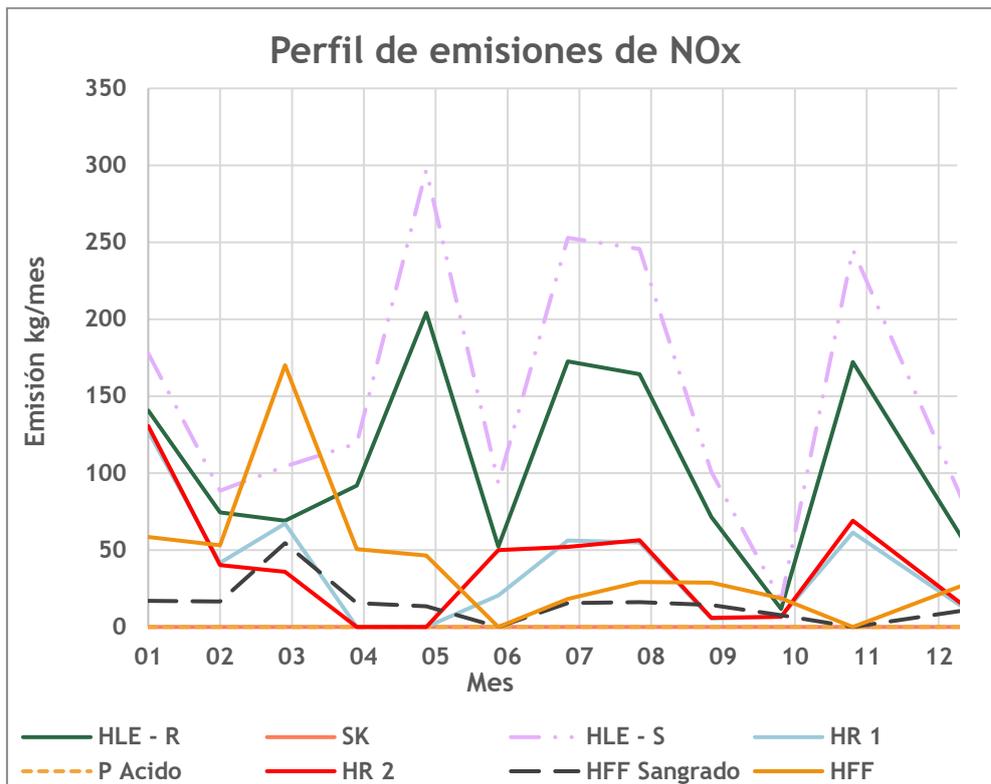


Figura 5. Perfil de Emisiones de NOx

La Figura 7 indica el perfil mensual de emisiones de NOx, donde los HLE (Reducción y Sedimentación) generan los mayores valores mensuales con 104 y 148 kg/mes en promedio y máximos en mayo, julio y noviembre. Otra fuente importante es el HFF, con un máximo en marzo de 170 kg/mes.

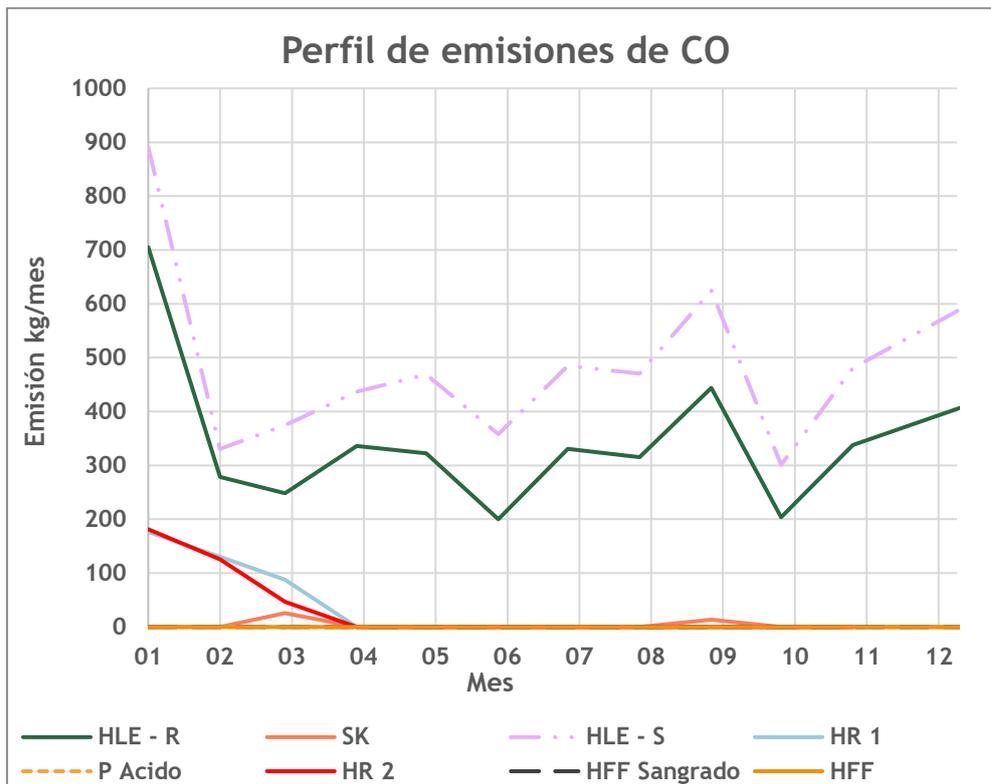


Figura 6. Perfiles de emisiones de CO de Fuentes Fijas

Finalmente, la Figura 8 muestra el perfil de emisiones del CO, donde al igual que para el NO_x, las fuentes del HLE generan los valores más altos, con 345 y 487 kg/mes en promedio y máximos de 700 y 900 en enero, respectivamente. Las demás fuentes se hallan por debajo de los 100 kg/mes en promedio.



4. RESUMEN DE EMISIONES

A continuación, se presenta el resumen de emisiones anuales generadas por la fundición y la distribución de las emisiones de MP₁₀, SO₂, CO y NO_x.

Tabla 23: Resumen de tasas de emisiones anuales 2018

Tipo Emisión	Fuente	MP ₁₀ (ton/año)	SO ₂ (ton/año)	CO (ton/año)	NO _x (ton/año)	
Emisiones Fuentes Fijas	Secador Kumera	1,12	0,09	0,04	0,00	
	Planta de limpieza de gases HLE y refinó	HLE	1,95	87,83	9,99	3,03
		Refino	1,02	12,65	0,75	0,89
	Planta de ácido (CPS)	1,92	389,53	0,00	0,00	
	Horno Fusión Flash Chimenea Fría	6,91	56,49	0,00	0,69	
	Grupos electrógenos	0,01	0,00	0,08	0,36	
Emisiones Fuentes Fugitivas		575,79	9.908,59			
Emisiones areales	Descarga en escoria	0,1761				
	Emisiones área Sur	3,63				
TOTAL [ton/año]		592,52	10.455,18	10,96	4,97	

Figura 7. Distribución de emisiones de MP

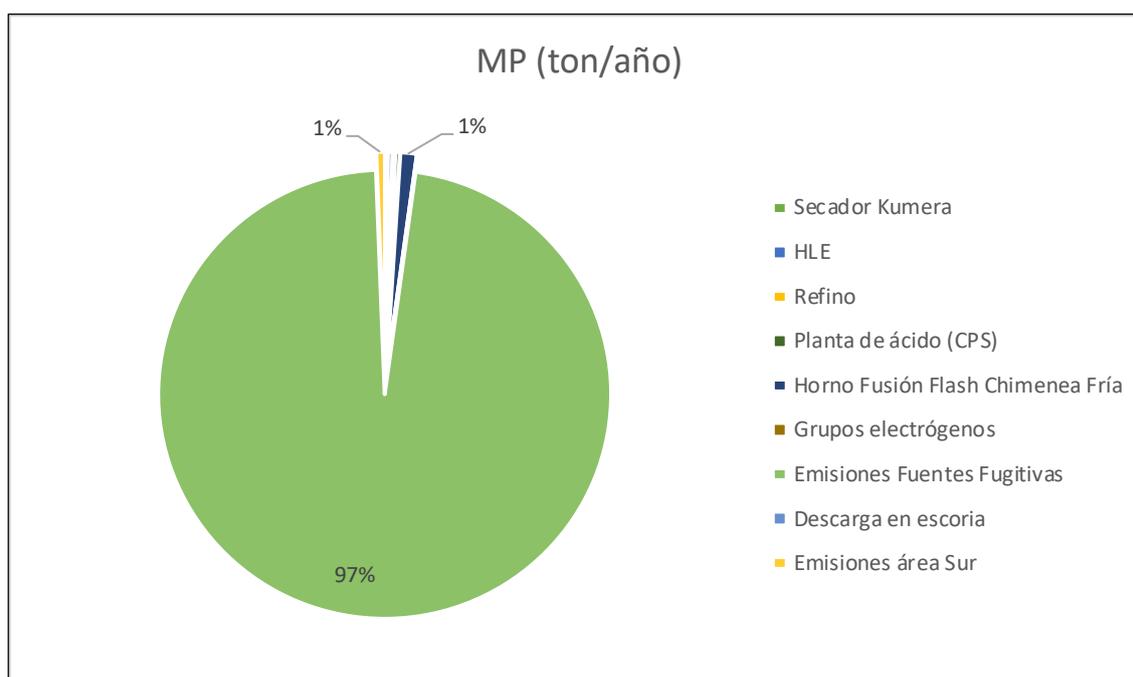
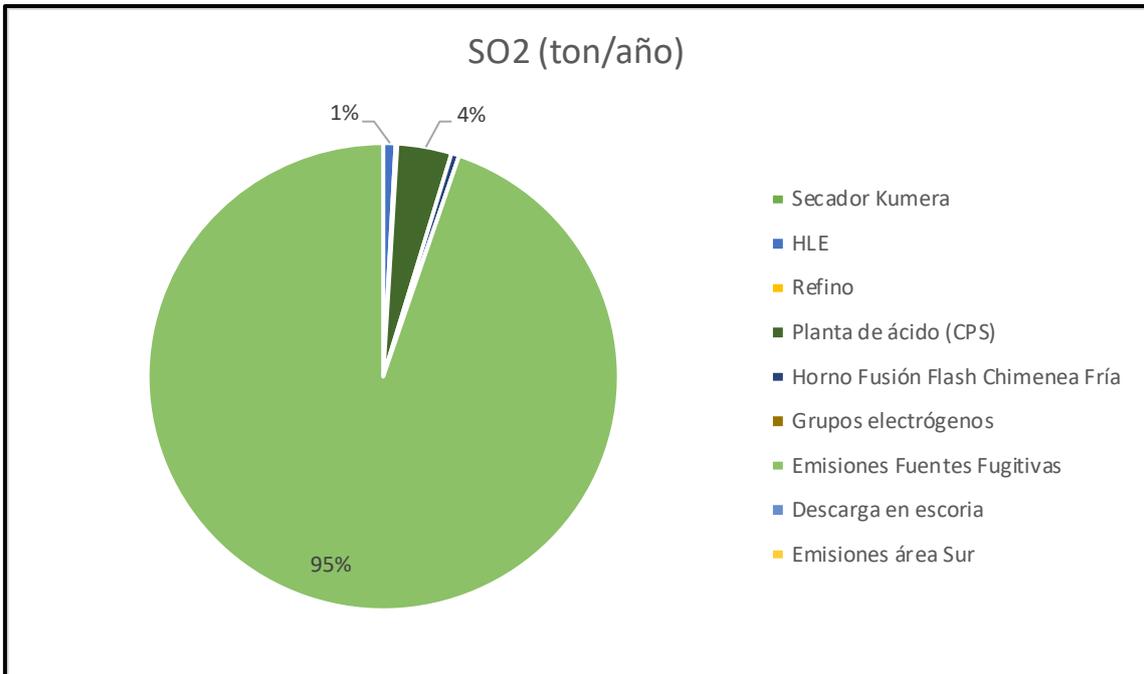




Figura 8. Distribución de emisiones de SO₂



De las figuras anteriores se obtiene que las principales emisiones de MP₁₀ y SO₂ fueron generadas por las fuentes fugitivas, las cuales representaron un 97% de la emisión total de MP₁₀ y un 95% de la emisión de SO₂ generada durante el año 2018.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

INFORME FINAL DE MODELACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PARA



FUNDICIÓN CHAGRES

2019



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

“Estudio de análisis de la calidad del aire y simulación de dispersión para Fundición Chagres – Anglo American”

INFORME 3

Preparado por:
PARTICUOLOTECH LTDA.

Versión del Documento		1	
<i>Responsables Elaboración de Informe Rev. 2</i>		<i>Responsable Revisión y Aprobación de Informe Rev.2</i>	
Nombre:	Fidel Vallejo Gallardo	Nombre:	Luis Alonso Díaz Robles
Cargo:	Ingeniero Senior Magíster en Ciencias de la Ingeniería Particulotech Ltda.	Cargo:	Jefe de Proyecto Gerente General Particulotech Ltda.
Fecha:	18-11-2019	Fecha:	18-11-2019



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO	7
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. OBJETIVO GENERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. METODOLOGÍA.....	12
3.1. DATA DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA.....	12
3.2. SISTEMA DE MODELACIÓN WRF	12
3.3. DOMINIO DE MODELACIÓN	13
3.4. UBICACIÓN DE FUENTES Y PERFIL DE EMISIONES DE CONTAMINANTES.....	16
3.5. SISTEMA DE MODELACIÓN CALPUFF	25
4. RESULTADOS.....	30
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS MODELACIÓN WRF	30
4.1.1. Datos meteorológicos observados	30
4.2. MODELACIÓN CALPUFF	37
4.3. Análisis de escenarios para el SO ₂	48
5. CONCLUSIONES.....	53



Índice de tablas

Tabla 1. Información del dominio'd01'	14
Tabla 2. Resumen del Inventario de emisiones	16
Tabla 3. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 1 (g/s)	17
Tabla 4. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 2 (g/s)	17
Tabla 5. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 3 (g/s)	18
Tabla 6. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 4 (g/s)	18
Tabla 7. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 5 (g/s)	18
Tabla 8. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 6 (g/s)	19
Tabla 9. Perfil de emisiones para Secador Kumera (g/s)	19
Tabla 10. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Reducción) (g/s)	19
Tabla 11. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Sedimentación) (g/s)	20
Tabla 12. Perfil de emisiones para Planta de ácido (g/s)	20
Tabla 13. Perfil de emisiones para Horno de refino 1 (g/s)	21
Tabla 14. Perfil de emisiones para Horno de refino 2 (g/s)	21
Tabla 15. Perfil de emisiones para Sangrado eje (g/s)	21
Tabla 16. Perfil de emisiones para Sangrado escoria (g/s)	22
Tabla 17. Porcentajes de frecuencia horaria de velocidad del viento en Santa Margarita	23
Tabla 18. Emisiones areales-fugitivas de SO ₂ horarias en perfil mensual (g/m ² s)	24
Tabla 19. Velocidad del viento (m/s) modelada y observada como promedio anual, año 2018	30
Tabla 20. Concentración promedio anual de SO ₂ modelada y observada año 2018	37
Tabla 21. Descripción de escenarios	48
Tabla 22. Reducción de concentraciones anuales del SO ₂ en Estación Margarita, año 2018	52



Índice de Figuras

Figura 1. Zona de Estudio de Fundición Chagres.....	10
Figura 2. Diagrama del funcionamiento del modelo WRF v3.9 y sus módulos	13
Figura 3. Malla de dominio anidado 'd03'. Celdas de 1 km.....	14
Figura 4. Topografía del Dominio de Modelación en 2D.....	15
Figura 5. Dominio de modelación en Calpuff con data superficial y tamaño de celda de 200 m.....	16
Figura 6. Ubicación de fuentes puntuales (círculos) y aerales-fugitivas (rectángulo) en Chagres	25
Figura 7. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información	27
Figura 8. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF View 8.6	28
Figura 9. Ejemplo de representación de resultados Calpuff.....	29
Figura 10. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Catemu, año 2018	31
Figura 11. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Romeral, año 2018.....	31
Figura 12. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Santa Margarita, año 2018	32
Figura 13. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Lo Campo, año 2018 ..	32
Figura 14. Rosa de los vientos observada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche	33
Figura 15. Rosa de los vientos modelada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche	34
Figura 16. Rosa de los vientos observada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche	34
Figura 17. Rosa de los vientos modelada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche	35
Figura 18. Rosa de los vientos observada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche	35
Figura 19. Rosa de los vientos modelada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche.....	36
Figura 20. Rosa de los vientos observada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche	36
Figura 21. Rosa de los vientos modelada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche.....	37
Figura 22. Concentración de SO ₂ observada y modelada en Catemu, año 2018	38
Figura 23. Concentración SO ₂ observada y modelada en Romeral, año 2018	39
Figura 24. Concentración SO ₂ observada y modelada en Sta. Margarita, año 2018	40



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Figura 25. Concentración SO ₂ observada y modelada en Lo Campo, año 2018	40
Figura 26. Concentración PM ₁₀ observada y modelada en Catemu, año 2018	41
Figura 27. Concentración PM ₁₀ observada y modelada en Lo Campo, año 2018	42
Figura 28. Concentración PM ₁₀ modelada en Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo, año 2018 .	43
Figura 29. Promedio de concentraciones de 1 h – SO ₂	44
Figura 30. Promedio de concentraciones de 1 h – SO ₂ (Fundición → Sta. Margarita).....	44
Figura 31. Promedio de concentraciones de 1 h – SO ₂ (Catemu → Fundición Chagres)	45
Figura 32. Promedio de concentraciones de 24 h – SO ₂	45
Figura 33. Promedio de concentraciones de anual – SO ₂	46
Figura 34. Promedio de concentraciones de 1 h – PM ₁₀	47
Figura 35. Promedio de concentraciones de 24 h – PM ₁₀	47
Figura 36. Promedio de concentraciones anual – PM ₁₀	48
Figura 37. Escenario 2 comparado con el base	49
Figura 38. Escenario 3 comparado con el base	50
Figura 39. Escenario 4 comparado con el base	51
Figura 40. Todos los escenarios comparados.....	51



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe muestra los resultados obtenidos de la modelación de la dispersión de las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) y PM_{10} generados por la operación de la Fundición Chagres de Anglo American para todo el año 2018. La modelación meteorológica y de dispersión de contaminantes se realizó utilizando modelos recomendados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) llamados Weather Research and Forecasting (WRF) y CALPUFF, cuyas versiones usadas fueron la v3.9 y Calpuff View 8.6, respectivamente. El dominio de modelación considerado fue de 61×61 km con 44 capas verticales, cuyas celdas de la malla de modelación fueron de 200×200 m, esto con el objetivo de conseguir una mejor resolución y detalles de la zona geográfica. Cabe destacar que para lograr un mejor desempeño del modelo WRF, la modelación meteorológica fue ajustada mediante el preprocesador CALMET (Calpuff) con la data anual observada del 2018 de tres estaciones meteorológicas de superficie de la zona de estudio: estaciones Santa Margarita, Catemu, Lo Campo y Romeral.

Para la modelación del PM_{10} y SO_2 , se consideraron 4 escenarios de emisiones; (1) escenario del año base con todas las fuentes y emisiones presentadas en el Informe 2 del presente estudio, (2) escenario que consideró que el 20% de las emisiones fugitivas de la nave de fundición se llevan a actual Chimenea de 100 m, (3) escenario que consideró que el 40% de las emisiones fugitivas de la nave de fundición se llevan a actual Chimenea de 100 m, y (4) escenario que consideró que el 60% de las emisiones fugitivas de la nave de fundición se llevan a actual Chimenea de 100 m. El escenario 1 fue utilizado para verificar y aprobar el desempeño de la modelación meteorológica y de calidad del aire, y como escenario de comparación con el resto de los escenarios, previo ajuste de las concentraciones con el percentil 98 de las concentraciones horarias del SO_2 , según norma de calidad del aire D.S. N° 104/2019.

De acuerdo con los resultados, se concluye que tanto la simulación meteorológica y la de dispersión del SO_2 fueron razonables y se determinó que las concentraciones horarias, diaria y promedio anual no superaron la norma primaria de calidad del aire para el SO_2 (D.S. N° 104/2019) en cada una de las estaciones de monitoreo analizadas en el Primer Informe de este Estudio. En efecto, la modelación de la velocidad y dirección del viento, variable más influyente en la calidad



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

del aire, tuvo un mejor desempeño en la Estación Santa Margarita, con tan solo un 2.5 % de error de la velocidad del viento como promedio anual, para el resto de las estaciones el desempeño fue razonablemente bueno, pero inferior al de la Estación Santa Margarita, con valores de error del 21.1, 23.6 y 25.6 % para Catemu, Romeral y Lo Campo, respectivamente. La dirección del viento modelada se ajusta a la tendencia de los datos observados, de manera principal en horas del día. La componente principal para Catemu y Santa Margarita es desde la dirección sur – sureste, mientras que para Lo Campo y Romeral es el oeste. Con respecto a la modelación de la dispersión de contaminantes, se obtuvieron valores de error entre el promedio anual observado y modelado para el SO₂ cercanos al 10 %. El comportamiento del desempeño de la modelación del PM₁₀ no se pudo comparar con los datos observados, pues hay varias otras fuentes en la zona que generan PM₁₀. Si se asume que la modelación de la dispersión de PM₁₀ fue adecuada, para la estación de Catemu se puede concluir que la Fundición de Chagres solo aportó con el 16.7% de la concentración anual del PM₁₀ para el año 2018, mientras que para Lo Campo el aporte fue de tan solo de 0.68%. Estos valores se deben corroborar con los resultados del estudio de modelo de receptor. Al comparar los escenarios de reducción de emisiones fugitivas de SO₂ y que se llevaron a la Chimenea de 100 m, se concluye que el mejor escenario fue el escenario 2, es decir, que si el 20% de las emisiones fugitivas se capturan y llevan a la chimenea de 100 m, se logra una reducción del 23.6% como concentración promedio anual del SO₂ en Estación Margarita para el año 2018, donde los meses que hubo mayores reducciones correspondieron a los meses de enero (-24 %), mayo (-38 %) y diciembre (-34 %). Para los escenarios 3 y 4, las reducciones de las concentraciones promedio en la Estación Santa Margarita fueron de 17.4 y 10.9%, respectivamente. Sobre el análisis del PM₁₀ se puede concluir que el aporte que representa el proceso de fundición es del 16.7 % del promedio anual de las concentraciones medidas en Catemu. El promedio de los valores obtenidos por la simulación es de 13.48 µg/m³, mientras que el promedio de datos observados alcanza los 80.82 µg/m³.

Si bien es cierto que capturar las emisiones fugitivas y llevarlas a una chimenea de 100 m ayuda a reducir el impacto en la zona de estudio, el porcentaje de captura debe ser acotado, pues de lo contrario, se podrían generar mayores problemas de impacto ambiental por el SO₂ en la Estación Margarita.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

1. INTRODUCCIÓN

En junio de 2019 fueron declaradas Zona Saturada por MP_{10} como concentración anual y latente por MP_{10} como concentración diaria a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la provincia de San Felipe; además de Quillota, La Calera, La Cruz, Hijuelas y Nogales en la provincia de Quillota.

Según la Autoridad Ambiental, los factores responsables de estos índices son las quemas agrícolas, la combustión de la leña domiciliaria y las emisiones del parque automotriz. Se espera que la declaratoria sea publicada en el Diario Oficial y luego habrá un plazo de 12 meses para elaborar un plan de descontaminación, que será presentado a la comunidad para su aprobación y posterior aplicación.

Si bien la autoridad no menciona a las fuentes industriales, pero con el fin de adelantarse a la elaboración del anteproyecto del futuro Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), es que Fundación Chagres de Anglo American está elaborando un estudio y modelación de la calidad del aire que permita anticiparse y reducir potenciales episodios de contaminación atmosférica. En efecto, para el desarrollo de esta robusta herramienta, primeramente, se debe elaborar y estimar un completo inventario de emisiones de las fuentes antropogénicas, incluyendo los principales contaminantes de cada una de estas fuentes, así como de sus perfiles temporales del año base.

Un inventario de emisiones es una lista comprensiva de fuentes de contaminación atmosférica y un estimado de sus emisiones en un área geográfica específica para un intervalo específico de tiempo. En este caso, Fundación Chagres se encuentra ubicada en la V Región, Provincia de Catemu. La Figura 1 indica la geografía de la zona estudiada. En esta figura y a simple vista, es posible identificar la zona de recepción del concentrado de cobre, zona de almacenaje y secado del concentrado, hornos de fundición, planta de ácido sulfúrico, caminos y los escoriales.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental



Figura 1. Zona de Estudio de Fundición Chagres



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio representativo de la calidad del aire en la zona geográfica que comprende Fundación Chagres mediante la modelación de la meteorología y dispersión de contaminantes atmosféricos, y el desarrollo y actualización del Inventario de Emisiones.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Modelar y evaluar la meteorología con el modelo WRF para el año base 2018 en dominio anidado de modelación de Chagres.
2. Actualizar y evaluar las emisiones generadas en la operación de Chagres.
3. Modelar y evaluar la dispersión de material particulado PM_{10} y SO_2 , mediante software Calpuff para la operación Chagres durante el año 2018.
4. Determinar el aporte de las emisiones en tres escenarios:
 - a. Real: Considerando Inventario de emisiones del año 2018.
 - b. Ideal: Considerando una reducción de emisiones fugitivas de SO_2 de la nave de procesos equivalente a un 80, 60 y 40 %, capturarlas y llevarlas a Chimenea de 100 m.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

3. METODOLOGÍA

3.1. DATA DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA

De acuerdo con la aplicabilidad de la normativa, se procesaron los datos completos para las variables meteorológicas de cuatro estaciones de monitoreo ambiental presentes en la zona de estudio: Romeral, Santa Margarita, Catemu y Lo Campo. Con estas bases se determinó la estadística descriptiva para las variables de velocidad del viento (WS) y Dirección del Viento (WD), utilizando el paquete estadístico especializado en calidad del aire: OpenAir-Project 3.3. Esta información permitió tener una línea base para el período desde enero a diciembre del año base 2018. El resumen de este análisis se envió en el Informe 1 generado por este equipo consultor.

3.2. SISTEMA DE MODELACIÓN WRF

WRF es uno de los modelos más avanzados y completos para modelar variables meteorológicas en diferentes tipos de terrenos y condiciones climáticas. Este software es mantenido por NCAR/NOAA de los Estados Unidos. El modelo WRF exige un número menor de modificaciones en los archivos que deben ser preparados para su ejecución. Las principales aplicaciones de WRF son:

- Investigación de parametrización.
- Investigación en asimilación de datos.
- Investigación en pronóstico.
- Predicción numérica en tiempo real.
- Aplicaciones para modelos acoplados (por ejemplo: CMAQ, CALPUFF)

En términos generales, el modelo WRF consta de cuatro módulos principales, WPS, WRF-Var, WRF-ARW y ARW-Post, tal como se aprecia en la figura 2. La resolución horizontal de WRF en el dominio final se estableció de celdas de 1 km, la cual es considerada como una resolución adecuada para proyectos que requieren modelación más avanzada de calidad del aire. La configuración del modelo fue la que establece por defecto el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental.

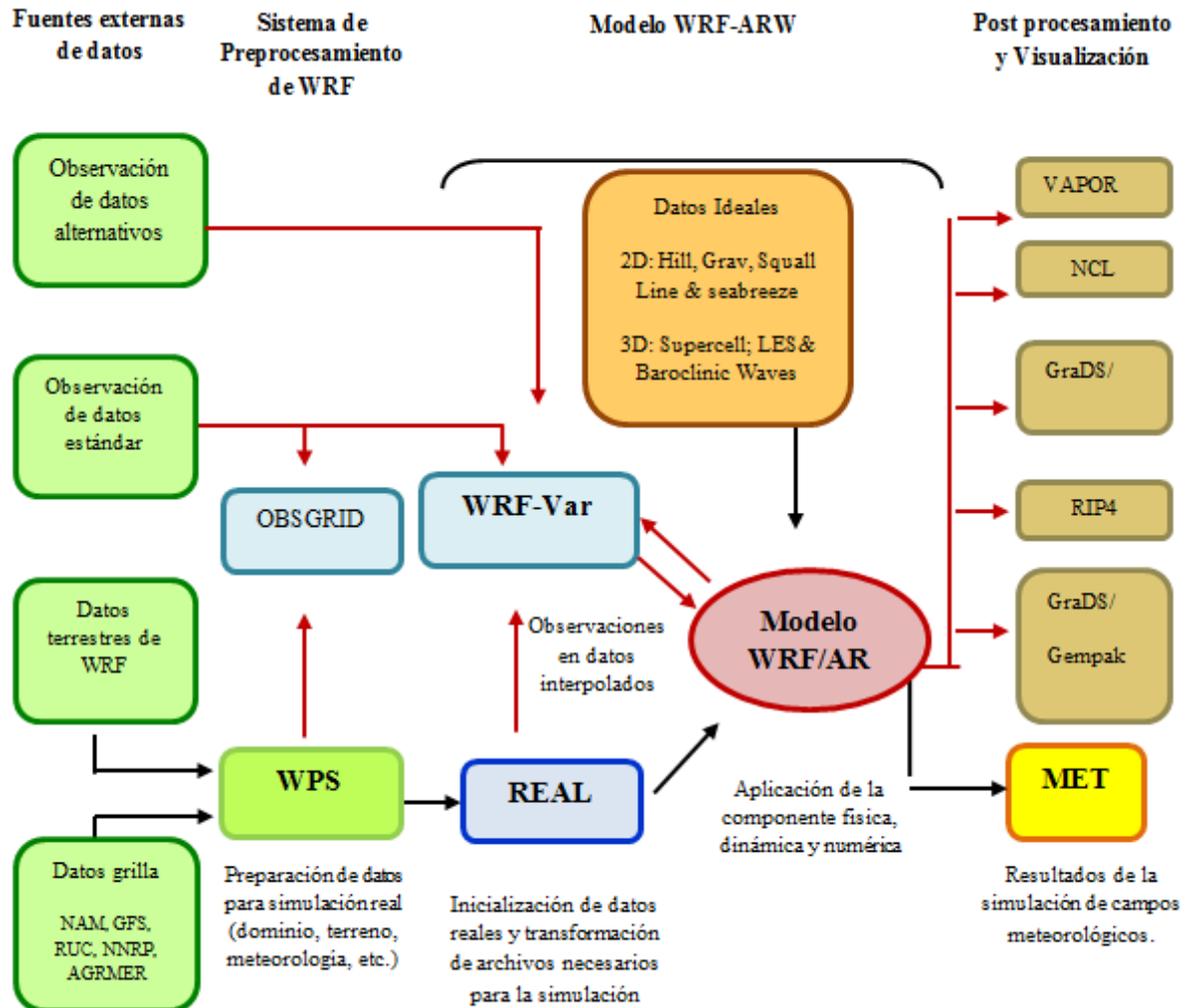


Figura 2. Diagrama del funcionamiento del modelo WRF v3.9 y sus módulos

3.3. DOMINIO DE MODELACIÓN

- *Características del dominio de modelación y su entorno*

Dominio de modelación

El dominio de modelación considera el área de la Fundición Chagres, ubicada en la Provincia de Catemu, Región de Valparaíso. Para la evaluación de los campos de viento el tamaño de celda del dominio es de 1 km. Este dominio fue procesado en WPS, utilizando el WRFDomainWizard para el año 2018, como año base.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Grilla:

- Resolución Grilla:
 - Dominio 1: 9 km, Ancho: 85 x 85
 - Dominio 2: 3 km, Ancho: 73 x 73
 - Dominio 3: 1 km, Ancho: 61 x 61



Figura 3. Malla de dominio anidado 'd03'. Celdas de 1 km.

En Tabla 1 se presentan las coordenadas vértices del dominio de modelación del proyecto.

Dominio de modelación zona de estudio:

- Proyección: LCC, Lambert Conic Conformal
- Datum: NWS-84, NWW 6370 KM Radius, Global Sphere

Tabla 1. Información del dominio 'd01'

Map project	LCC
Ref_lat	-32.804
Ref_lon	-70.956
TrueLat1	-30
TrueLat2	-60
DX [m]	1000
DY [m]	1000



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

- *Topografía y uso del suelo*

En la Figura 4 se observa la altura de terreno en la zona de modelación. Se indican alturas desde los 200 msnm hasta los 2200 msnm. El área correspondiente a Chagres está encajonada entre varios cerros que limitan la ventilación de la zona.

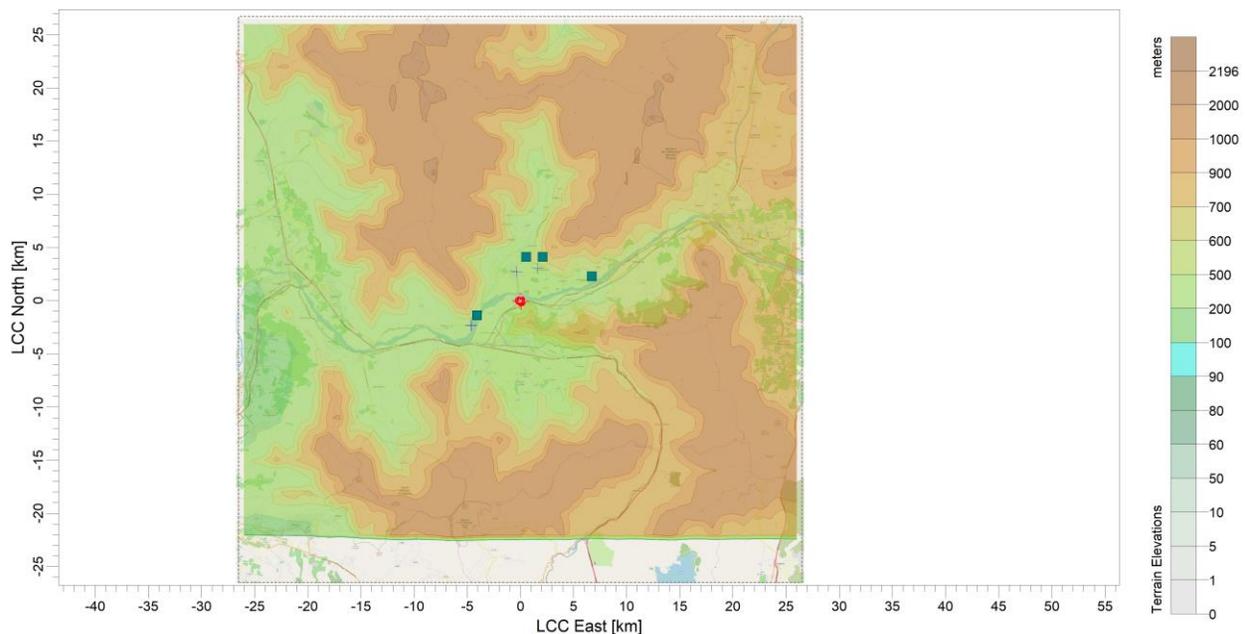


Figura 4. Topografía del Dominio de Modelación en 2D.

Refinación de la malla y mejora en el desempeño del modelo meteorológico

Con la finalidad de mejorar la capacidad de la predicción del modelo de calidad del aire, la malla de 1 km que se utilizó en WRF se refinó a celdas de 200 m, y se ejecutó el modelo CALMET en Calpuff con 3 estaciones de superficie, según se indica en la Figura 5. Esta mejora en el desempeño permite una mayor fiabilidad en el modelo para analizar la dispersión de contaminantes.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

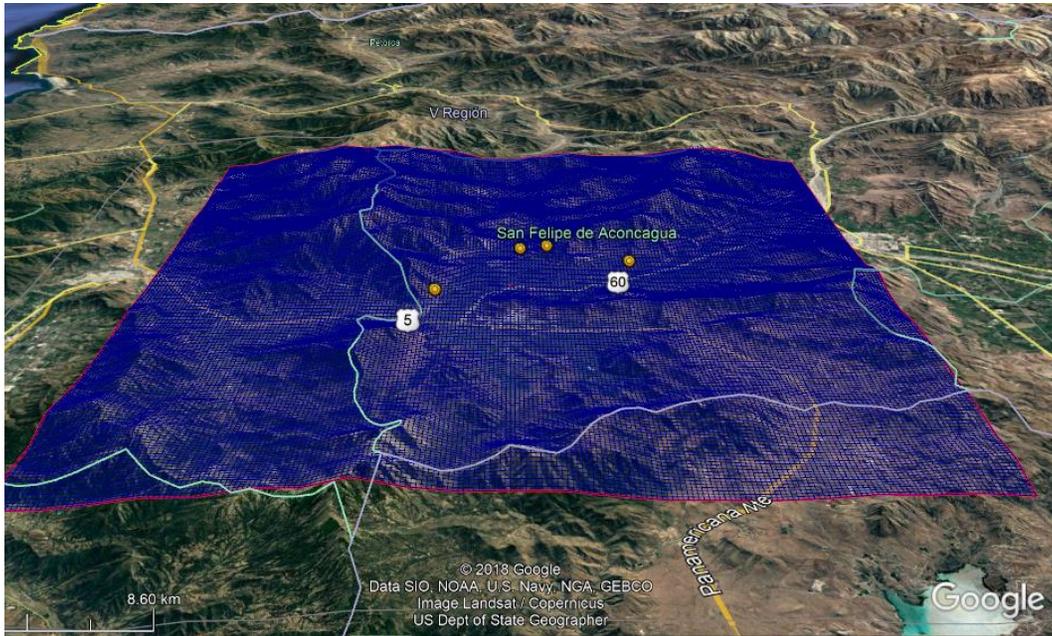


Figura 5. Dominio de modelación en Calpuff con data superficial y tamaño de celda de 200 m

3.4. UBICACIÓN DE FUENTES Y PERFIL DE EMISIONES DE CONTAMINANTES

Las fuentes fueron ubicadas geográficamente y caracterizadas con la información disponible (Informe 2). El resumen completo del Inventario de emisiones se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen del Inventario de emisiones

Tipo Emisión	Fuente	MP ₁₀ (ton/año)	SO ₂ (ton/año)	CO (ton/año)	NO _x (ton/año)	
Emisiones Fuentes Fijas	Secador Kumera	1,12	0,09	0,04	0,00	
	Planta de limpieza de gases HLE y refino	HLE	1,95	87,83	9,99	3,03
		Refino	1,02	12,65	0,75	0,89
	Planta de ácido (CPS)	1,92	389,53	0,00	0,00	
	Horno Fusión Flash Chimenea Fría	6,91	56,49	0,00	0,69	
	Grupos electrógenos	0,01	0,00	0,08	0,36	
Emisiones Fuentes Fugitivas		575,79	9.908,59			
Emisiones areales	Descarga en escoria	0,0005				
	Emisiones área Sur	3,63				
TOTAL [ton/año]		592,34	10.455,18	10,86	4,97	



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Todas las fuentes puntuales se ingresaron con un perfil mensual en el software Calpuff. Las Tablas 3 a 8 indica el perfil mensual por contaminantes para los Grupos electrógenos. Por otra parte, las tablas 9 a 16 muestran el perfil de misiones para el Secador Kumera, HLE, HR, Planta de ácido y Sangrado eje y escoria.

Tabla 3. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 1 (g/s)

Fecha	GE1			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	8.87.E-05	3.86.E-06	2.97.E-03	6.79.E-04
mar-18	1.54.E-04	7.72.E-06	5.35.E-03	1.22.E-03
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	6.99.E-03	1.60.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	3.86.E-04	2.31.E-05	1.32.E-02	3.03.E-03
ago-18	3.05.E-04	1.93.E-05	1.05.E-02	2.40.E-03
sept-18	1.43.E-04	7.72.E-06	4.84.E-03	1.11.E-03
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	6.94.E-05	3.86.E-06	2.42.E-03	5.56.E-04
dic-18	6.17.E-05	3.86.E-06	2.09.E-03	4.78.E-04

Tabla 4. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 2 (g/s)

Fecha	GE2			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	8.87.E-05	3.86.E-06	2.97.E-03	6.79.E-04
mar-18	1.54.E-04	7.72.E-06	5.35.E-03	1.22.E-03
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	6.99.E-03	1.60.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	3.86.E-04	2.31.E-05	1.32.E-02	3.03.E-03
ago-18	3.05.E-04	1.93.E-05	1.05.E-02	2.40.E-03
sept-18	1.43.E-04	7.72.E-06	4.84.E-03	1.11.E-03
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	6.94.E-05	3.86.E-06	2.42.E-03	5.56.E-04
dic-18	6.17.E-05	3.86.E-06	2.09.E-03	4.78.E-04



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Tabla 5. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 3 (g/s)

Fecha	GE3			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 6. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 4 (g/s)

Fecha	GE4			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 7. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 5 (g/s)

Fecha	GE5			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Tabla 8. Perfil de emisiones para Grupo Electrógeno 6 (g/s)

Fecha	GE6			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 9. Perfil de emisiones para Secador Kumera (g/s)

Secador Kumera				
	MP	SO2	CO	NOx
ene-18	2.26.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	3.77.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	2.40.E-02	0.00.E+00	9.60.E-03	0.00.E+00
abr-18	2.95.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	4.40.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	3.97.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	5.32.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	5.98.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	2.49.E-02	3.56.E-02	5.19.E-03	0.00.E+00
oct-18	1.92.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	3.99.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	3.23.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 10. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Reducción) (g/s)

Horno Limpieza Escoria Reducción				
	MP	SO2	CO	NOx
ene-18	4.24.E-02	6.42.E+00	2.72.E-01	5.43.E-02
feb-18	2.14.E-02	6.56.E-01	1.15.E-01	3.08.E-02
mar-18	1.14.E-02	4.52.E-01	9.26.E-02	2.58.E-02
abr-18	1.05.E-02	6.37.E-01	1.30.E-01	3.54.E-02
may-18	2.46.E-02	7.51.E-01	1.20.E-01	7.62.E-02
jun-18	5.24.E-02	4.82.E-01	7.72.E-02	2.01.E-02
jul-18	1.70.E-02	8.02.E-01	1.23.E-01	6.44.E-02
ago-18	1.53.E-02	7.28.E-01	1.18.E-01	6.14.E-02



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

sept-18	1.42.E-02	1.08.E+00	1.71.E-01	2.76.E-02
oct-18	4.08.E-03	4.98.E-01	7.61.E-02	4.38.E-03
nov-18	4.51.E-02	8.74.E-01	1.30.E-01	6.65.E-02
dic-18	4.41.E-02	8.75.E-01	1.60.E-01	9.88.E-03

Tabla 11. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Sedimentación) (g/s)

Horno Limpieza Escoria Sedimentación				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	5.35.E-02	8.11.E+00	3.44.E-01	6.86.E-02
feb-18	2.54.E-02	7.78.E-01	1.37.E-01	3.66.E-02
mar-18	1.73.E-02	6.83.E-01	1.40.E-01	3.90.E-02
abr-18	1.37.E-02	8.28.E-01	1.68.E-01	4.60.E-02
may-18	3.57.E-02	1.09.E+00	1.75.E-01	1.11.E-01
jun-18	9.38.E-02	8.62.E-01	1.38.E-01	3.60.E-02
jul-18	2.49.E-02	1.18.E+00	1.81.E-01	9.45.E-02
ago-18	2.29.E-02	1.09.E+00	1.76.E-01	9.17.E-02
sept-18	2.01.E-02	1.52.E+00	2.41.E-01	3.89.E-02
oct-18	6.02.E-03	7.35.E-01	1.12.E-01	6.47.E-03
nov-18	6.42.E-02	1.24.E+00	1.85.E-01	9.46.E-02
dic-18	6.42.E-02	1.27.E+00	2.32.E-01	1.44.E-02

Tabla 12. Perfil de emisiones para Planta de ácido (g/s)

Planta de ácido				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	6.23.E-02	1.03.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	6.35.E-02	9.45.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	3.10.E-02	1.01.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	6.77.E-02	1.09.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	6.31.E-02	1.17.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	2.93.E-02	1.16.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	6.51.E-02	1.40.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	6.45.E-02	9.86.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	6.21.E-02	2.02.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	3.31.E-02	1.05.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	1.33.E-01	1.33.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	6.13.E-02	1.65.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Tabla 13. Perfil de emisiones para Horno de refino 1 (g/s)

Horno de refino 1				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	1.00.E-02	7.98.E-02	6.81.E-02	4.90.E-02
feb-18	1.16.E-02	9.10.E-02	5.38.E-02	1.73.E-02
mar-18	1.35.E-02	5.00.E-02	3.28.E-02	2.51.E-02
abr-18	3.73.E-02	1.04.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.90.E-02	8.46.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	6.48.E-03	6.21.E-02	0.00.E+00	7.96.E-03
jul-18	7.13.E-03	5.54.E-02	0.00.E+00	2.10.E-02
ago-18	9.49.E-03	5.73.E-02	0.00.E+00	2.05.E-02
sept-18	1.24.E-02	1.12.E+00	0.00.E+00	2.10.E-03
oct-18	1.21.E-02	4.69.E-01	0.00.E+00	2.56.E-03
nov-18	2.17.E-02	7.72.E-02	0.00.E+00	2.37.E-02
dic-18	2.95.E-02	1.04.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 14. Perfil de emisiones para Horno de refino 2 (g/s)

Horno de refino 2				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	1.03.E-02	8.20.E-02	7.00.E-02	5.04.E-02
feb-18	1.12.E-02	8.78.E-02	5.19.E-02	1.67.E-02
mar-18	7.19.E-03	2.67.E-02	1.75.E-02	1.34.E-02
abr-18	2.55.E-02	7.14.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.21.E-02	6.46.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	1.57.E-02	1.51.E-01	0.00.E+00	1.93.E-02
jul-18	6.60.E-03	5.12.E-02	0.00.E+00	1.94.E-02
ago-18	9.73.E-03	5.88.E-02	0.00.E+00	2.11.E-02
sept-18	1.37.E-02	1.25.E+00	0.00.E+00	2.33.E-03
oct-18	1.16.E-02	4.47.E-01	0.00.E+00	2.44.E-03
nov-18	2.44.E-02	8.67.E-02	0.00.E+00	2.66.E-02
dic-18	2.99.E-02	1.05.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 15. Perfil de emisiones para Sangrado eje (g/s)

Sangrado eje				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	7.14.E-02	5.86.E-01	0.00.E+00	6.56.E-03
feb-18	7.48.E-02	6.14.E-01	0.00.E+00	6.88.E-03
mar-18	6.41.E-02	5.96.E-01	0.00.E+00	2.03.E-02
abr-18	6.49.E-02	5.33.E-01	0.00.E+00	5.97.E-03



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

may-18	5.46.E-02	4.49.E-01	0.00.E+00	5.03.E-03
jun-18	7.91.E-02	4.42.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	6.32.E-02	5.19.E-01	0.00.E+00	5.81.E-03
ago-18	6.55.E-02	5.38.E-01	0.00.E+00	6.03.E-03
sept-18	6.02.E-02	4.94.E-01	0.00.E+00	5.53.E-03
oct-18	3.11.E-02	2.56.E-01	0.00.E+00	2.86.E-03
nov-18	5.50.E-02	5.50.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	5.50.E-02	4.51.E-01	0.00.E+00	5.06.E-03

Tabla 16. Perfil de emisiones para Sangrado escoria (g/s)

Sangrado escoria				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	2.45.E-01	2.01.E+00	0.00.E+00	2.25.E-02
feb-18	2.39.E-01	1.96.E+00	0.00.E+00	2.20.E-02
mar-18	2.00.E-01	1.86.E+00	0.00.E+00	6.35.E-02
abr-18	2.13.E-01	1.75.E+00	0.00.E+00	1.96.E-02
may-18	1.89.E-01	1.55.E+00	0.00.E+00	1.73.E-02
jun-18	1.88.E-01	1.05.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	7.38.E-02	6.06.E-01	0.00.E+00	6.79.E-03
ago-18	1.19.E-01	9.76.E-01	0.00.E+00	1.09.E-02
sept-18	1.21.E-01	9.94.E-01	0.00.E+00	1.11.E-02
oct-18	7.54.E-02	6.19.E-01	0.00.E+00	6.93.E-03
nov-18	1.11.E-01	1.10.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	1.39.E-01	1.14.E+00	0.00.E+00	1.28.E-02

Para la nave de fundición, debido al nivel de emisiones y su importancia dentro del análisis, se calcularon las frecuencias de viento en la estación Santa Margarita, factor clave para definir la producción según lo indicado por la contraparte técnica. El total anual indicado en el Inventario de emisiones fue transformado en emisiones mensuales a través del nivel de producción reportado. Este perfil mensual se transformó en emisiones horarias utilizando las frecuencias de la velocidad del viento en la estación Santa Margarita, y por último se corrigieron los valores del escenario base para reducir el impacto de puntos extremos que aparecen durante la simulación utilizando el percentil 98 de los valores (D.S. 104/2018). La frecuencia horaria final se indica en la Tabla 17. El perfil temporal para las emisiones de PM₁₀ se consideró iguales que el SO₂.



Tabla 17. Porcentajes de frecuencia horaria de velocidad del viento en Santa Margarita

HORA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agos	sept	oct	nov	dic
0	1.66%	1.50%	2.06%	1.28%	1.95%	1.69%	2.39%	1.74%	1.46%	1.25%	0.92%	0.92%
1	1.49%	1.44%	1.88%	1.32%	2.22%	2.10%	2.46%	1.73%	1.72%	1.00%	0.62%	1.07%
2	1.92%	1.83%	1.74%	1.48%	1.62%	2.29%	2.32%	1.89%	1.44%	1.15%	0.65%	0.92%
3	1.71%	2.32%	1.59%	1.50%	1.89%	2.59%	2.39%	2.20%	1.40%	1.01%	0.70%	0.66%
4	1.65%	2.34%	2.09%	1.15%	1.61%	2.53%	1.75%	1.86%	1.89%	0.92%	0.77%	0.74%
5	1.80%	2.59%	2.59%	1.51%	1.85%	2.34%	2.18%	1.85%	1.60%	1.12%	0.66%	0.66%
6	1.62%	1.58%	2.10%	1.31%	1.59%	2.53%	2.70%	1.83%	1.43%	0.93%	0.74%	0.71%
7	1.54%	2.49%	1.41%	1.33%	1.84%	1.99%	2.06%	2.02%	1.40%	1.30%	0.95%	1.21%
8	1.36%	2.70%	1.28%	1.67%	1.62%	2.28%	2.60%	1.87%	1.83%	1.60%	1.71%	2.03%
9	2.04%	1.56%	1.59%	2.69%	2.68%	2.73%	3.53%	2.97%	3.05%	2.77%	2.92%	2.91%
10	2.93%	2.32%	2.11%	4.30%	3.84%	4.13%	4.38%	4.40%	3.99%	4.76%	4.65%	4.32%
11	4.10%	3.50%	3.25%	6.01%	4.81%	5.56%	5.24%	6.08%	5.60%	6.45%	6.69%	6.67%
12	5.55%	4.74%	4.60%	7.61%	6.60%	6.75%	7.03%	7.75%	7.47%	8.87%	8.65%	8.67%
13	7.21%	6.48%	6.37%	10.43%	8.69%	8.49%	7.70%	9.67%	10.16%	10.79%	10.40%	10.23%
14	8.18%	8.28%	8.18%	12.13%	10.27%	9.28%	9.04%	10.39%	11.34%	11.05%	11.11%	10.75%
15	9.15%	9.46%	9.72%	12.29%	10.75%	8.79%	9.67%	10.08%	10.73%	11.08%	11.41%	10.80%
16	9.44%	9.97%	10.26%	10.62%	10.36%	8.08%	8.13%	8.76%	9.87%	10.23%	10.95%	10.68%
17	9.46%	9.65%	9.98%	6.44%	6.91%	5.71%	5.53%	5.45%	7.87%	8.34%	9.94%	9.83%
18	8.66%	8.87%	8.93%	3.82%	4.45%	3.95%	4.95%	3.92%	3.36%	5.89%	7.12%	7.12%
19	6.90%	6.02%	6.32%	3.05%	3.55%	3.39%	3.82%	3.53%	2.99%	2.79%	2.85%	3.66%
20	4.46%	4.06%	4.25%	2.23%	3.31%	4.01%	3.27%	2.70%	2.99%	2.18%	2.15%	2.24%
21	3.12%	2.91%	3.14%	2.15%	2.81%	3.45%	2.38%	2.84%	2.25%	1.57%	1.65%	1.30%
22	2.30%	1.90%	2.29%	1.73%	2.52%	2.64%	2.54%	2.27%	2.27%	1.60%	0.81%	1.14%
23	1.73%	1.50%	2.28%	1.94%	2.29%	2.71%	1.94%	2.15%	1.89%	1.38%	0.99%	0.78%

Las emisiones areales-fugitivas por metro cuadrado de SO₂ en g/m²s se indican en la Tabla 18. Estas unidades de las emisiones son requeridas en el software Calpuff para fuentes areales. Para determinar el área, se consideró un largo y ancho de la nave de función de 163 y 25 m, respectivamente.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Tabla 18. Emisiones areales-fugitivas de SO₂ horarias en perfil mensual (g/m²s)

HORA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agos	sept	oct	nov	dic
0	0.0258	0.0232	0.0319	0.0198	0.0301	0.0262	0.0371	0.027	0.0227	0.0193	0.0142	0.0143
1	0.0232	0.0223	0.0292	0.0205	0.0344	0.0325	0.0382	0.0268	0.0266	0.0155	0.0096	0.0166
2	0.0297	0.0283	0.027	0.023	0.0251	0.0355	0.036	0.0293	0.0223	0.0178	0.0101	0.0143
3	0.0265	0.036	0.0247	0.0233	0.0293	0.0401	0.037	0.0341	0.0217	0.0156	0.0109	0.0102
4	0.0256	0.0362	0.0324	0.0179	0.0249	0.0393	0.0271	0.0289	0.0293	0.0143	0.0119	0.0114
5	0.0279	0.0401	0.0401	0.0235	0.0286	0.0363	0.0337	0.0287	0.0248	0.0173	0.0102	0.0101
6	0.025	0.0244	0.0325	0.0203	0.0246	0.0393	0.0417	0.0284	0.0222	0.0144	0.0114	0.0109
7	0.0238	0.0386	0.0218	0.0206	0.0285	0.0308	0.0318	0.0313	0.0216	0.0201	0.0148	0.0187
8	0.0211	0.0419	0.0198	0.0259	0.0251	0.0353	0.0403	0.029	0.0283	0.0247	0.0265	0.0314
9	0.0315	0.0242	0.0246	0.0417	0.0416	0.0422	0.0547	0.0461	0.0472	0.0429	0.0453	0.0451
10	0.0453	0.0359	0.0326	0.0666	0.0594	0.064	0.0679	0.0681	0.0618	0.0737	0.072	0.0669
11	0.0635	0.0543	0.0503	0.0931	0.0745	0.0861	0.0811	0.0942	0.0867	0.0999	0.1037	0.1033
12	0.0859	0.0734	0.0712	0.118	0.1022	0.1045	0.1089	0.1201	0.1158	0.1374	0.134	0.1343
13	0.1117	0.1003	0.0987	0.1615	0.1346	0.1315	0.1192	0.1499	0.1574	0.1671	0.1612	0.1585
14	0.1267	0.1283	0.1267	0.1879	0.159	0.1438	0.14	0.161	0.1756	0.1712	0.172	0.1665
15	0.1418	0.1465	0.1505	0.1904	0.1665	0.1362	0.1498	0.1562	0.1661	0.1716	0.1767	0.1673
16	0.1462	0.1545	0.1589	0.1646	0.1604	0.1252	0.126	0.1357	0.1529	0.1585	0.1696	0.1655
17	0.1466	0.1496	0.1546	0.0998	0.1071	0.0884	0.0856	0.0844	0.1219	0.1291	0.1539	0.1523
18	0.1341	0.1374	0.1383	0.0592	0.069	0.0612	0.0767	0.0607	0.052	0.0912	0.1102	0.1103
19	0.1069	0.0932	0.0979	0.0472	0.0549	0.0526	0.0591	0.0548	0.0463	0.0433	0.0442	0.0567
20	0.0691	0.063	0.0658	0.0345	0.0513	0.0621	0.0507	0.0419	0.0463	0.0337	0.0333	0.0346
21	0.0484	0.045	0.0486	0.0334	0.0435	0.0534	0.0369	0.0441	0.0349	0.0243	0.0255	0.0202
22	0.0356	0.0295	0.0355	0.0268	0.039	0.0408	0.0394	0.0352	0.0352	0.0247	0.0125	0.0176
23	0.0268	0.0233	0.0354	0.03	0.0354	0.042	0.0301	0.0333	0.0293	0.0214	0.0153	0.0121

La ubicación de las fuentes puntuales y areales-fugitivas consideradas en la modelación se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Ubicación de fuentes puntuales (círculos) y aerales-fugitivas (rectángulo) en Chagres

3.5.SISTEMA DE MODELACIÓN CALPUFF

Los modelos de calidad del aire tratan los procesos atmosféricos relacionados a la dispersión de contaminantes y su transformación química. Con este fin, estos modelos aplican las leyes físicas y químicas relevantes mediante ecuaciones matemáticas de tipo diferencial Navier Stoke. Otra característica de estos modelos es que discretizan el espacio en forma de una grilla tridimensional definida por puntos, con un determinado espaciamiento horizontal y vertical, el que se denomina resolución espacial de la grilla, dentro de un sistema de coordenada fijo. Los modelos de calidad del aire integran las ecuaciones matemáticas en el tiempo en cada uno de los puntos de la grilla, generándose la información de la evolución temporal de las concentraciones en las tres dimensiones de la grilla. Existen distintos grados de complejidad en estos modelos en términos de la representación de procesos, desde modelos que consideran sólo la dispersión, hasta modelos que incluyen todos los procesos fotoquímicos y de aerosoles, incluso los modelos que incluyen sólo algunos procesos fotoquímicos y de aerosoles. Algunos ejemplos de estos modelos son el CAMx, CMAQ y CALPUFF.

El modelo CALPUFF es el más utilizado para proyectar los impactos en la calidad del aire para los contaminantes primarios y, en parte o parcialmente, los secundarios. Este paquete computacional



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

realiza complejas ecuaciones matemáticas usando los inventarios de emisiones, perfiles temporales de los niveles de producción u operación, escenarios e información meteorológica para estimar los procesos de transporte, reacciones fotoquímicas y remoción de las emisiones desde su fuente hasta la locación de impacto, receptores. El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en Chile recomienda este sistema sólo para modelación de la dispersión y destino de contaminantes, descartando modelación fotoquímica y considerando terrenos complejos y cercanos a zonas costeras, donde la brisa marina genera una mayor complejidad en la modelación de las masas de aire y su efecto en la dispersión y fotoquímica atmosférica. En efecto, ante la posibilidad de existencia de brisas marinas, flujos cerca de líneas costeras, condiciones prevalentes de calmas, inversiones térmicas, recirculaciones y condiciones de fumigación, los modelos más usados para establecer el impacto por contaminantes en el medio ambiente de distintas fuentes son del tipo Lagrangianos y Eulerianos, al considerarse como un caso complejo. Especialmente, el CALPUFF que tiene un mayor y mejor estado del arte, cuya comunidad científica, tecnológica y profesional supera al resto de sus competidores. El sistema de modelación CALPUFF es un modelo recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) y por el SEA, para evaluar el impacto de emisiones atmosféricas bajo condiciones de topografía y meteorología complejas, así como el aporte que pueden representar las fuentes de emisiones a la concentración de los contaminantes a estudiar. La utilización de este sistema de modelación involucra el procesamiento de información meteorológica y topográfica utilizando los siguientes modelos y programas: WRF-ARW que modela y simula la meteorología en el dominio geográfico de modelación, la interface CALWRF que convierte los resultados de WRF-ARW a archivos y formatos compatibles con el CALPUFF, llamado CALMET.DAT. Posteriormente, el software CALMET procesa los datos originales del archivo CALMET.DAT de celdas de 1x1 kms a un nuevo archivo CALMET.DAT de 200x200 m de tamaño de grilla para asegurar una mejor resolución en la modelación meteorológica y de calidad del aire. A continuación, el software CALPUFF procesa los inventarios de emisiones y simula la dispersión y destino de los contaminantes atmosféricos. Y finalmente, el modelo CALPOST procesa las concentraciones de los contaminantes modelados y los convierte en gráficos de isoconcentraciones y bases de datos en concentraciones promedios de 1-hr, 24 hrs y anuales para el caso del material particulado PM10 y SO₂. A continuación se describe el detalle del principal software utilizado en este estudio.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

CALMET: Consiste en el modelo meteorológico que procesa la información disponible en observaciones de superficie, altura y/o datos de modelos meteorológicos tridimensionales (MM5, WRF por ejemplo). CALMET genera los campos tridimensionales de vientos y temperaturas, al igual que campos bidimensionales de estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla, utilizando la topografía, uso de suelo y meteorología local (Figura 7).

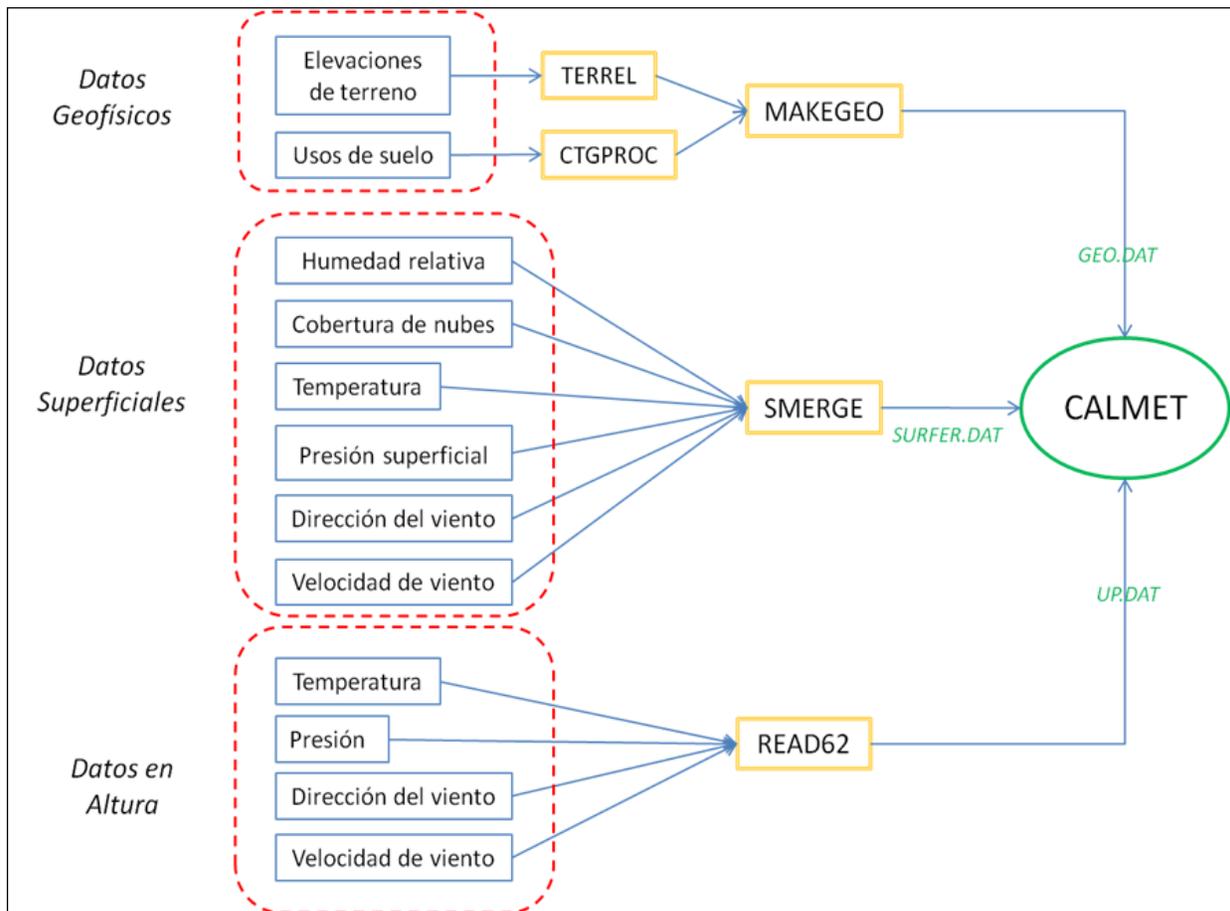


Figura 7. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información

CALPUFF: Consiste en un modelo no estacionario de dispersión de tipo puff, que permite simular el transporte advectivo y difusivo de una sustancia en la atmósfera, para predecir el impacto en la concentración ambiental de esta sustancia. Este modelo requiere de la información meteorológica generada por el modelo CALMET (Figura 8).



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

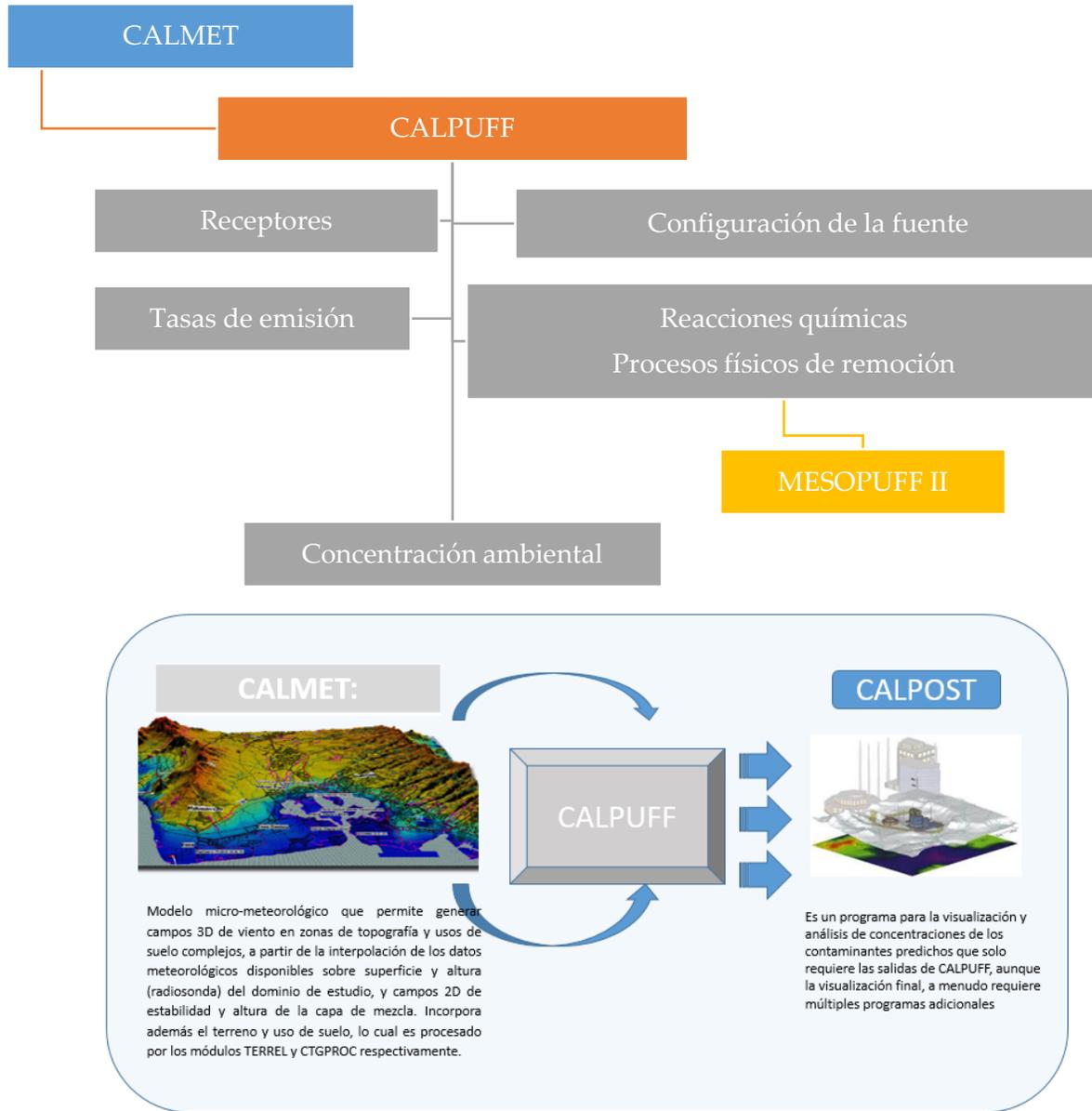


Figura 8. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF View 8.6

La ventaja de estos modelos, comparado con los más complejos, es que requieren una menor cantidad de información, y el análisis y explotación de resultados, resultan más simples y fáciles de interpretar. Con la metodología expuesta se realizó la ejecución del modelo de calidad de aire para la situación base a considerar, es decir, con el inventario de emisiones de Chagres del año 2018.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Dentro de los resultados a presentar en esta etapa se encuentra la representación de un mapa típico de impacto, el cual abarca el dominio de modelación y contiene la misma información señalada en plano de localización del proyecto a una escala adecuada, con contornos de isoconcentración para los contaminantes atmosféricos. Para generar estos mapas se simula la primera concentración máxima horaria anual durante el 98% del tiempo y se observa las posibles zonas de superación de algún valor de referencia que se establezca, en conformidad con los resultados del monitoreo.

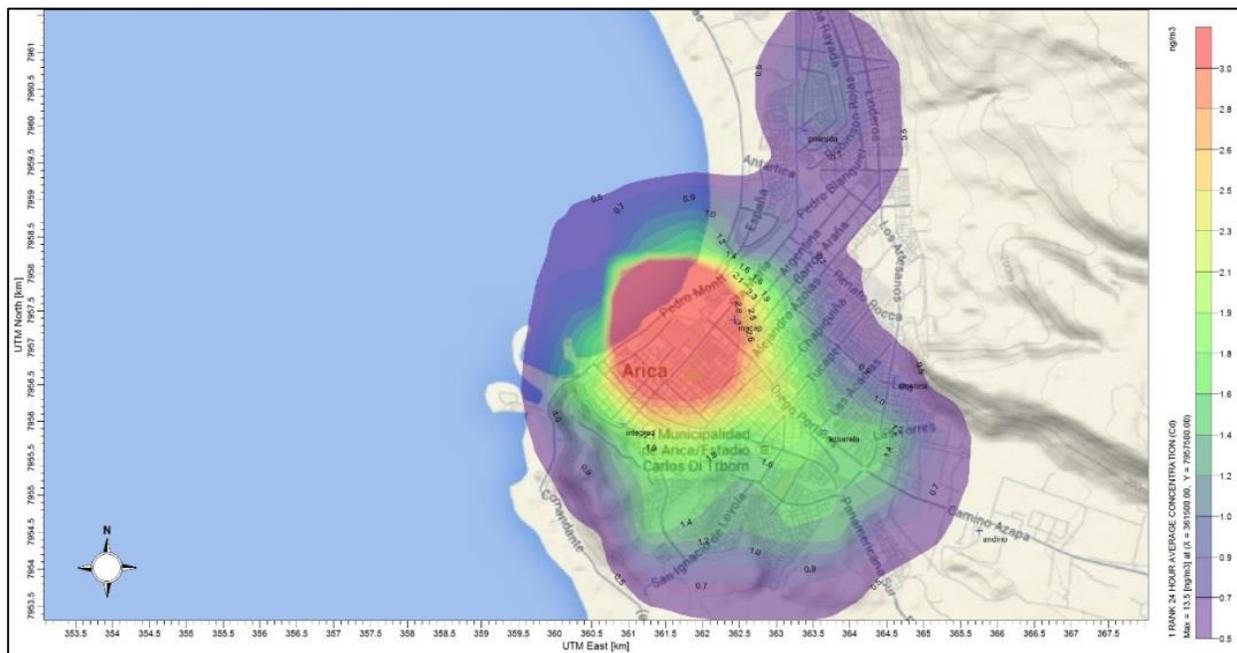


Figura 9. Ejemplo de representación de resultados Calpuff

Finalmente, a través de los paquetes estadísticos incluidos en OpenAir-Project se analiza el desempeño de CALPUFF respecto a las variables de calidad del aire medidas en las estaciones de monitoreo del dominio de modelación del año 2018.



4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS MODELACIÓN WRF

4.1.1. Datos meteorológicos observados

Para este análisis se consideran las estaciones de monitoreo Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo. Las variables observadas que se utilizaron para análisis fueron la velocidad y dirección del viento a 10 m. El análisis estadístico de las velocidades del viento modeladas y observadas mediante OpenAir-Project se indica al final de esta subsección. La Tabla 19 muestra la comparación entre los valores modelados y observados de la velocidad del viento como promedio anual.

Tabla 19. Velocidad del viento (m/s) modelada y observada como promedio anual, año 2018

Estación	Observada	Modelada	Error
Catemu	0.93	1.18	21.1 %
Romeral	4.18	3.19	23.6 %
Santa Margarita	1.20	1.23	2.5 %
Lo Campo	1.28	1.72	25.6 %

Ciclos diarios y estacionales:

Análisis de Velocidad del Viento.

En las Figuras 10 a 13, se comparan los perfiles temporales de la velocidad del viento de las estaciones Catemu, Romeral, Sta Margarita y Lo Campo, respectivamente. Se puede observar que el comportamiento predicho por el modelo se ajusta al observado, en el caso particular de Santa Margarita, la velocidad del viento modelada difiere solo 0.03 m/s del promedio de datos reportados para esa estación. En las otras dos estaciones el error fluctúa entre 5 y 20 %.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

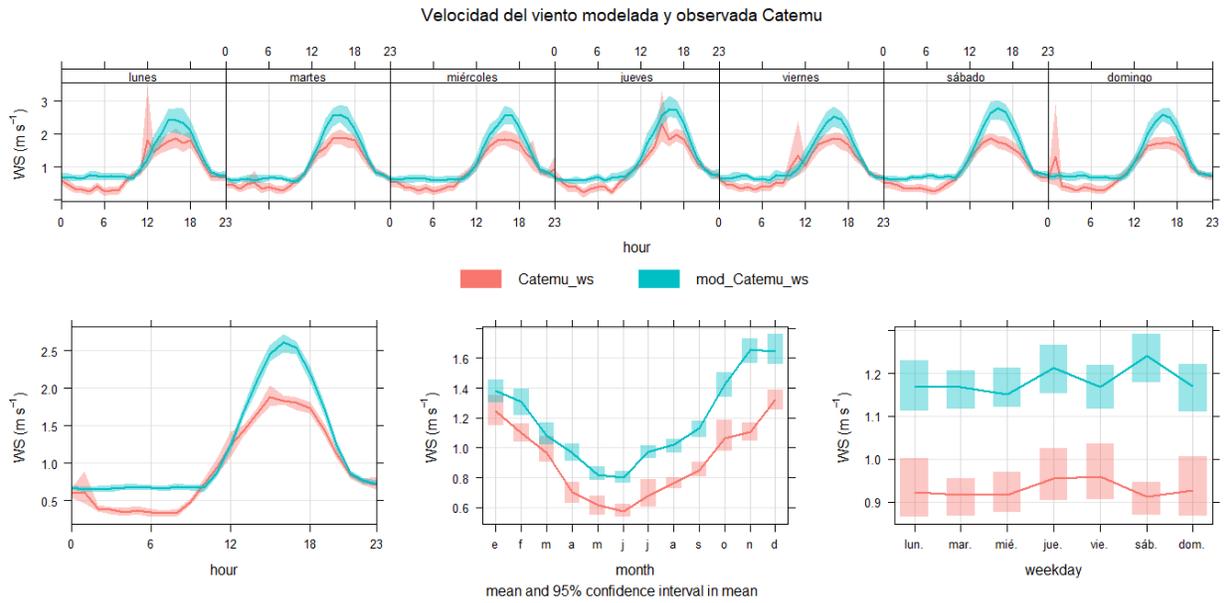


Figura 10. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Catemu, año 2018

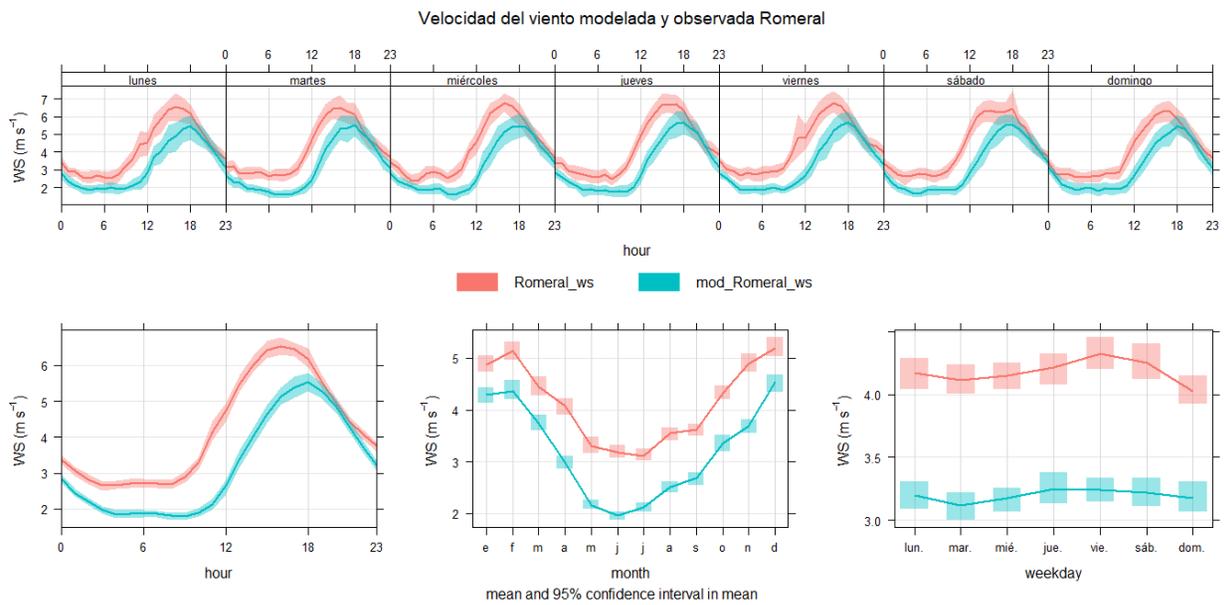


Figura 11. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Romeral, año 2018



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

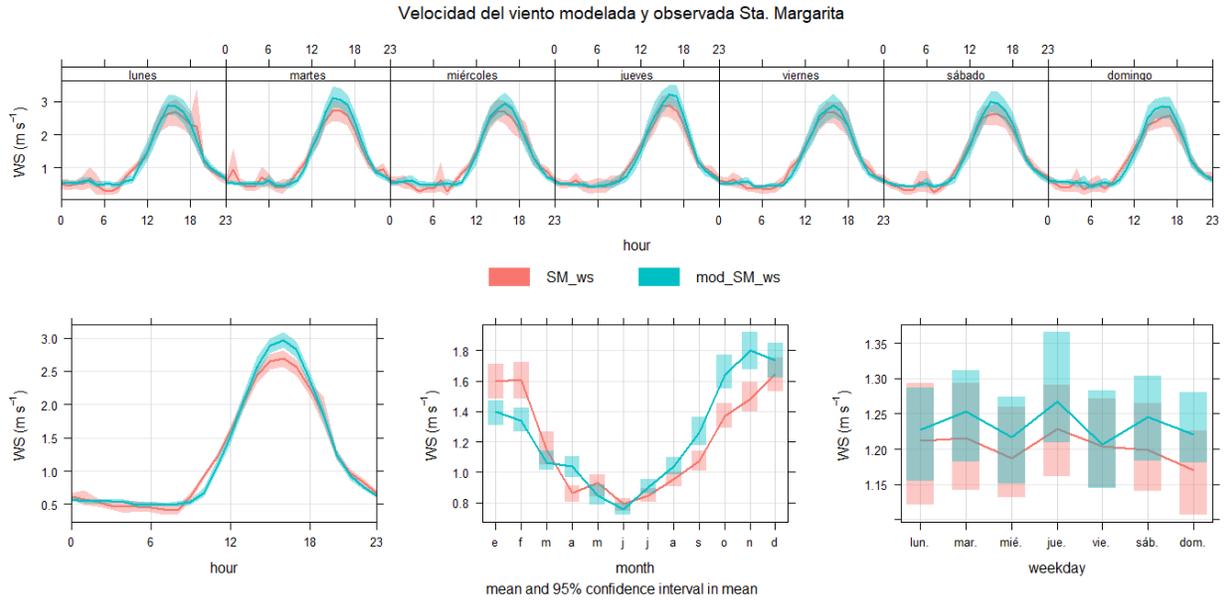


Figura 12. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Santa Margarita, año 2018

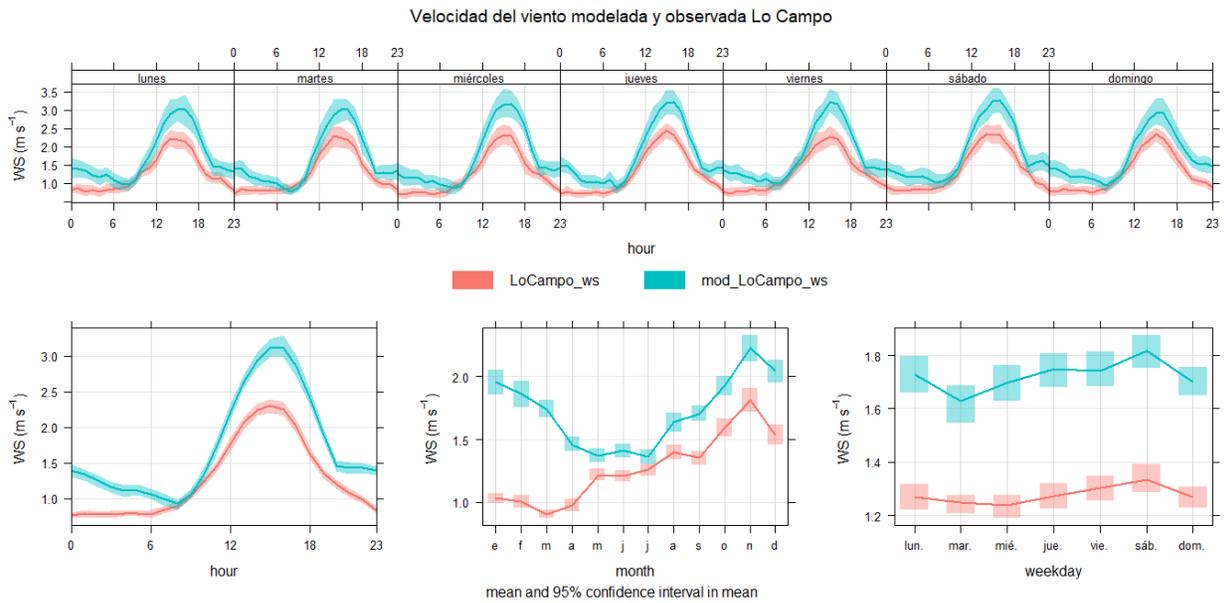


Figura 13. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Lo Campo, año 2018



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Análisis de la Dirección del Viento

En las Figuras 14 a 21 se presenta la dirección del viento observada y modelada en las estaciones Catemu, Romeral y Santa Margarita, respectivamente. Para la elaboración se empleó la opción "blowing to", es decir, que el vector sopla desde el origen hacia la estación. Se indica la rosa de los vientos para horas del día y de la noche. En el caso de Catemu la dirección del viento observada predominante coincide con la modelada, ya que la mayor fracción de la rosa de los vientos está desde el sur y el suroeste en horas del día, mientras que la noche presenta valores menores de velocidad y una dirección predominante desde el este. Por otra parte, Romeral tiene una dirección oeste principal en los datos observados y sur oeste en los datos modelados para el día y la noche. En el caso de Santa Margarita la dirección sureste y sur son las dos direcciones principales para datos observados y modelados. Finalmente, para Lo Campo la dirección predominante en el día fue del oeste y en la noche desde el este.

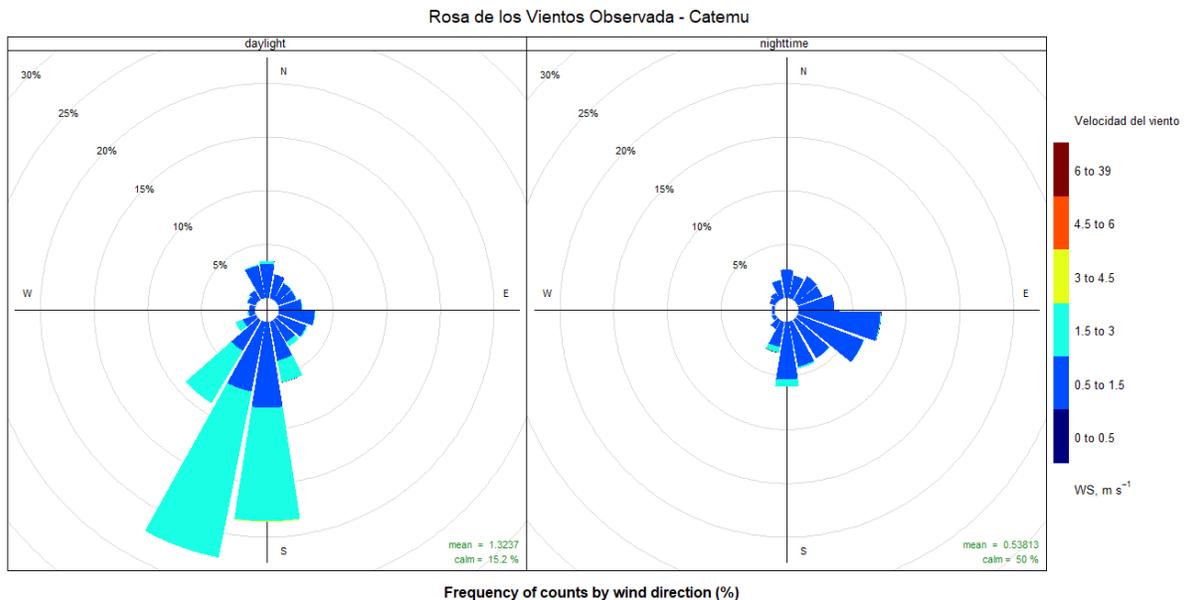


Figura 14. Rosa de los vientos observada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

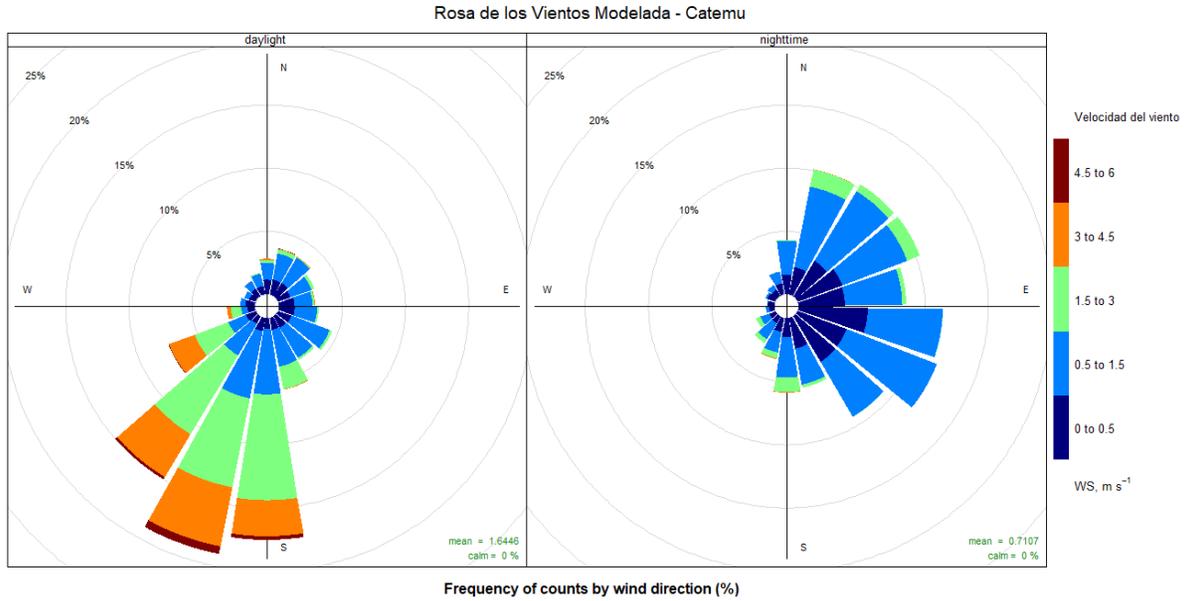


Figura 15. Rosa de los vientos modelada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche

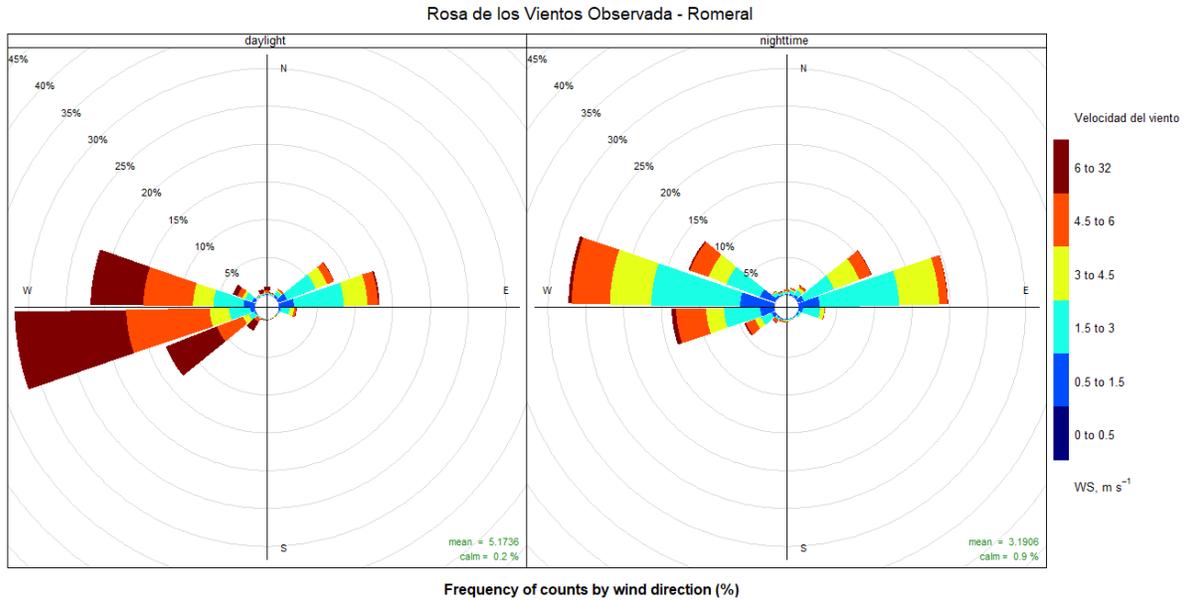


Figura 16. Rosa de los vientos observada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

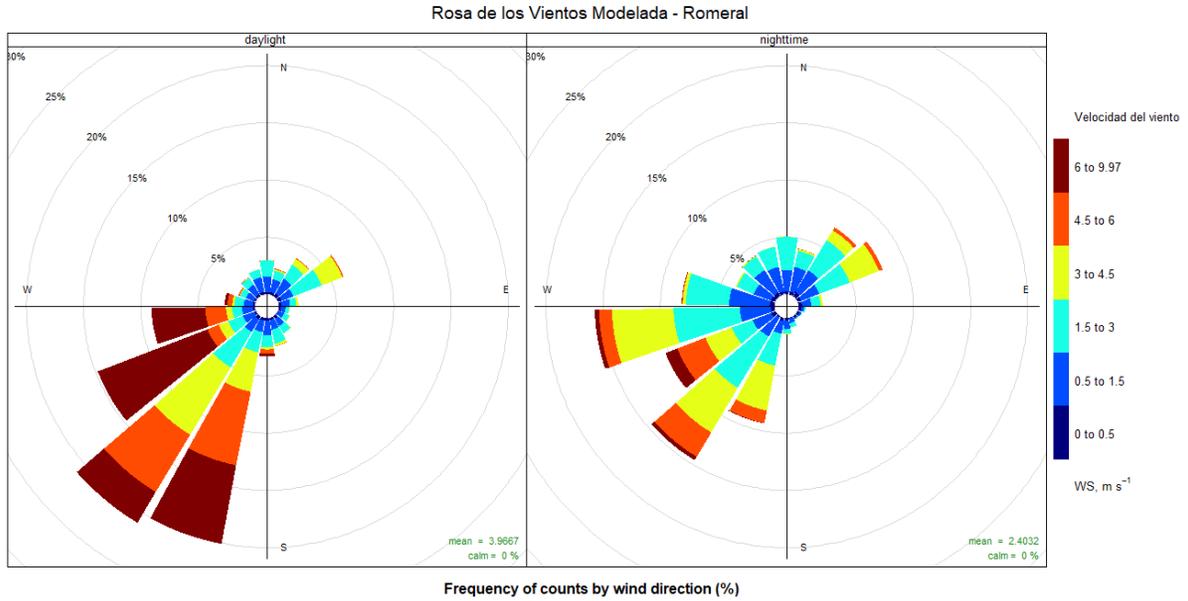


Figura 17. Rosa de los vientos modelada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche

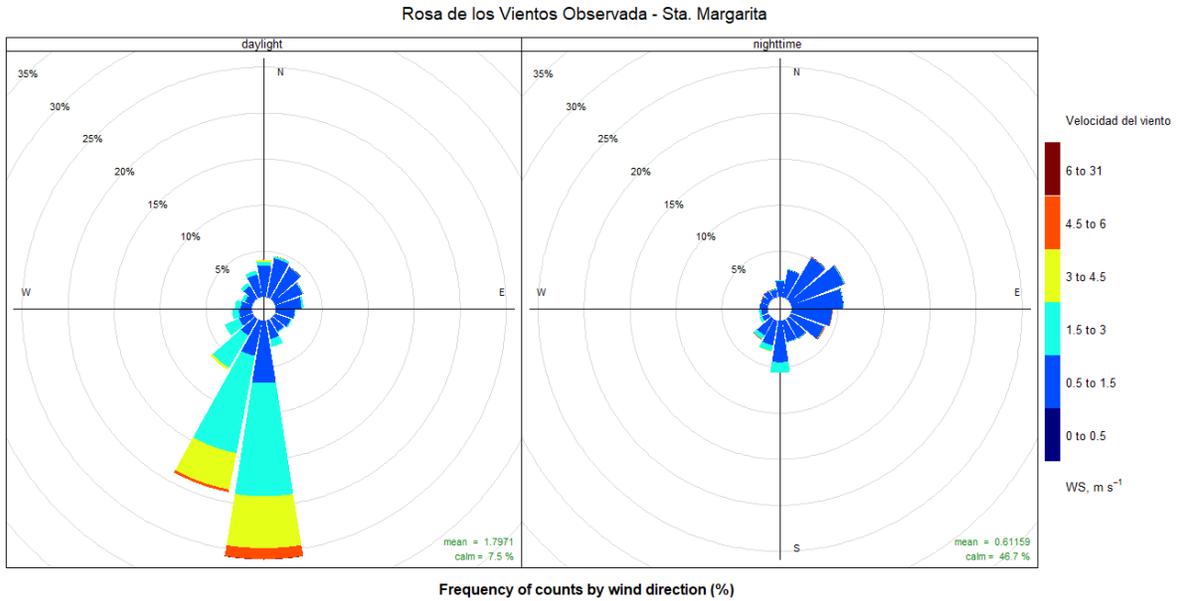


Figura 18. Rosa de los vientos observada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

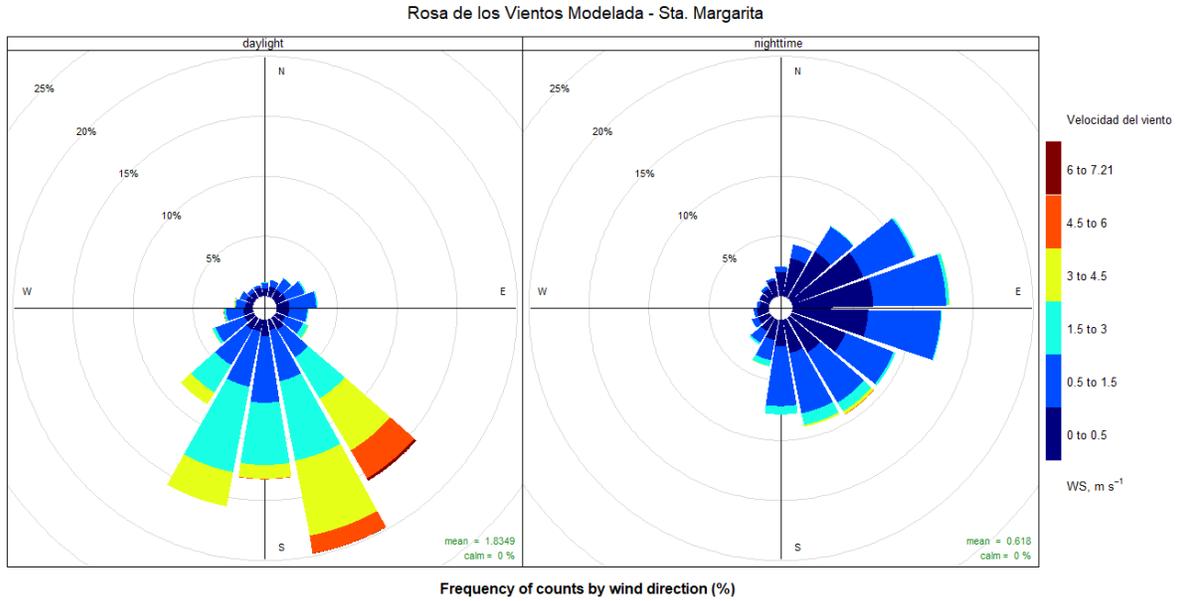


Figura 19. Rosa de los vientos modelada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche

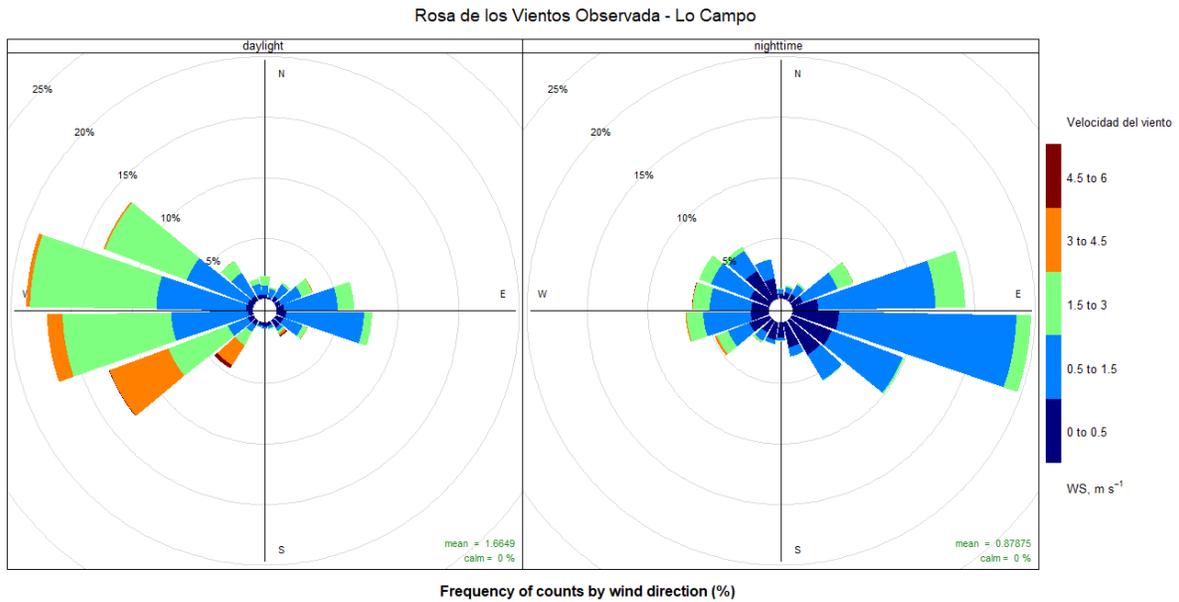


Figura 20. Rosa de los vientos observada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

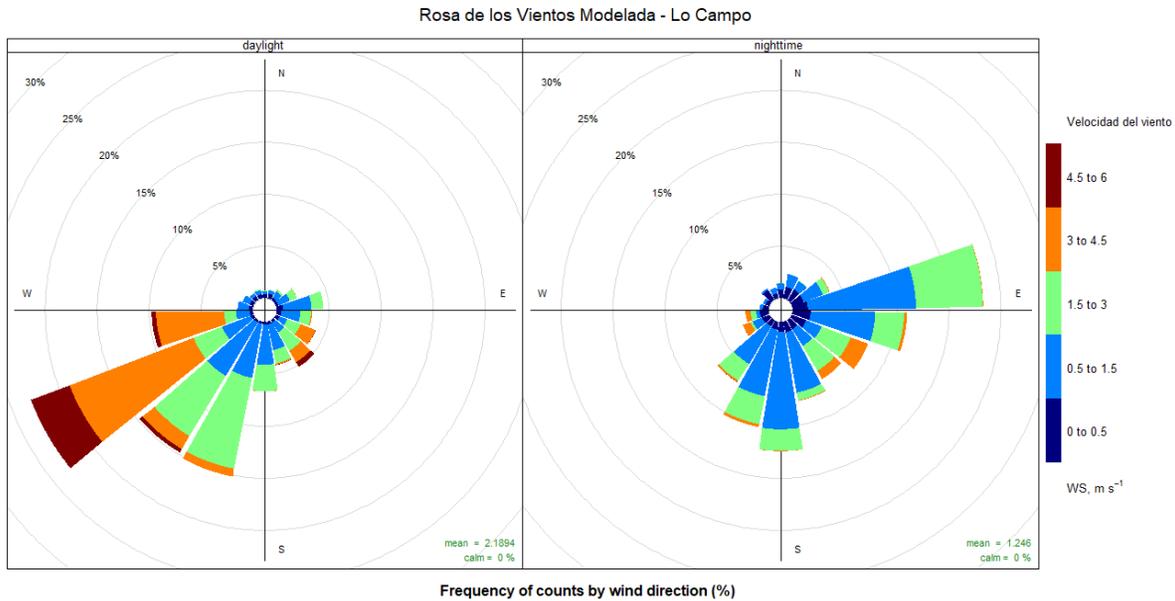


Figura 21. Rosa de los vientos modelada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche

4.2. MODELACIÓN CALPUFF

Las Figuras 22 a 25 muestran los ciclos temporales de la concentración de SO_2 modelada y observada del año 2018, para Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo, respectivamente. En todos los casos el error promedio anual es bajo, como se indica en la Tabla 20, siendo de 11.1 % para Catemu y Santa Margarita, 10.32 % para Romeral y 11.48 % para Lo Campo. Estos datos se explican con los valores de error indicados para el viento en anteriores secciones.

Tabla 20. Concentración promedio anual de SO_2 modelada y observada año 2018

Estación	Observada	Modelada	Error
Catemu	14.7	16.34	11.10 %
Romeral	11.62	12.82	10.32 %
Santa Margarita	61.98	69.72	11.11 %
Lo Campo	11.67	10.33	11.48 %

El ciclo temporal de la concentración de SO_2 para Catemu se indica en la Figura 22. Como se puede observar, la modelación se ajusta a la tendencia de valores, sobre todo en el peak horario, aprox. 10 AM con un valor de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los perfiles mensuales y diarios no muestran mayores



ARTICULO TECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

variaciones siendo la diferencia promedio entre los valores modelados y observados menor a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

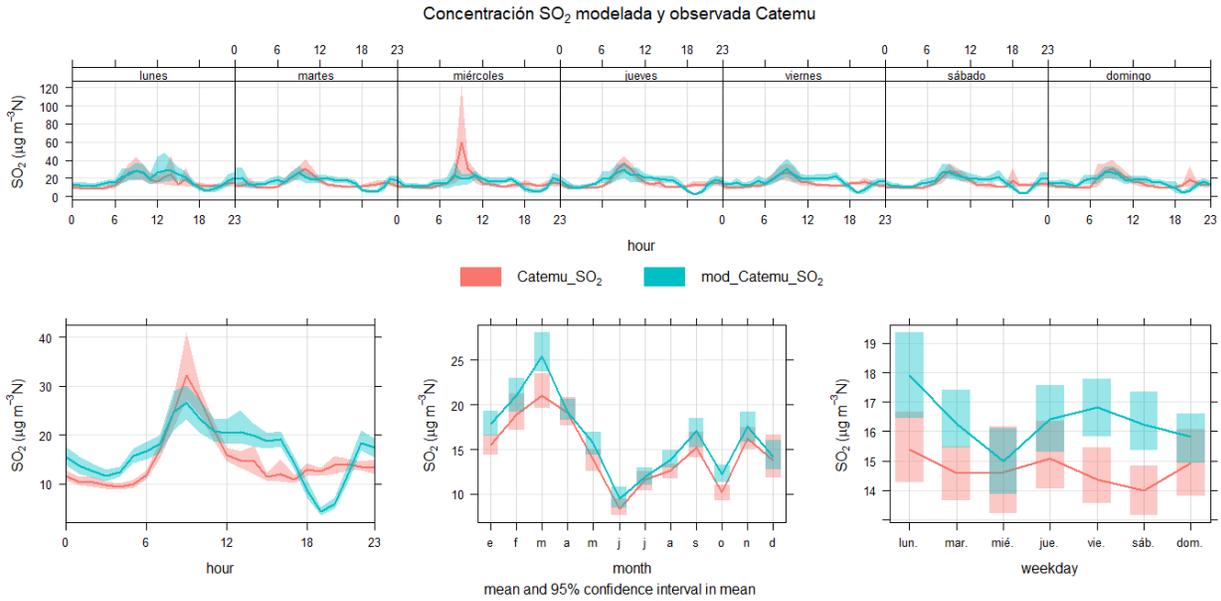


Figura 22. Concentración de SO_2 observada y modelada en Catemu, año 2018

El ciclo temporal de la concentración de SO_2 para Romeral se indica en la Figura 23. Como se puede observar, la modelación se ajusta a la tendencia de valores, sobre todo en el peak horario, aprox. 10 AM con un valor de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, los perfiles mensuales y diarios indican variaciones menores a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

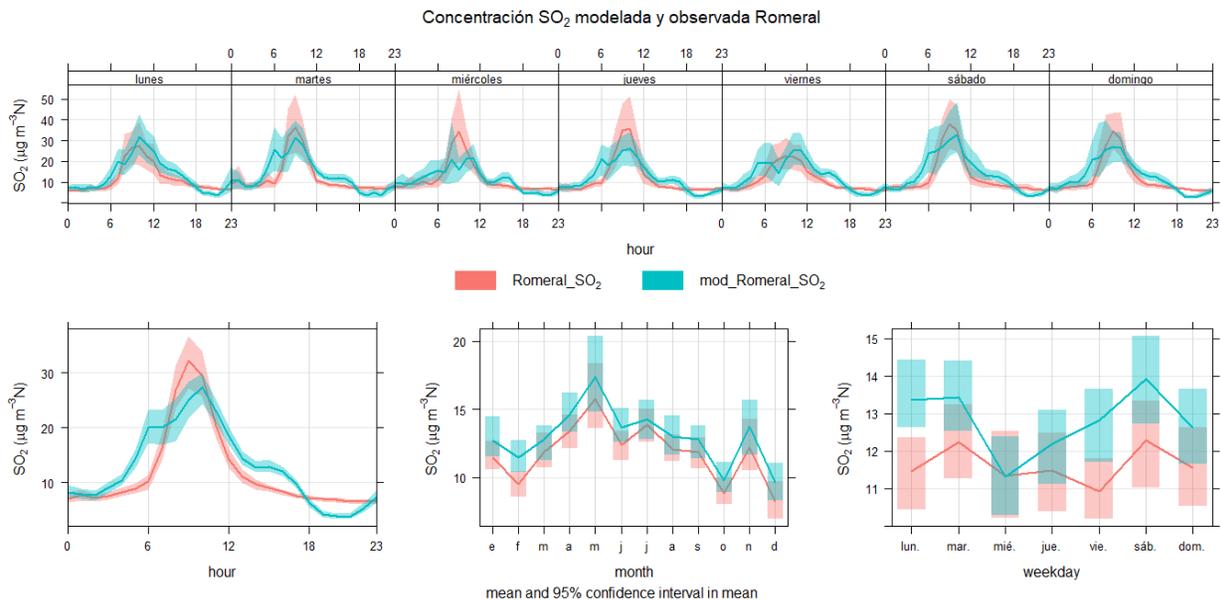


Figura 23. Concentración SO₂ observada y modelada en Romeral, año 2018

El ciclo temporal de la concentración de SO₂ para Santa Margarita se indica en la Figura 24. Como se puede observar, la modelación se ajusta a la tendencia de valores, sobre todo en el peak horario, aprox. a las 20 h con un valor cercano a 150 µg/m³. Por otra parte, los perfiles mensuales y diarios indican variaciones menores a 10 µg/m³. Se debe destacar que estos valores cumplen la norma primaria de SO₂ (D. S. N° 104/2018). En efecto, la norma establece que no se puede sobrepasar los 60 µg/m³ como promedio anual. Para concentración diaria y horaria se tiene como máximos los valores de 150 y 350 µg/m³, respectivamente, medidos en el percentil 99 (P99). Santa Margarita presenta 61.98, 136.92 y 333 µg/m³ como promedio anual, P99 diario y horario, respectivamente. Para el caso anual, la norma se incumple cuando el promedio trianual es superado o bien el promedio anual es del doble del valor señalado como máximo. Por lo tanto, según estos valores y lo reportado en el Informe de Avance 1, no se supera la norma en Santa Margarita.

Con respecto al ciclo temporal de la concentración de SO₂ para Lo Campo que se indica en la Figura 25, se puede observar que la modelación predice bastante bien la tendencia de los valores observados, la estación muestra unos peaks de concentración cercanos a 30 µg/m³ en horas de la mañana. Por otra parte, los perfiles mensuales y diarios indican variaciones menores a 5 µg/m³. Cabe destacar las mayores concentraciones que ocurren los días martes en esta estación.



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

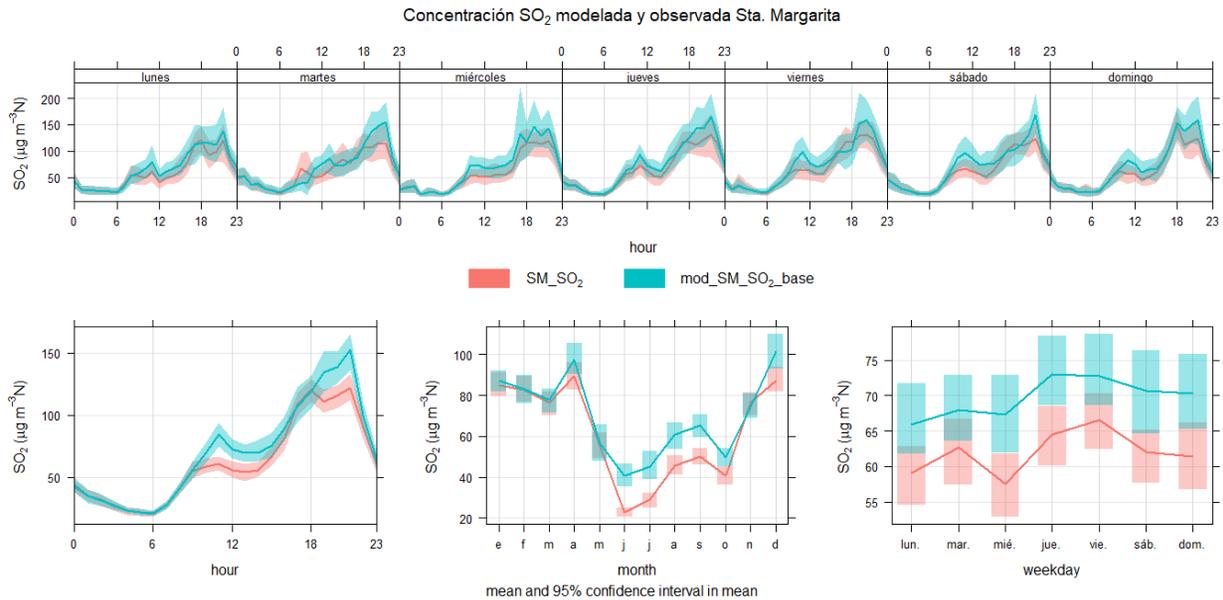


Figura 24. Concentración SO₂ observada y modelada en Sta. Margarita, año 2018

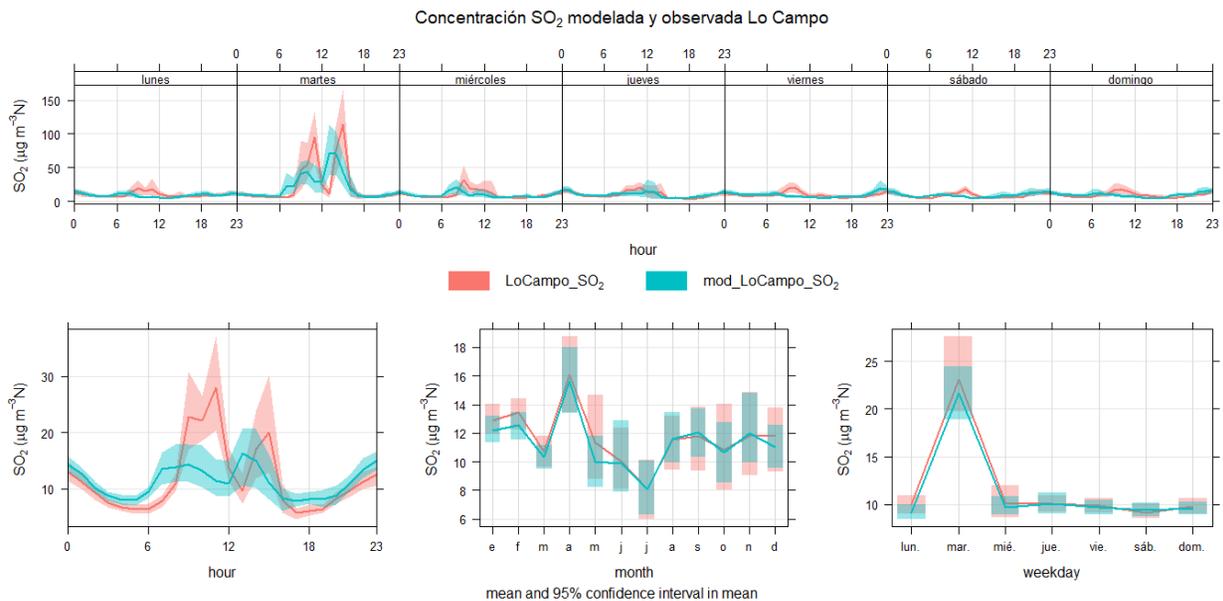


Figura 25. Concentración SO₂ observada y modelada en Lo Campo, año 2018

Por otra parte, la Figura 26 indica las concentraciones modeladas y observadas de PM₁₀ en Catemu. Se destaca el bajo aporte que tiene la Fundición sobre el total de material particulado medido en esta estación de monitoreo. En efecto, el promedio de los datos observados durante



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

el año 2018 fue de $80.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el promedio de los valores obtenidos mediante la simulación fue de $13.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando un aporte tan solo del 16.7 % sobre el total. Se destaca que tal como se indica en la Figura 27, Catemu presenta mayores valores de PM_{10} que el Romeral, Santa Margarita y Lo Campo. Finalmente, cabe recordar que en el Informe 1 de este estudio se concluyó que la estación que presentó mayores concentraciones continuas observadas del PM_{10} fue la estación de Catemu.

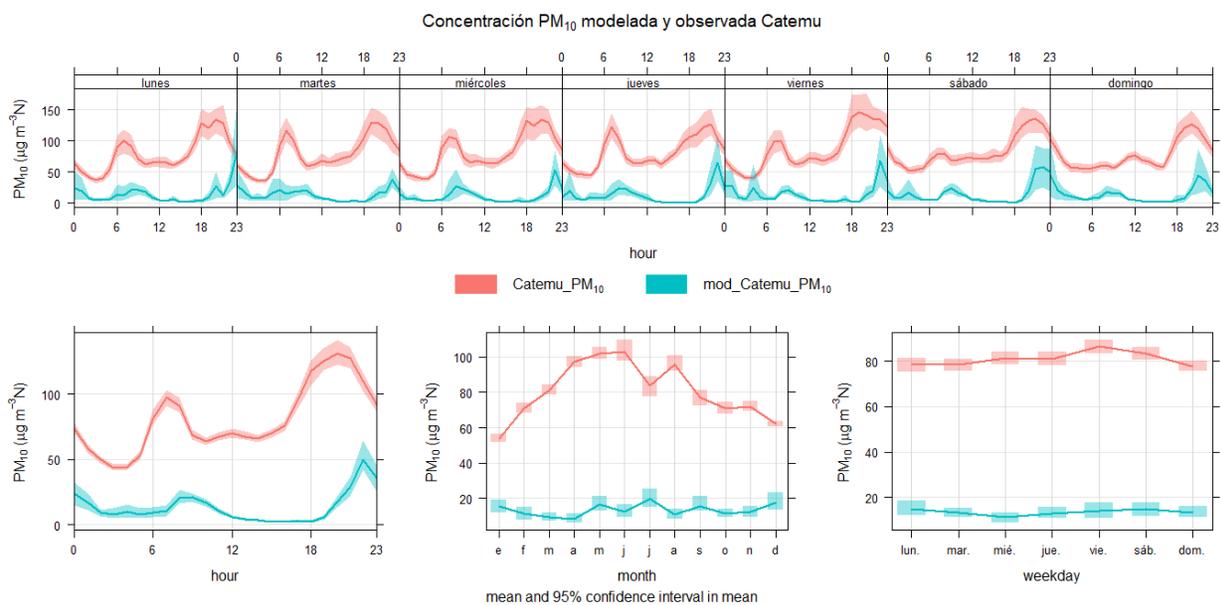


Figura 26. Concentración PM_{10} observada y modelada en Catemu, año 2018

El análisis entre la concentración de PM_{10} modelado y observado en Lo Campo indica que el aporte de la fundición es mínimo sobre los valores medidos en la estación de monitoreo. La Figura 26 indica el perfil temporal comparado, los valores modelados no superan las $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que los datos observados presentan un promedio por sobre $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

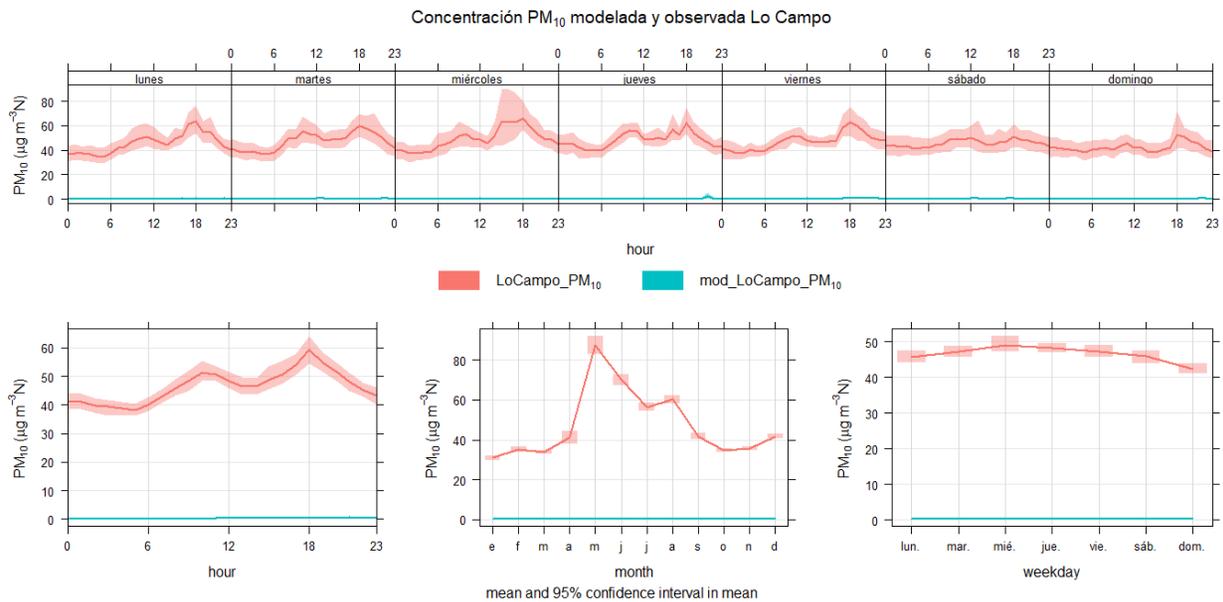


Figura 27. Concentración PM₁₀ observada y modelada en Lo Campo, año 2018

Finalmente, en la Figura 28 se indican los perfiles temporales del Material Particulado PM₁₀ para las estaciones Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo. Catemu presenta peaks horarios de 40 µg/m³ en horas de la noche. El mes de enero, con 15 µg/m³ como promedio, fue el más alto valor en el año. Los valores de PM₁₀ medidos en el Romeral, Santa Margarita y Lo Campo son menores a 10 µg/m³. Estos datos son concordantes con los entregados en el Informe 1, ya que, si bien existen valores horarios de PM₁₀ en Catemu que superan los 150 µg/m³, el promedio está entre 20 y 40 µg/m³.

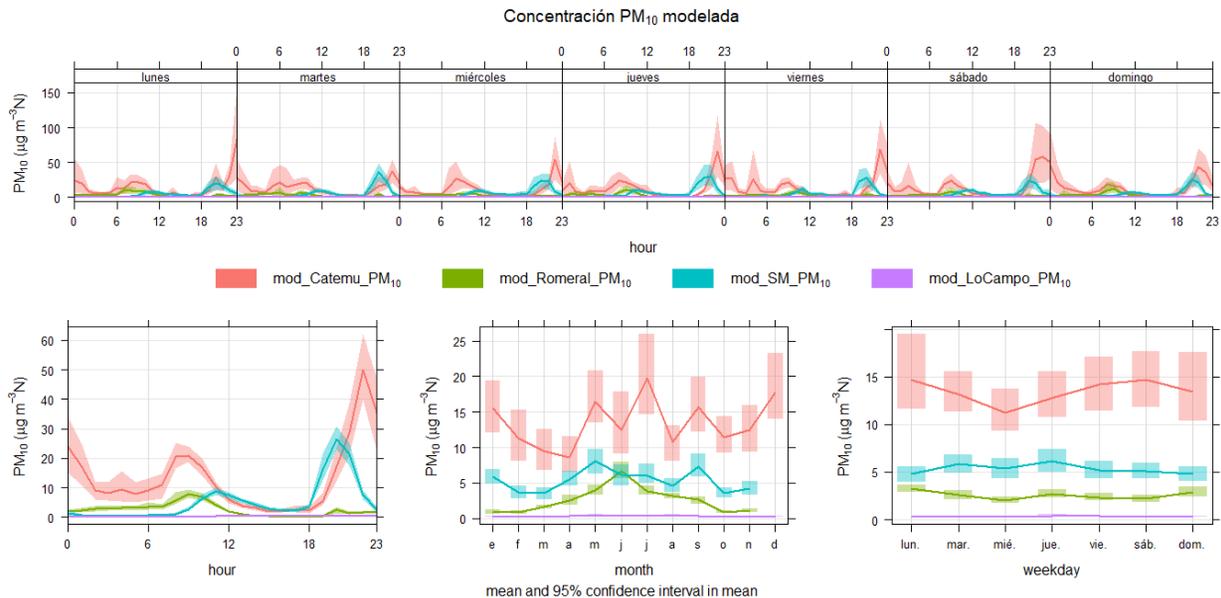


Figura 28. Concentración PM₁₀ modelada en Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo, año 2018

Análisis de plumas de dispersión de contaminantes

SO₂

La Figura 29 indica el promedio de concentraciones de 1 h para este contaminante. Los máximos se presentan en el área de la Fundación Chagres con valores cercanos a 600 µg/m³. La dirección predominante del viento en dirección noreste en dirección a Santa Margarita produce que los mayores valores sean en ese eje. Sin embargo, se debe notar que los valores sobre el área de Santa Margarita son menores a 80 µg/m³, alcanzando en 2 km valores inferiores a 10 µg/m³. Para profundizar el análisis se han generado dos perfiles de concentración de SO₂, promedio de 1 h, en relación con la distancia. En el caso de la Figura 30 el eje corresponde a la dirección Fundación → Santa Margarita, e indica el mayor valor sobre la Fundación y a 4.5 km la concentración es cercana a 0 µg/m³, indicando la zona de influencia en este caso.



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

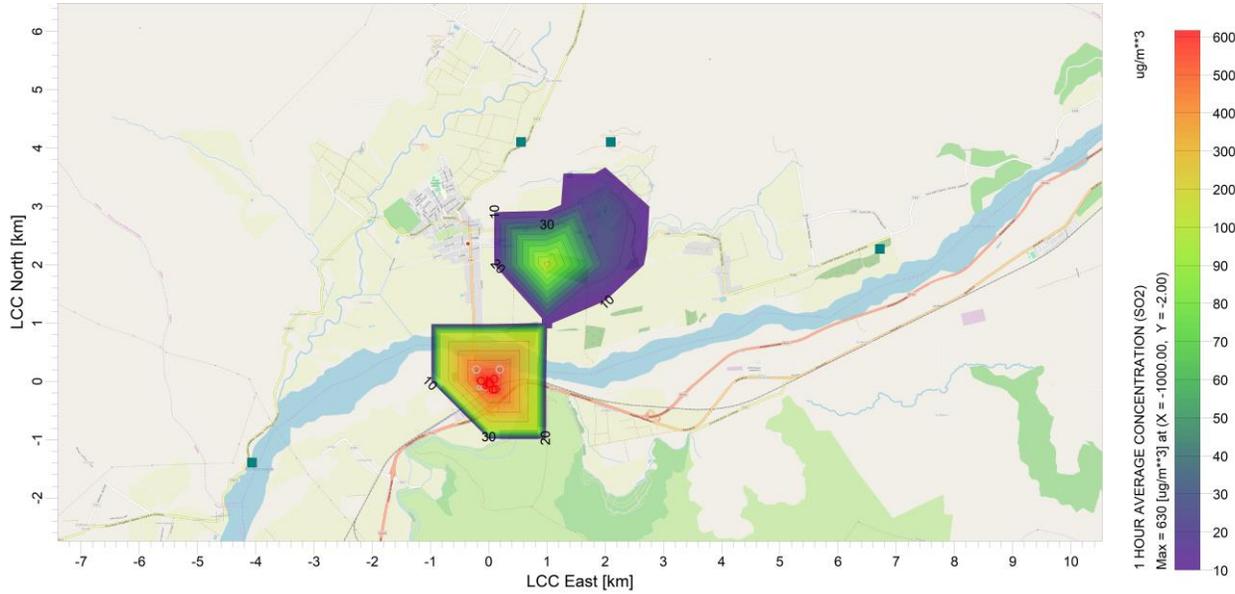


Figura 29. Promedio de concentraciones de 1 h – SO₂

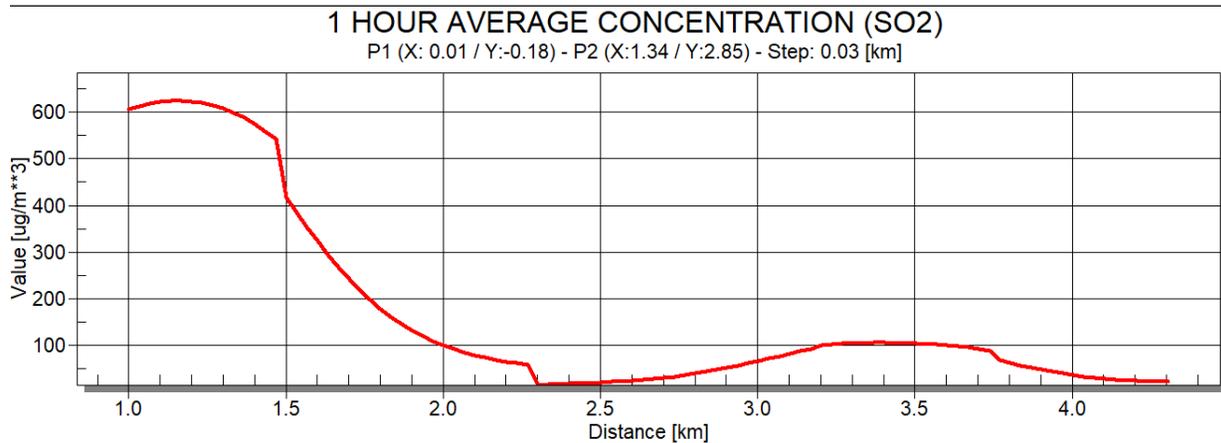


Figura 30. Promedio de concentraciones de 1 h – SO₂ (Fundición → Sta. Margarita)

Por otra parte, la Figura 31 muestra un perfil de concentraciones sobre el eje Catemu → Fundición. El valor alto es sobre el área de la planta de procesos, indicando que fuera del radio de 1.5 km la concentración de SO₂ es cercana a 0 µg/m³.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

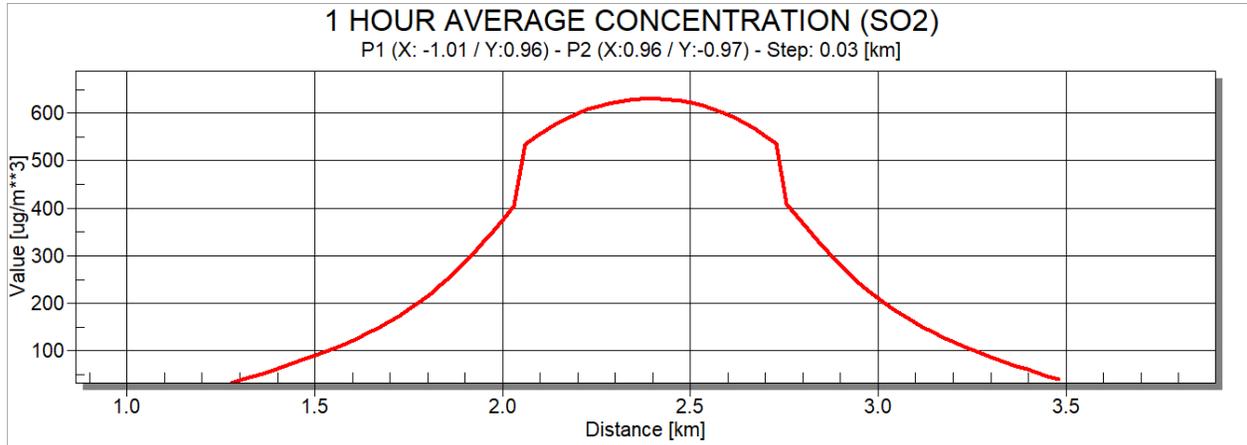


Figura 31. Promedio de concentraciones de 1 h – SO₂ (Catemu → Fundación Chagres)

La Figura 32 indica el promedio de concentraciones de 24 h para el SO₂, con un valor máximo de 439 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, llegando a valores de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a poca distancia de la planta. Sobre Santa Margarita estos valores diarios oscilan entre 10 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

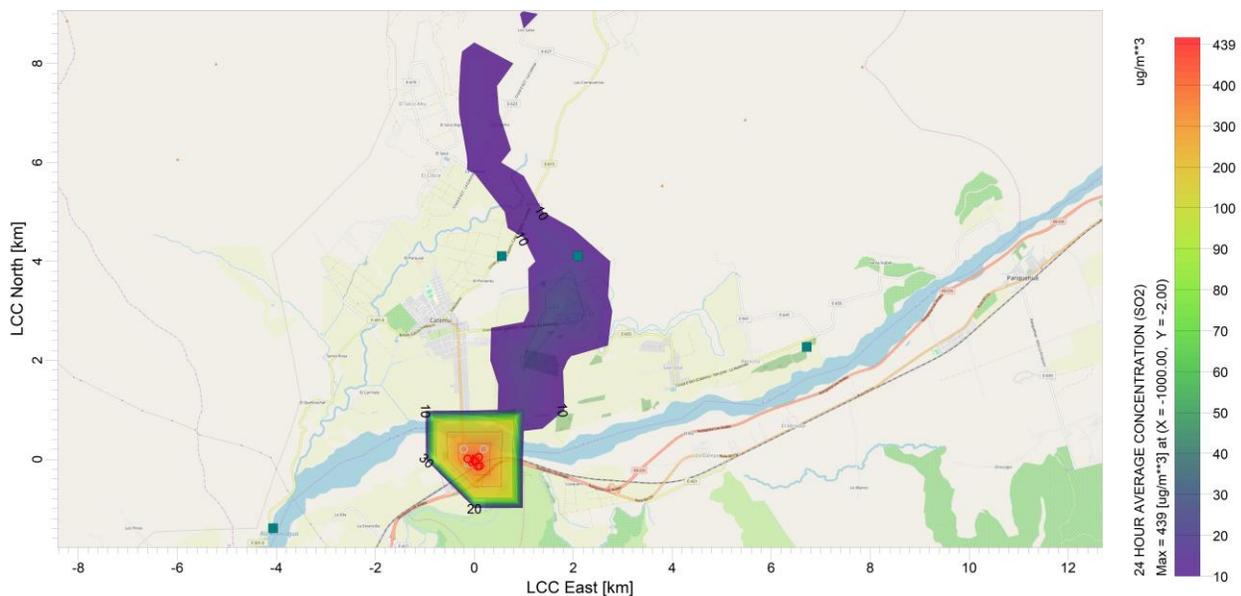


Figura 32. Promedio de concentraciones de 24 h – SO₂

La Figura 33 indica el promedio de concentraciones anuales para el SO₂, con un valor máximo de cercano a 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sobre Santa Margarita estos valores diarios oscilan entre 10 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

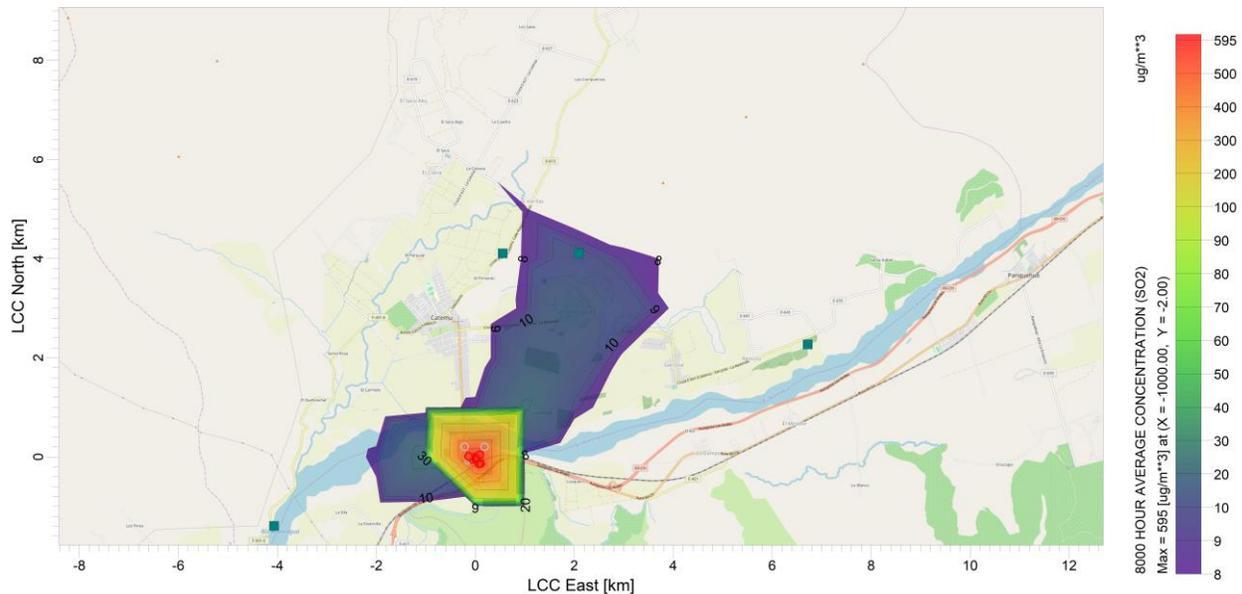


Figura 33. Promedio de concentraciones de anual – SO₂

PM₁₀

En las figuras 34 a 36, se muestran las plumas de concentraciones de 1 h, 24 h y anual, respectivamente para el PM₁₀. Los valores horarios indican un máximo en la planta cercanos a 1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sobre Santa Margarita se muestra un valor máximo de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso del material particulado, el principal aporte proviene de la nave de procesos, al igual que para el SO₂. Los valores diarios indican un máximo de alrededor de 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un área de dispersión más grande que en el caso anterior si bien son valores menores a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, para el promedio anual se indica un máximo de 572 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores menores a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fuera de la zona de planta.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

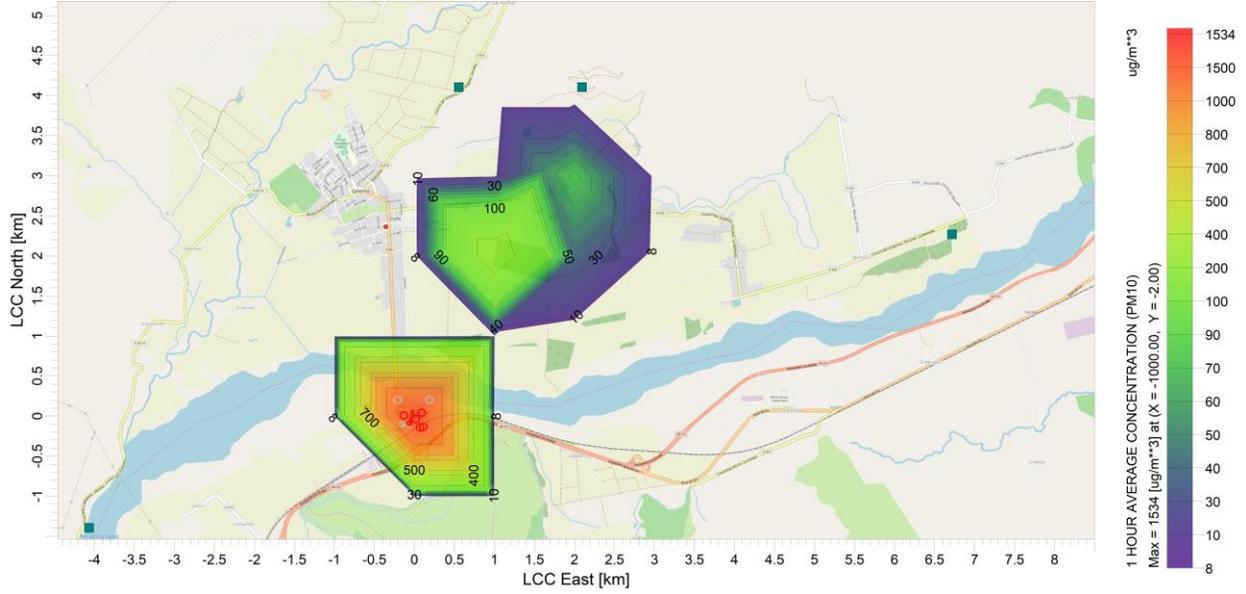


Figura 34. Promedio de concentraciones de 1 h – PM₁₀

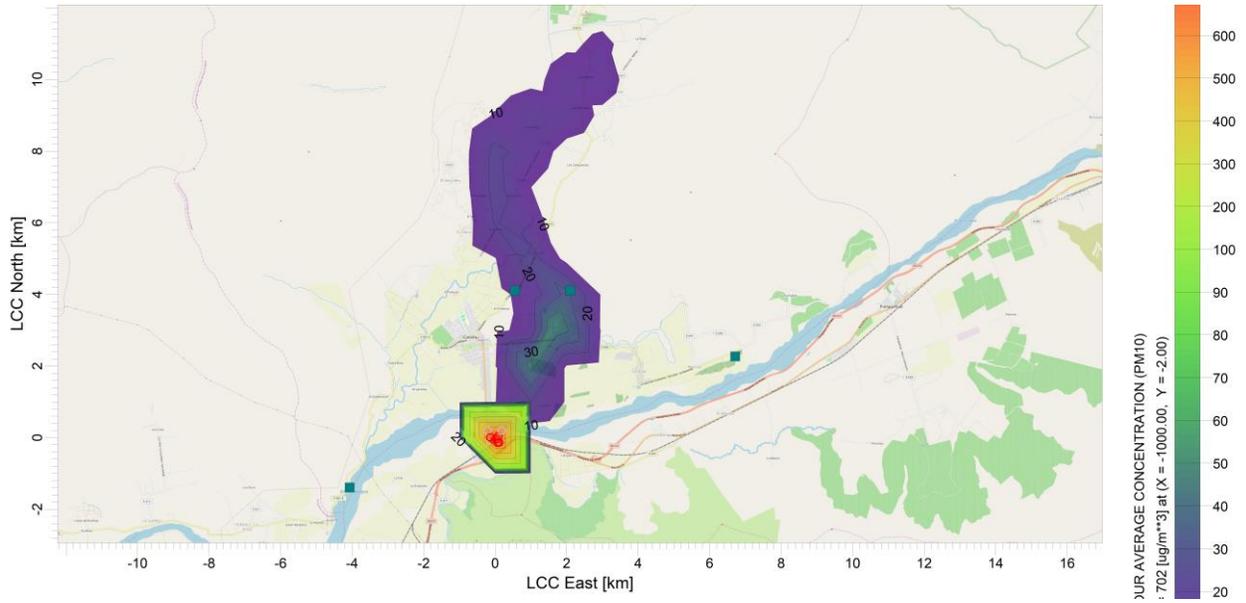


Figura 35. Promedio de concentraciones de 24 h – PM₁₀

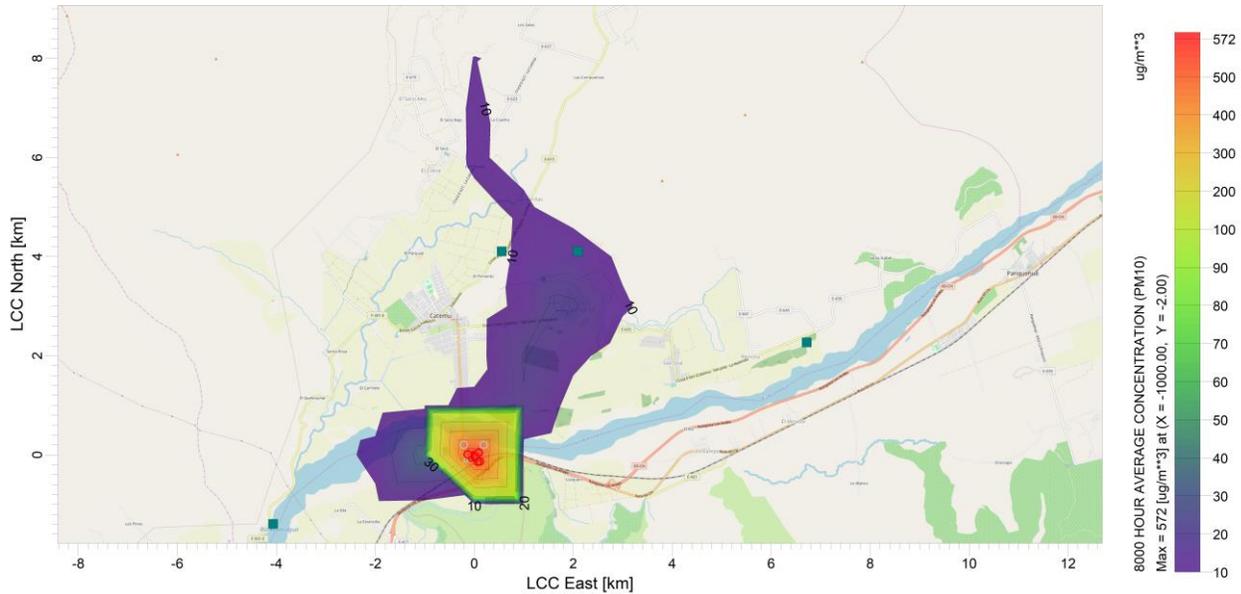


Figura 36. Promedio de concentraciones anual – PM₁₀

4.3. Análisis de escenarios para el SO₂

Con la finalidad de evaluar posibles escenarios de reducción de emisiones fugitivas desde la nave de procesos y redireccionarlo por la chimenea de 100 m, se propusieron 3 escenarios adicionales de simulación, que se detallan en la Tabla 21.

Tabla 21. Descripción de escenarios

Nombre	Descripción	Efecto en emisiones
Escenario base	Emisiones fugitivas y puntuales correspondientes a la operación actual	-----
Escenario 2	Encapsulación de la nave	-20 % emisiones fugitivas Se trasladan a chimenea de 100 m
Escenario 3	Encapsulación de la nave	-40 % emisiones fugitivas Se trasladan a chimenea de 100 m
Escenario 4	Reducción de emisiones en HR y HLE	-60 % emisiones fugitivas Se trasladan a chimenea de 100 m



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

El análisis del comportamiento de la dispersión de concentraciones en los distintos escenarios se hizo utilizando los datos obtenidos de la modelación para el punto receptor Santa Margarita, corregidos con el percentil 98 del escenario base.

La Figura 37 indica la comparación temporal del escenario base con respecto a una reducción del 20% de emisiones fugitivas, Escenario 2. Se puede observar una disminución en esta simulación, el peak en el perfil horario que se observa en horas de la tarde cercano a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ disminuye a cerca de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso de los meses de abril y diciembre el promedio mensual baja de 100 a 80 y $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Como se indica en la Tabla 26, el promedio del escenario base es de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en este escenario se alcanza un valor de $53.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una reducción del 23.6 %.

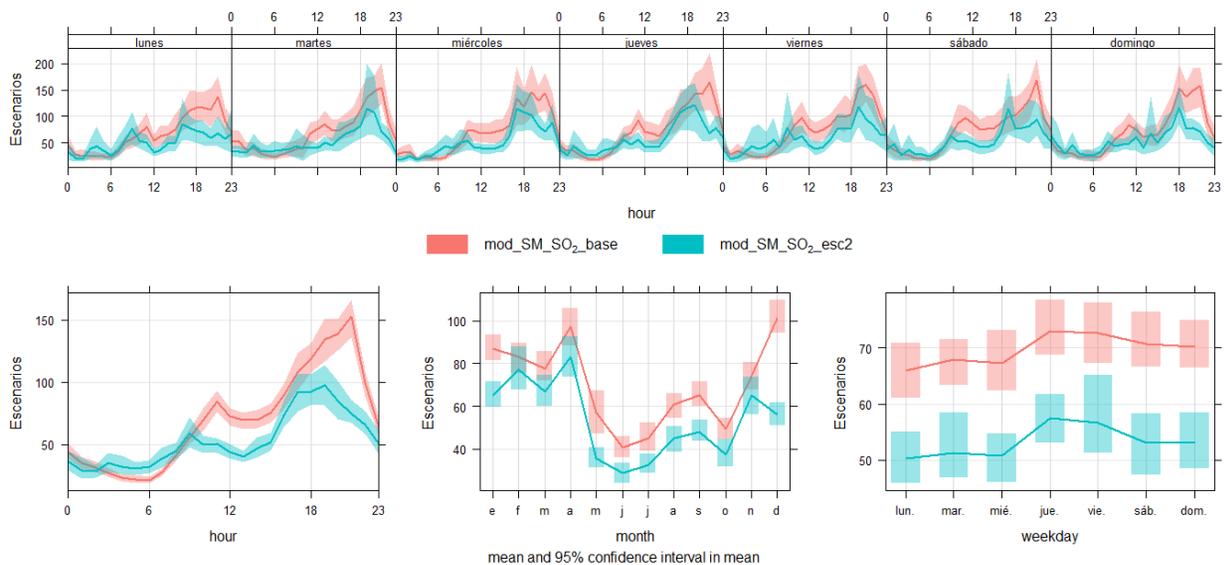


Figura 37. Escenario 2 comparado con el base

La Figura 38 indica la comparación temporal del escenario base con respecto a una reducción del 40 % de emisiones fugitivas, Escenario 3. De la misma forma que en el escenario anterior, el peak cercano a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ disminuye a cerca de $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso de los meses de abril y diciembre el promedio mensual baja de 100 a 85 y $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Como se indica en la Tabla 26, el promedio del escenario base es de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en este escenario se alcanza un valor de $57.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una reducción del 17.4 %.

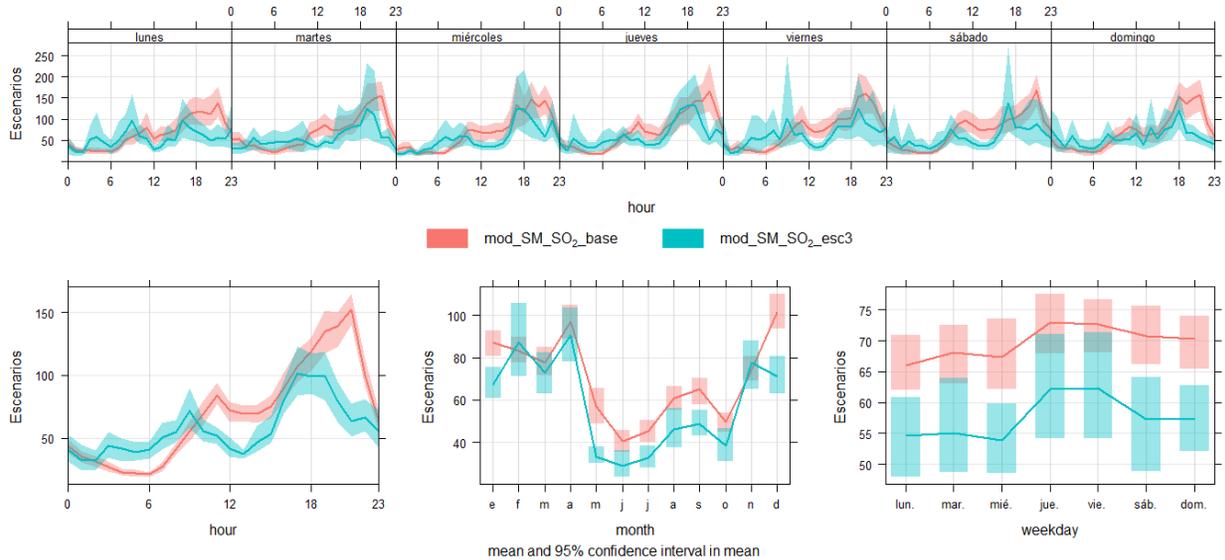


Figura 38. Escenario 3 comparado con el base

La Figura 39 muestra la comparación entre el escenario 4 y el base, en este último escenario de simulación la emisión de las fuentes fugitivas se ha disminuido en un 60% de los valores originales, por lo tanto, la cantidad emitida por la chimenea transforma a esta fuente puntual en un aporte importante en el perfil de concentraciones. En este caso, si bien se observa disminución en los peaks promedio, no es una diferencia significativa. Como se indica en la Tabla 26, el promedio del escenario base es de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en este escenario se alcanza un valor de $62.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una reducción del 10.9 %.

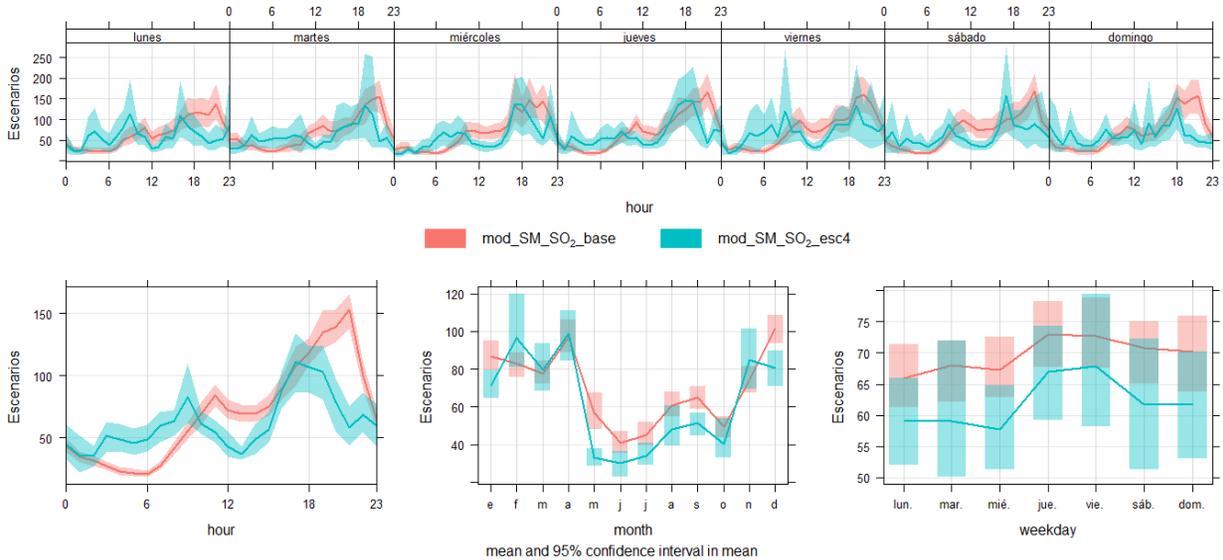


Figura 39. Escenario 4 comparado con el base

Finalmente, la Figura 40 indica la comparación de todos los escenarios. Se puede observar que existe una mayor variación en el escenario 2 como se indicó antes. La variabilidad de los valores, que en esta gráfica se observan con un 95 % de confianza, indican valores de concentración de hasta $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso del escenario 4.

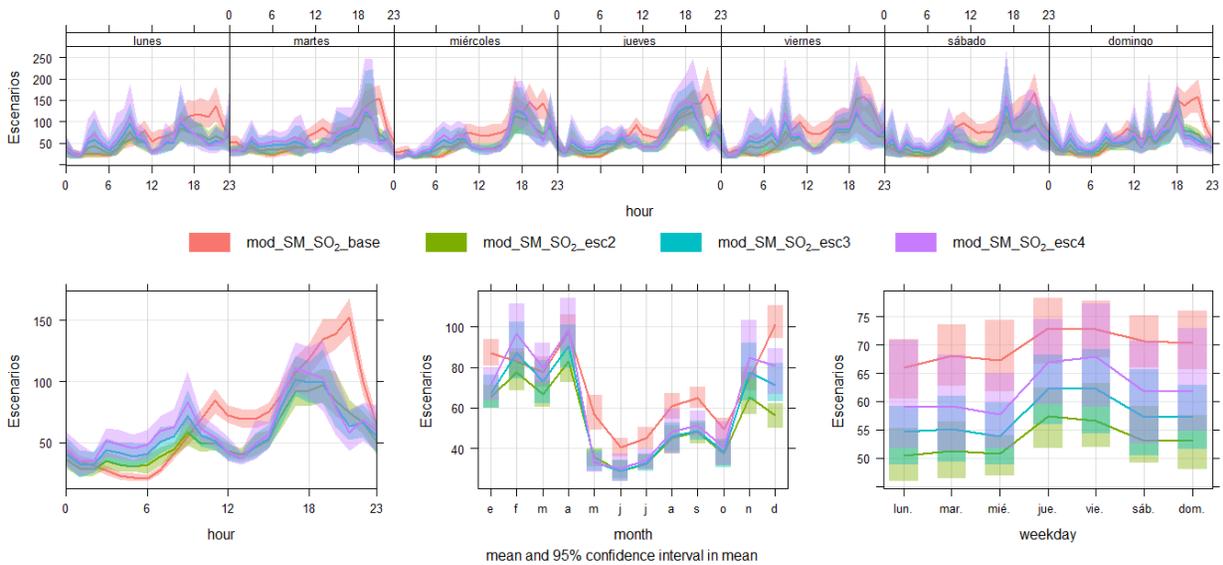


Figura 40. Todos los escenarios comparados



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

La tabla 22 muestra el resumen del efecto causado por la disminución de emisiones de la nave de proceso.

Tabla 22. Reducción de concentraciones anuales del SO₂ en Estación Margarita, año 2018

Escenario	Promedio	Variación con respecto al base
Base	69.7 µg/m ³	
2	53.24 µg/m ³	-23.6 %
3	57.54 µg/m ³	-17.4 %
4	62.07 µg/m ³	-10.9 %



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

5. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un modelo meteorológico para la Fundición Chagres mediante el software WRF utilizando una malla de 61 x 61 km y 44 capas verticales, con un tamaño de celda de 1 km. La incorporación de datos de estaciones superficiales permitió mejorar el desempeño del modelo para una malla final con celdas de 200 m y que presenta un error entre el valor observado y modelado de 2.6 % para Santa Margarita y cercano al 20 % para las estaciones Catemu, Lo Campo y Romeral. En cuanto a la dirección viento se observó que la modelación se ajusta a la tendencia de los datos colectados en la zona.
- El inventario de emisiones fue perfilado de forma mensual para el caso de fuentes puntuales, y para las emisiones fugitivas de la nave de proceso (área de 4075 m²), que representa cerca del 97 % del total de SO₂ y del 95 % de material particulado se procedió a establecer valores de emisión horarios y con perfil mensual. El total anual de emisiones se dividió en fracciones mensuales mediante un análisis del número de horas de operación reportados, y el perfil horario se determinó con las frecuencias de vientos y SO₂ observados en Santa Margarita.
- La simulación de la dispersión de contaminantes se realizó en CALPUFF para el año base 2018. El análisis de los promedios de concentración de SO₂ en Catemu, Romeral y Santa Margarita indican un error cercano al 10 %. Para estas tres estaciones de monitoreo se pudo observar que los resultados del modelo predicen con razonable exactitud el perfil de concentraciones de contaminantes en la zona. Para Catemu y Romeral, se observaron peaks horarios de 30 µg/m³, a las 10 AM. Mientras que, en Sta. Margarita, el peak fue a las 20 h con un valor de 150 µg/m³. Se comprobó que en ninguna de estas estaciones se incumple la norma primaria de SO₂ chilena.
- El aporte del PM₁₀ generado como emisiones fugitivas de la nave de proceso representó un 16.7 % del promedio anual de concentraciones de este contaminante medidos en la estación Catemu para el año 2018, mientras que para estación Lo Campo el aporte fue de tan solo un 0.68%. Estos valores se deben corroborar con estudio de modelo de receptor.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

- Se simularon de forma adicional 3 escenarios con reducciones del 20, 40 y 60 % de las emisiones fugitivas de SO_2 , las cuales se capturan y se trasladan a la chimenea de 100 m. En el escenario base para Santa Margarita se tuvo un promedio de concentración de SO_2 de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para los escenarios 2, 3 y 4 los promedios anuales de dióxido de azufre decrecieron a 53.24 (-23.6 %), 57.54 (-17.4%) y 62.07 (10.9 %) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.