

**REPORTE N° 00020-2021-OEFA/DEAM-STEC**

- A** : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**
Director de Evaluación Ambiental
- DE** : **LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS**
Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica
- ANDRÉS DANIEL BRIOS ABANTO**
Coordinador de Vigilancia Ambiental
- ASUNTO** : Evaluación ambiental de seguimiento de la calidad del aire en los distritos Ilo y Pacocha, provincia Ilo, departamento Moquegua, de enero a noviembre del 2021.
- REFERENCIA** : Expediente de Evaluación: 2020-02-0015
- Códigos de acción
- 0001-8-2021-412
 - 0004-9-2021-412
 - 0002-11-2021-412
- FECHA** : Lima, 29 de diciembre de 2021

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para saludarlo cordialmente y, con relación al asunto de la referencia, informar lo siguiente:

1. INFORMACIÓN GENERAL**Tabla 1.1.** Información general respecto de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distritos Ilo y Pacocha, provincia Ilo, departamento Moquegua
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Fundición y refinería de cobre - Ilo, Central Termoeléctrica Ilo1, Central Termoeléctrica Ilo21, Central Termoeléctrica Nodo energético Del Sur – Planta Ilo , Central Termoeléctrica Reserva Fría de Generación – Planta Ilo
c.	Problemática identificada	Presunta afectación de la calidad del aire debido a las actividades económicas en la provincia Ilo
d.	Periodo de ejecución	Enero a noviembre del 2021

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero químico	Gabinete
2	Andrés Daniel Brios Abanto	Ingeniero ambiental y de recursos naturales	Gabinete
3	Jorge Luis Hualpa Amable	Ingeniero Químico	Gabinete/campo



2. OBJETIVO

Realizar la evaluación ambiental de seguimiento de la calidad del aire en el ámbito de los distritos Ilo y Pacocha de la provincia Ilo, ubicada en el departamento Moquegua, a través, del monitoreo continuo de parámetros que permitan identificar, registrar y alertar posibles alteraciones en la calidad del aire, de enero a noviembre de 2021.

3. METODOLOGÍA

3.1. Protocolo de monitoreo

Tabla 3.1. Protocolo de monitoreo

Matriz	Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Aire	Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire	Todo el documento	Perú	Minam	Decreto Supremo N.º 010-2019-MINAM	2019

3.2. Ubicación de estaciones de monitoreo

Tabla 3.2. Estaciones de monitoreo

N.º	Código	Coordenadas UTM WGS-84			Altitud m s. n. m.	Descripción
		Este (m)	Norte (m)	Zona		
1	CA-ILO-01	252226	8048774	19K	40	Ubicado en la Av. Pacífico Mz. L Lote 1 UPIS Miramar, distrito de Ilo
2	CA-ILO-02	251618	8051342	19K	30	Ubicado en la Av. Ingeniera Mz. C Lote SC2, Agrupación Familiar Pueblo Nuevo (Plaza El Minero), distrito de Pacocha
3	CA-ILO-03	253350	8047344	19K	174	Ubicado en Av. Mirador Boca de Sapo Mz. 50 Lote 9, Pampa Inalámbrica, distrito de Ilo

3.3. Equipos y metodologías de análisis

Tabla 3.3. Equipos utilizados en las estaciones de monitoreo

Parámetro	Equipo	Marca	Modelo	Serie	Certificado calibración
Estación de monitoreo CA - ILO - 01					
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Monitor automático de partículas	GRIMM	EDM 180	18A19094	LF-0462021
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})					
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Equipo Manual Activo HiVol	TISCH	TE-6070VFC+BLX	Venturi: P10791BLX	LF-0432021
Dióxido de Azufre	Monitor automático de SO ₂	Thermo Scientific	43i	1200416204	LG-050-2021 LG-0192021
Dióxido de Nitrógeno	Monitor automático de NO ₂	Thermo Scientific	42i	1192914962	LG-052-2021 LG-0212021
Sulfuro de Hidrógeno	Monitor automático de H ₂ S	Thermo Scientific	450i	CM19490141	LG-051-2021 LG-0202021
Monóxido de carbono	Monitor automático de CO	Thermo Scientific	48i	1193085163	LG-049-2021 LG-0182021
- Velocidad de viento - Dirección de viento	Estación meteorológica	Campbell Scientific	CR310	WM174404	LM-0382021
- Temperatura ambiente - Humedad relativa				1669292130	LM-0372021 y LM-0362021



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia

Parámetro	Equipo	Marca	Modelo	Serie	Certificado calibración
- Presión barométrica				BPA11352	LM-0402021
- Precipitación				TB00015748	LM-0392021
- Radiación Solar				193237	LM-0352021
Estación de monitoreo CA - ILO - 02					
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Monitor automático de partículas	GRIMM	EDM 180	18A19091	LF-0452021
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})					
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Equipo Manual Activo HiVol	TISCH	TE-6070VFC+BLX	Venturi: P10789BLX	LF-0422021
Dióxido de Azufre	Monitor automático de SO ₂	Thermo Scientific	43i	1192914947	LG-046-2021 LG-0152021
Dióxido de Nitrógeno	Monitor automático de NO ₂	Thermo Scientific	42i	1192914960	LG-048-2021 LG-0172021
Sulfuro de Hidrógeno	Monitor automático de H ₂ S	Thermo Scientific	450i	CM19490139	LG-047-2021 LG-0162021
Monóxido de carbono	Monitor automático de CO	Thermo Scientific	48i	1193085161	LG-045-2021 LG-0142021
- Velocidad de viento - Dirección de viento	Estación meteorológica	Campbell Scientific	CR300	WM174402	LM-0322021
- Temperatura ambiente - Humedad relativa				1663393889	LM-0312021 y LM-0302021
- Presión barométrica				BPA11350	LM-0342021
- Precipitación				TB00015746	LM-0332021
- Radiación Solar				193287	LM-0292021
Estación de monitoreo CA - ILO - 03					
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Monitor automático de partículas	GRIMM	EDM 180	18A19093	LF-0442021
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})					
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Equipo Manual Activo HiVol	TISCH	TE-6070VFC+BLX	Venturi: P10790BLX	LF-0412021
Dióxido de Azufre	Monitor automático de SO ₂	Thermo Scientific	43i	1192914948	LG-042-2021 LG-0112021
Dióxido de Nitrógeno	Monitor automático de NO ₂	Thermo Scientific	42i	1192914961	LG-044-2021 LG-0132021
Sulfuro de Hidrógeno	Monitor automático de H ₂ S	Thermo Scientific	450i	CM19490140	LG-043-2021 LG-0122021
Monóxido de carbono	Monitor automático de CO	Thermo Scientific	48i	1193085162	LG-041-2021 LG-0102021
- Velocidad de viento - Dirección de viento	Estación meteorológica	Campbell Scientific	CR300	WM174403	LM-0262021
- Temperatura ambiente - Humedad relativa				1665884185	LM-0252021 y LM-0242021
- Presión barométrica				BPA11351	LM-0282021
- Precipitación				TB00015747	LM-0272021
- Radiación Solar				193240	LM-0232021

**Tabla 3.4.** Métodos de análisis de aire

Parámetro	Método	Técnica Empleada	Estación de monitoreo
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	Método automático	Dispersión de luz	CA - ILO - 01
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)		Fluorescencia ultravioleta	
Dióxido de Azufre (SO ₂)		Quimioluminiscencia	
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)		Fluorescencia ultravioleta	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)		Infrarrojo no dispersivo	
Monóxido de carbono (CO)			
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀) - filtro de cuarzo	Norma Técnica Peruana: NTP 900.030:2018. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM10 en la atmósfera	Separación inercial/filtración (Gravimetría)	
Velocidad de viento	Método automático	-	
Dirección de viento			
Temperatura ambiente			
Humedad relativa			
Precipitación			
Presión barométrica			
Radiación solar			
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	Método automático	Dispersión de luz	CA - ILO - 02
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)		Fluorescencia ultravioleta	
Dióxido de Azufre (SO ₂)		Quimioluminiscencia	
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)		Fluorescencia ultravioleta	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)		Infrarrojo no dispersivo	
Monóxido de carbono (CO)			
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀) - filtro de cuarzo	Norma Técnica Peruana: NTP 900.030:2018. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM10 en la atmósfera	Separación inercial/filtración (Gravimetría)	
Velocidad de viento	Método automático	-	
Dirección de viento			
Temperatura ambiente			



Parámetro	Método	Técnica Empleada	Estación de monitoreo	
Humedad relativa				
Precipitación				
Presión barométrica				
Radiación solar				
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	Método automático	Dispersión de luz	CA - ILO - 03	
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)				
Dióxido de Azufre (SO ₂)		Fluorescencia ultravioleta		
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)		Quimioluminiscencia		
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)		Fluorescencia ultravioleta		
Monóxido de carbono (CO)		Infrarrojo no dispersivo		
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀) - filtro de cuarzo		Norma Técnica Peruana: NTP 900.030:2018. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM10 en la atmósfera		Separación inercial/filtración (Gravimetría)
Velocidad de viento	Método automático	-		
Dirección de viento				
Temperatura ambiente				
Humedad relativa				
Precipitación				
Presión barométrica				
Radiación solar				

Fuente: Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (Minam)

(-): No aplica

3.4. Criterios de evaluación

Tabla 3.5. Estándares de calidad ambiental (ECA) para aire

Parámetro	Periodo	Formato del estándar		Norma
		Valor (µg/m ³)	Criterios de evaluación	
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	No exceder más de 7 veces al año	D.S. N.º 003-2017-MINAM «Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y Disposiciones Complementarias»
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	No exceder más de 7 veces al año	
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	No exceder más de 7 veces al año	



Parámetro	Periodo	Formato del estándar		Norma
		Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Criterios de evaluación	
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	No exceder más de 24 veces al año	
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	24 horas	150	Media aritmética	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	No exceder más de 1 vez al año	
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	

Sin embargo, los ECA para aire no consideran concentraciones de metales en PM_{10} para un periodo de 24 horas, por consiguiente, se tomó en cuenta los criterios de calidad ambiental del aire de Canadá (AAQC: *Ontario's Ambient Air Quality Criteria*) como estándares de referencia para dichos parámetros. En la Tabla 3.6 se precisan los valores referenciales de las concentraciones para metales.

Tabla 3.6. Estándares de calidad de aire de Canadá

CASRN	Contaminante	AAQC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo promedio (h)
7440-36-0	Antimonio y compuestos de antimonio	25	24
7440-38-2	Arsénico y compuestos de arsénico	0,3	24
7440-41-7	Berilio y compuestos de berilio	0,01	24
7440-42-8	Boro	120	24
7440-43-9	Cadmio y compuestos de cadmio	0,025	24
7440-48-4	Cobalto	0,1	24
7440-50-8	Cobre	50	24
7440-47-3	Cromo y compuestos	0,5	24
15438-31-0	Hierro (metálico)	4	24
7439-92-1	Plomo y compuestos de plomo	0,5	24
7439-96-5	Manganeso y compuestos de manganeso	0,2	24
7439-97-6	Mercurio (Hg)	2	24
7439-98-7	Molibdeno	120	24
7440-02-0	Níquel y compuestos de níquel	0,1	24
7782-49-2	Selenio	10	24
7440-22-4	Plata	1	24
7440-24-6	Estroncio	120	24
7440-31-5	Estaño	10	24
7440-32-6	Titanio	120	24
7440-61-1	Uranio y compuestos de uranio	0,15	24
7440-62-2	Vanadio	2	24
7440-66-6	Zinc	120	24

CASRN: *Chemical Abstracts Services Registry Number* o Número de Registro CAS

Fuente: *Ontario's Ambient Air Quality Criteria (AAQC)*

Recuperado de: <https://www.ontario.ca/page/ontarios-ambient-air-quality-criteria-sorted-contaminant-name#fnd>

4. RESULTADOS

4.1. Estación CA-ILO-01

Las condiciones meteorológicas registradas en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021 son presentadas en la Tabla 4.1 y el detalle del registro de los parámetros en el Anexo 3.



En la Tabla 4.1 se observa las condiciones meteorológicas en el distrito de Ilo, entre enero y marzo (primer trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 19,0 y 33,6 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0 m/s a 9,2 m/s y con un máximo en precipitaciones de 0,5 mm, entre abril y junio (segundo trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 14,8 °C y 26,4 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0 m/s a 9,3 m/s y con un máximo en precipitaciones de 0,2 mm; de julio a setiembre (tercer trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 13,2 °C y 21,7 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0,1 m/s a 7,2 m/s y con una presencia de lluvias máxima de 0,7 mm; de octubre a noviembre la temperatura varió entre 14,2 °C a 22,7 °C, la velocidad del viento entre 0,3 m/s a 6,7 m/s y con una máxima precipitación de 0,1 mm.

Tabla 4.1. Parámetros meteorológicos registrados en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021

Meses	Valores	Presión barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
Enero	Mínimo	999,7	0,0	19,9	52,1	0,1
	Máximo	1007,5	0,5	26,8	86,8	8,6
	Promedio	1003,7	0,001	23,4	67,0	4,1
Febrero	Mínimo	998,6	0,0	19,9	42,1	0
	Máximo	1007,6	0,0	33,6	82,9	9,2
	Promedio	1003,4	0,0	23,8	64,5	4,4
Marzo	Mínimo	998,0	0,0	19,0	43,8	0
	Máximo	1007,4	0,0	30,9	84,3	9,0
	Promedio	1003,8	0,0	24,3	64,5	3,6
Abril	Mínimo	999,6	0,0	17,8	51,3	0,0
	Máximo	1009,7	0,2	26,4	89,6	8,9
	Promedio	1004,9	0,0	21,8	69,3	3,5
Mayo	Mínimo	1001,6	0,0	16,2	54,7	0,0
	Máximo	1010,4	0,0	24,8	88,9	9,3
	Promedio	1006,6	0,0	20,1	70,6	3,0
Junio	Mínimo	1004,0	0,0	14,8	58,1	0,1
	Máximo	1012,5	0,0	21,7	87,5	6,9
	Promedio	1008,1	0,0	17,8	72,8	2,6
Julio	Mínimo	1002,4	0,0	14,1	59,2	0,1
	Máximo	1012,3	0,7	21,7	93,2	6,3
	Promedio	1008,1	0,4	16,6	75,5	2,6
Agosto	Mínimo	1003,8	0,0	13,8	61,7	0,2
	Máximo	1012,6	0,5	19,8	91,8	7,2
	Promedio	1008,9	0,2	16,4	74,9	2,8
Setiembre	Mínimo	1004,4	0,0	13,2	60,2	0,1
	Máximo	1012,7	0,0	20,3	90,0	5,8
	Promedio	1008,6	0,0	16,0	76,5	2,8
Octubre	Mínimo	1003,3	0,0	14,2	58,5	0,3
	Máximo	1011,4	0,1	21,1	92,0	6,5
	Promedio	1007,6	0,0	17,1	75,4	3,2
Noviembre	Mínimo	1003,0	0,0	15,8	56,0	0,4
	Máximo	1009,9	0,0	22,7	82,0	6,7



Meses	Valores	Presión barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
	Promedio	1006,5	0,0	19,4	70,7	3,6

En la Figura 4.1 se grafican las rosas de viento mensuales en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021. Se observa que, a excepción de los meses de enero a mayo donde hay una predominancia Sur sureste (SSE), todos los meses muestran una predominancia Sur (S). Es preciso mencionar que, en la referida dirección se encuentran los almacenes de Ceticos Ilo, teniendo como referencia la ubicación de la estación de monitoreo CA-ILO-01.



Figura 4.1. Rosas de viento mensuales en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.2 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.2a), horarias (Figura 4.2b) y mensuales (Figura 4.2c) en relación a las concentraciones de PM_{2,5} desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron picos de concentraciones de PM_{2,5} y los menores niveles al mediodía, siendo estos picos de mayor intensidad los días martes y miércoles. Mientras en el comportamiento mensual no se observa una tendencia clara de descenso o aumento en los niveles de concentración.

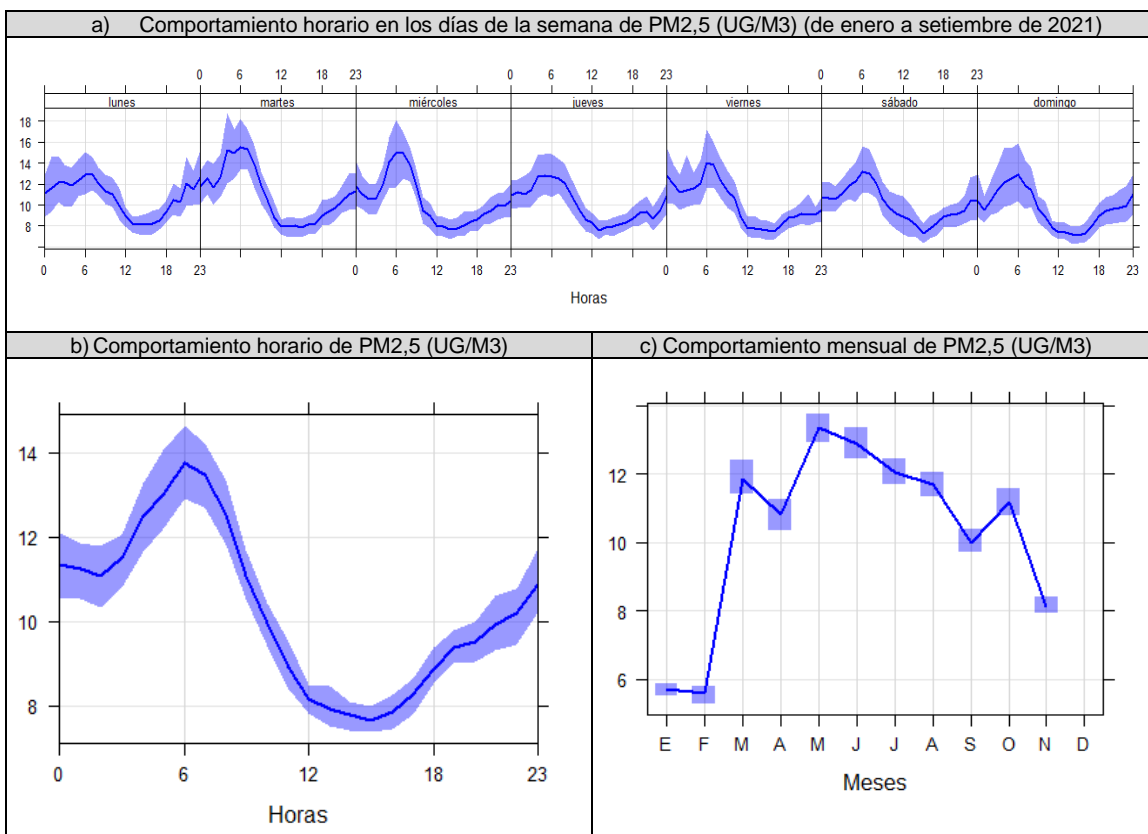
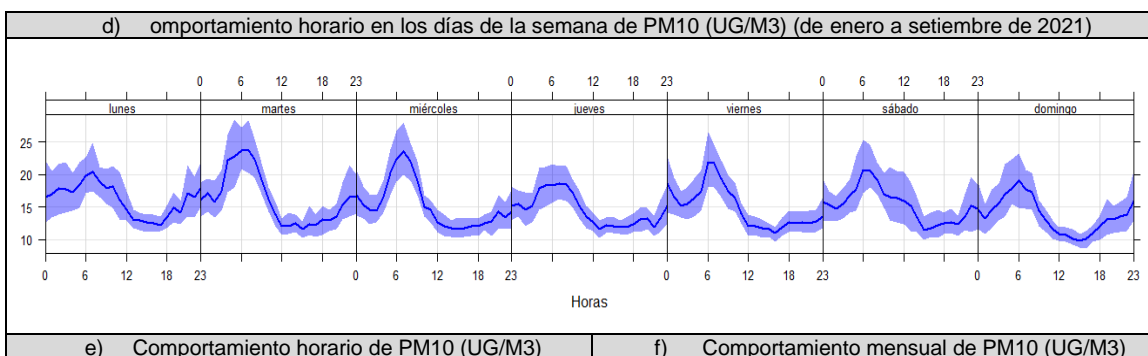


Figura 4.2. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de PM_{2,5} en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.3 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.3d), horarias (Figura 4.3e) y mensuales (Figura 4.3f) en relación a las concentraciones de PM₁₀ desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron picos de concentraciones de PM₁₀ y los menores niveles al mediodía. Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al descenso en los niveles de concentración desde el mes de marzo.



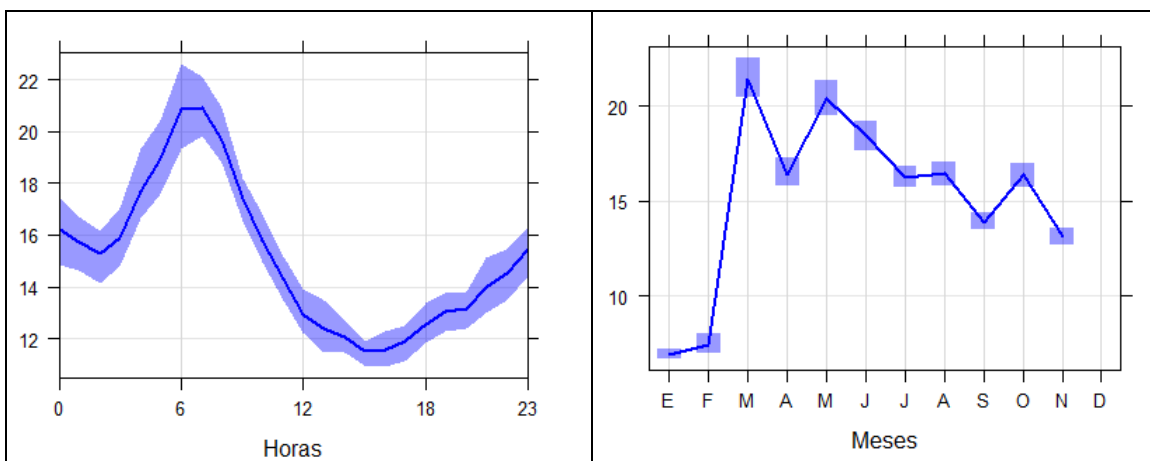


Figura 4.3. Concentraciones promedio horarias, semanales y mensuales de PM₁₀ en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.4 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.4g), horarias (Figura 4.4h) y mensuales (Figura 4.4i) en relación a las concentraciones de SO₂ desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron picos de concentraciones de SO₂. Mientras en el comportamiento mensual no se observa una tendencia clara sobre incremento o descenso en los niveles de concentración.

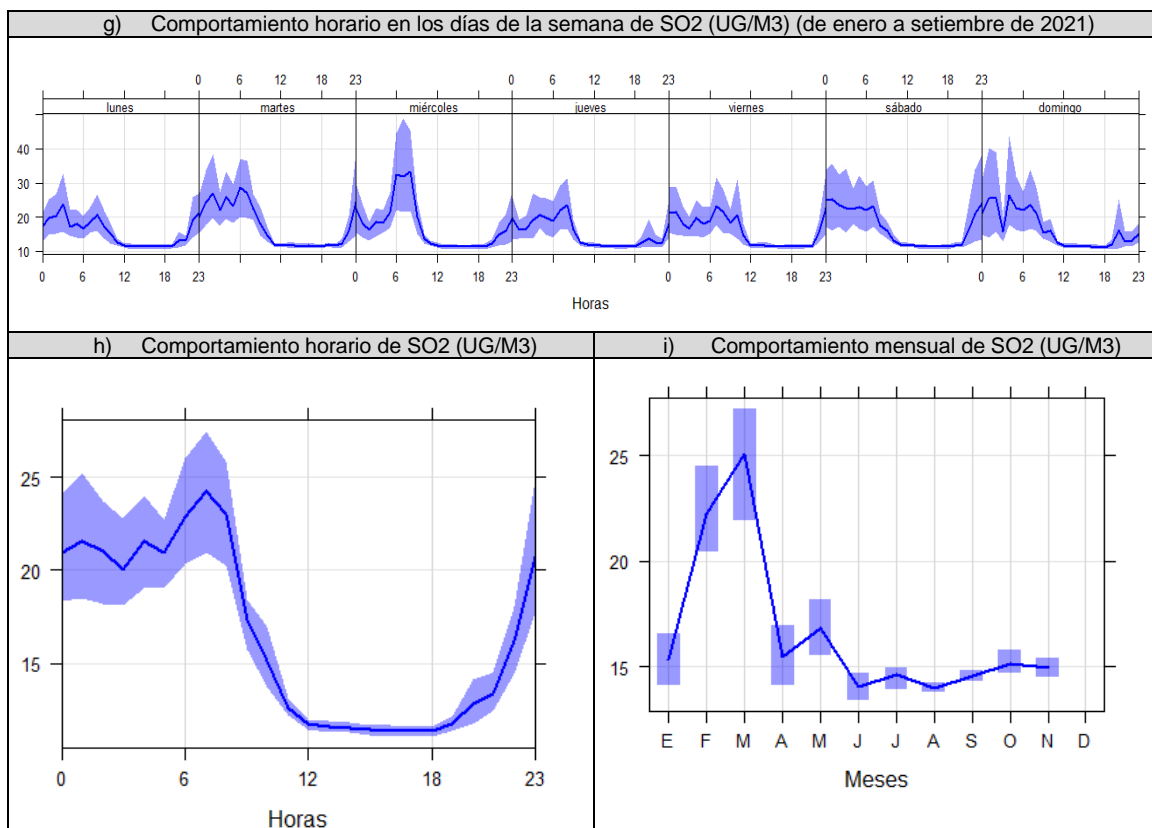


Figura 4.4. Concentraciones promedio horarias, semanales y mensuales de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021



En la Figura 4.5 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.5j), horarias (Figura 4.5k) y mensuales (Figura 4.5l) en relación a las concentraciones de H₂S desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 5:00 y 6:00 am, es donde se registraron picos de concentraciones de H₂S. Mientras en el comportamiento mensual no se observa una tendencia clara sobre un incremento o descenso en los niveles de concentración.

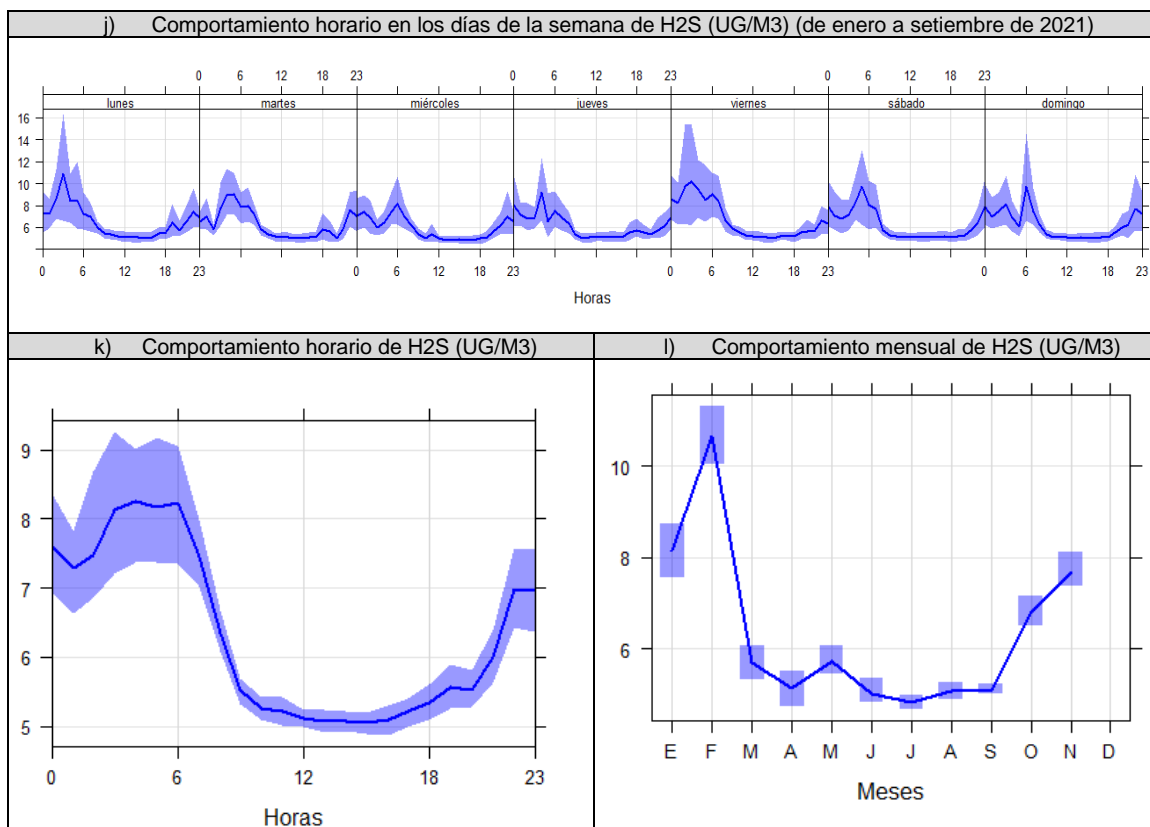
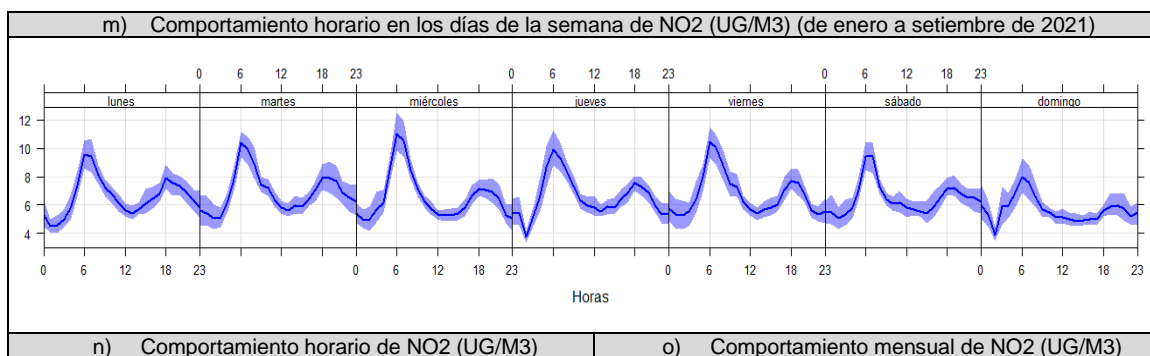


Figura 4.5. Concentraciones promedio horarias, semanales y mensuales de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.6 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.6m), horarias (Figura 4.6n) y mensuales (Figura 4.6o) en relación a las concentraciones de NO₂ desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am y las 6:00 pm, hay dos picos de concentración de NO₂. Mientras en el comportamiento mensual no se observa una tendencia clara sobre el incremento o descenso en los niveles de concentración.



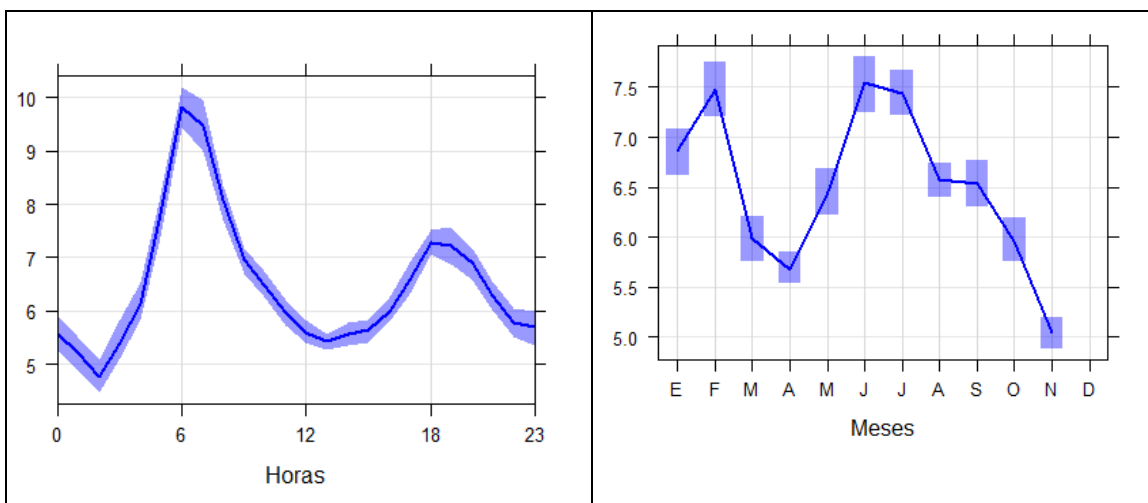


Figura 4.6. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.7 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de PM₁₀ en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA para aire de PM₁₀ (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas).



Figura 4.7. Concentraciones de 24 horas de PM₁₀ en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.8 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de PM_{2,5} en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA para aire de PM_{2,5} (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas).



Figura 4.8. Concentraciones de 24 horas de $PM_{2.5}$ en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.9 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de SO_2 en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para SO_2 ($250 \mu g/m^3$ en 24 horas).

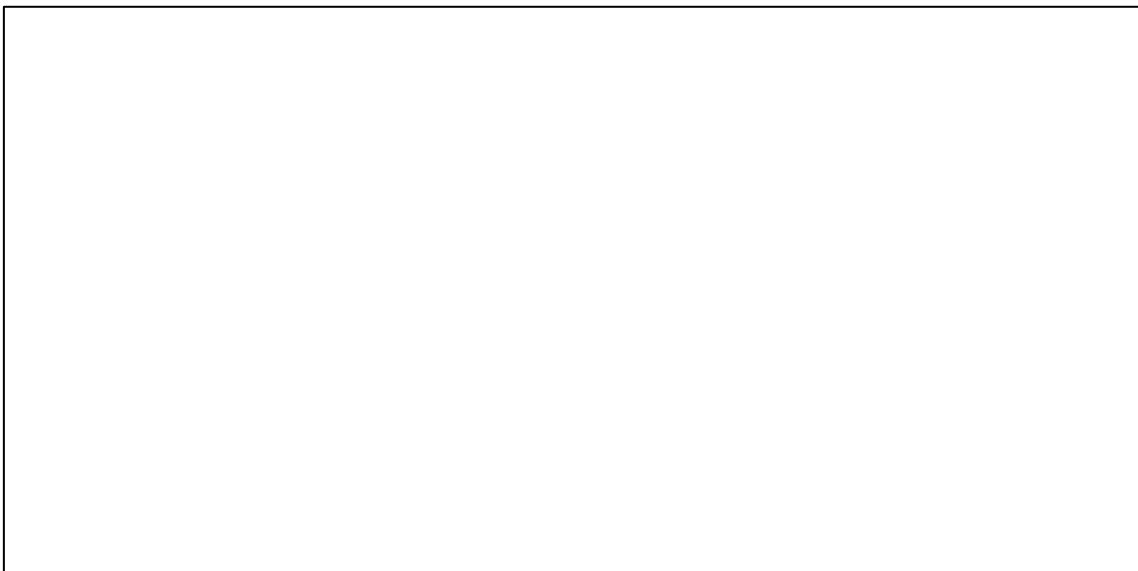


Figura 4.9. Concentraciones de 24 horas de SO_2 en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.10 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de H_2S en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para H_2S ($150 \mu g/m^3$ en 24 horas).

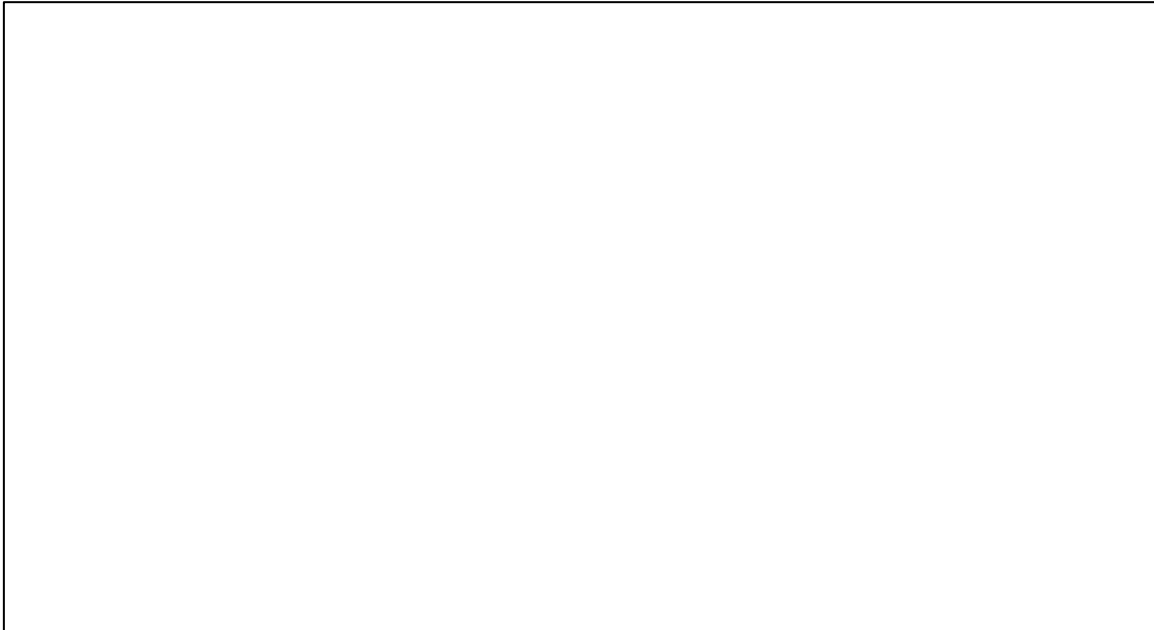


Figura 4.10. Concentraciones de 24 horas de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.11 se presentan las concentraciones horarias de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio horarias no excedieron el valor de los ECA nacional para NO₂ (200 µg/m³ en 1 hora).

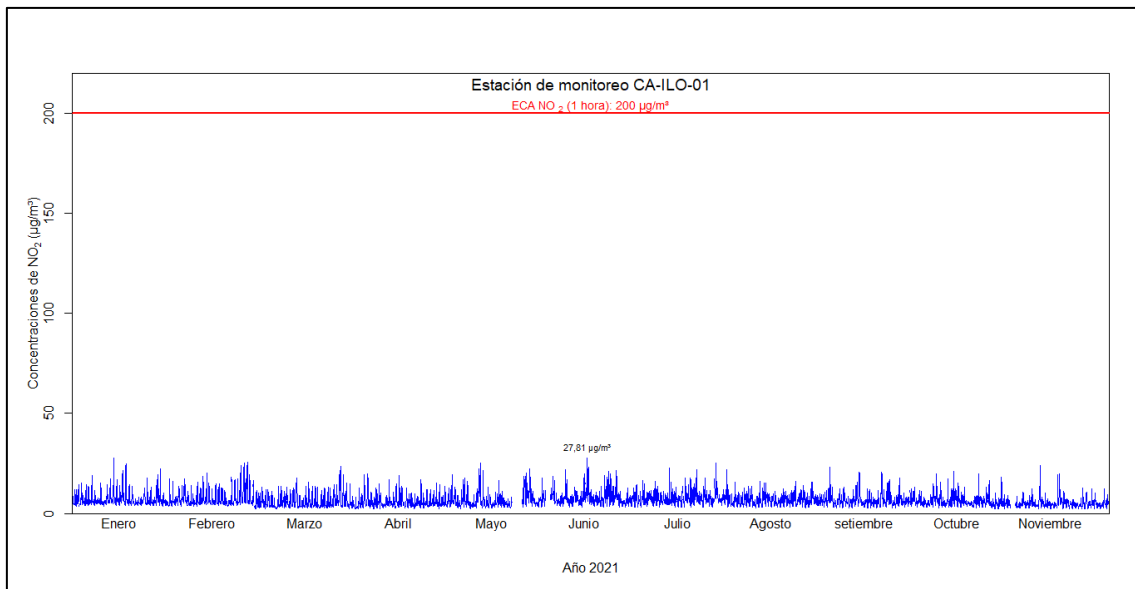


Figura 4.11. Concentraciones de horarias de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.12 se presentan las concentraciones móviles de 3 horas de SO₂ correspondiente a la estación de monitoreo CA-ILO-01 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones de promedio móvil de 3 horas no excedieron el estado de cuidado para SO₂ (500 µg/m³) según el Decreto Supremo N.º 009-2003-SA.

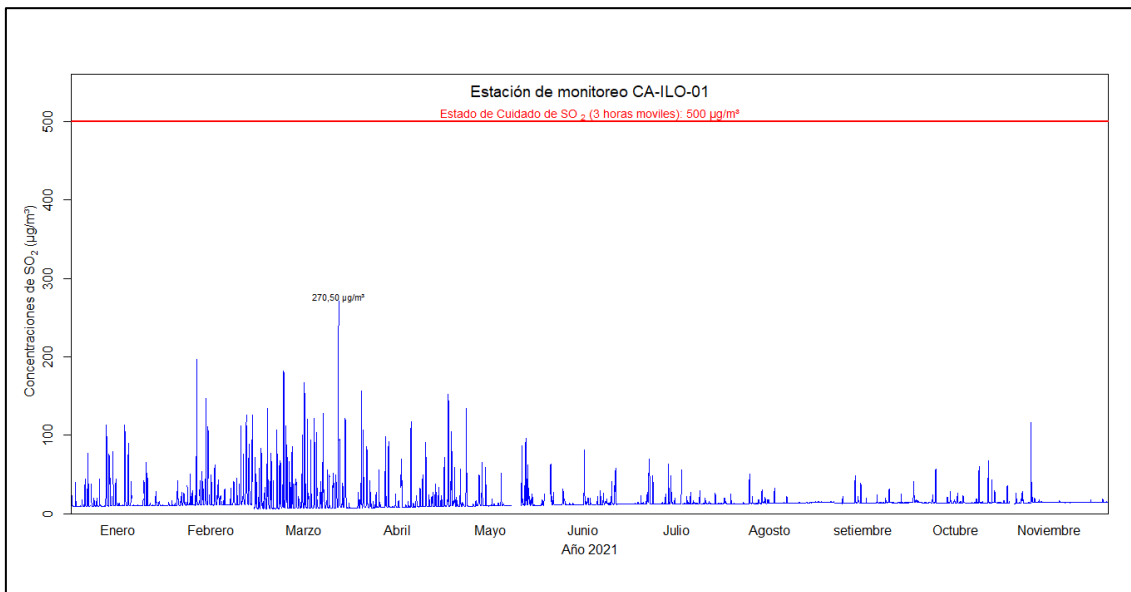


Figura 4.12. Concentraciones de promedio móvil de 3 horas móviles de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.13 y la Figura 4.14 se presentan los diagramas de cajas horario y promedio móvil de 8 horas respectivamente, de las concentraciones de CO correspondiente a la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre del 2021. Además, se observa que todas las concentraciones no excedieron el ECA para CO (30 000 µg/m³ en 1 hora y 10 000 µg/m³ en 8 horas móviles).

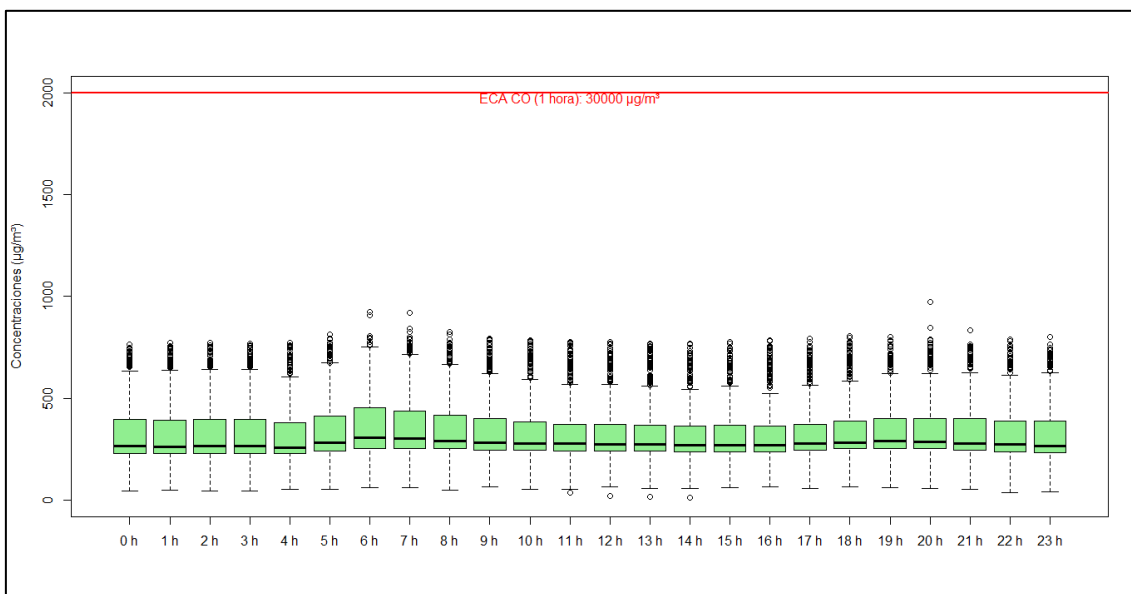


Figura 4.13. Concentraciones horarias de CO en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

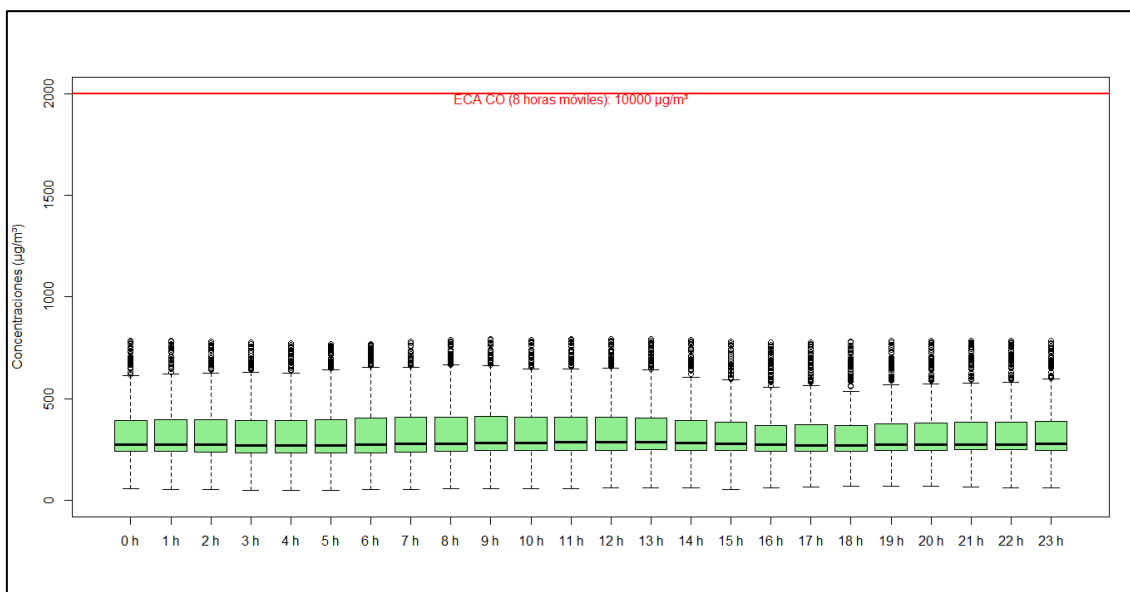


Figura 4.14. Concentraciones de promedio móvil de 8 horas de CO en la estación de monitoreo CA-ILO-01, de enero a noviembre 2021

En la Tabla 4.2 se presentan las concentraciones de metales contenidos en el material particulado PM_{10} de las estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03, de los meses agosto (del 16 al 20), setiembre (del 21 al 25) y noviembre (del 15 al 19) de 2021. Los monitoreos se realizaron con el equipo manual activo de alto volumen HiVol. Además, se observa que todos los promedios aritméticos mensuales de las concentraciones no excedieron los ECA para aire de plomo (Pb) $1,5 \mu g/m^3$ mensual.

En el caso de los valores guía para las concentraciones de los metales que no cuentan con ECA nacional se usaron los Ambient Air Quality Criteria o AAQC de Ontario-Canadá, usándose en todos los casos los valores criterio para promedios de 24 horas. Cabe mencionar que ninguno supera los valores guía de la referencia mencionada.

Solo en el caso del sodio, calcio y magnesio los niveles de concentración son más altos respecto de los demás metales analizados. Siendo los rangos observados para el sodio entre $2,3223$ y $3,5621 \mu g/m^3$, para el calcio de $0,2363$ y $0,5935 \mu g/m^3$ y para el magnesio los niveles fluctúan entre $0,3233$ y $0,3992 \mu g/m^3$.

Tabla 4.2. Concentración de metales registrados en la estación de monitoreo CA-ILO-01 en los meses de agosto, setiembre y noviembre de 2021

CONCENTRACIÓN DE METALES						
Metal medido en PM_{10}		Unidad	CA-ILO-01			
			Agosto	Setiembre	Noviembre	AAQC-Ontario 24 horas
Aluminio	Al	$\mu g/m^3$	0,0770	0,0202	0,1168	-
Antimonio	Sb	$\mu g/m^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	25
Arsénico	As	$\mu g/m^3$	0,0018	<L.C.	<L.C.	0,3
Bario	Ba	$\mu g/m^3$	0,0024	0,0015	0,0028	120
Berilio	Be	$\mu g/m^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,01
Bismuto	Bi	$\mu g/m^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Boro	B	$\mu g/m^3$	0,0021	0,0023	0,0023	120
Cadmio	Cd	$\mu g/m^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,025
Calcio	Ca	$\mu g/m^3$	0,2363	0,3260	0,5935	-



CONCENTRACIÓN DE METALES						
Metal medido en PM ₁₀	Unidad	CA-ILO-01				
		Agosto	Setiembre	Noviembre	AAQC-Ontario 24 horas	
Cobalto	Co	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,1
Cobre	Cu	µg/m ³	0,0085	0,0061	0,0074	50
Cromo	Cr	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,5
Estaño	Sn	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	10
Estroncio	Sr	µg/m ³	0,0022	0,0033	0,0041	120
Fósforo	P	µg/m ³	<L.C.	0,0073	0,0142	-
Hierro	Fe	µg/m ³	0,1139	0,0622	0,1782	4
Litio	Li	µg/m ³	<L.C.	0,0012	<L.C.	-
Magnesio	Mg	µg/m ³	0,3233	0,3845	0,3992	-
Manganeso	Mn	µg/m ³	0,0027	0,0022	0,0036	0,2
Mercurio	Hg	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Molibdeno	Mo	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	120
Níquel	Ni	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,1
Plata	Ag	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	1
Plomo ¹	Pb	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	1,5
Potasio	K	µg/m ³	0,0968	0,0980	0,1038	-
Selenio	Se	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	10
Silicio	Si	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Sodio	Na	µg/m ³	2,3470	3,5621	2,3223	-
Talio	Tl	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Titanio	Ti	µg/m ³	0,0023	0,0020	0,0042	120
Vanadio	V	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	2
Zinc	Zn	µg/m ³	0,0062	0,0079	0,0051	120

< L.C.: Debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio
Método de ensayo: EPA Compendium Method IO-3.5:1999; Determination Of Metals in
Ambient Particulate matter using inductively Coupled Plasma/mass spectroscopy
(ICP/MS)(Validado).

4.2. Estación CA-ILO-02

Las condiciones meteorológicas registradas en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021 son presentadas en la Tabla 4.3 y el detalle del registro de los parámetros en el Anexo 3.

En la Tabla 4.3 se observa las condiciones meteorológicas en el distrito de Ilo, entre enero y marzo (primer trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 19,1 y 30,6 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0 m/s a 10,0 m/s y con un máximo en precipitaciones de 1,2 mm, entre abril y junio (segundo trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 14,6 °C y 25,3 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0,1 m/s a 7,3 m/s y con un máximo en precipitaciones de 0,6 mm; de julio a setiembre (tercer trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 13,0 °C y 20,9 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0,3 m/s a 9,0 m/s y con una presencia de lluvias máxima de 0,6 mm; de octubre a noviembre la temperatura varió entre 13,9 °C a 22,6 °C, la velocidad del viento entre 0,0 m/s a 6,6 m/s y sin mostrar precipitaciones.

¹ En el caso del plomo se usa el Estándar de Calidad de Aire (ECA) Nacional, D.S.N° 003-2017 MINAM.

**Tabla 4.3.** Parámetros meteorológicos registrados en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021

Meses	Valores	Presión barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
Enero	Mínimo	1002,4	0,0	19,9	44,5	0,1
	Máximo	1009,6	1,2	26,8	83,4	7,6
	Promedio	1005,9	0,002	23,4	61,4	3,7
Febrero	Mínimo	993,2	0,0	19,2	41,1	0
	Máximo	1010,0	0,0	30,6	77,8	10,0
	Promedio	1005,5	0,0	24,1	59,8	3,6
Marzo	Mínimo	1001,8	0,0	19,1	52,6	0
	Máximo	1007,2	0,0	25,0	75,4	6,8
	Promedio	1005,1	0,0	22,2	62,9	3,1
Abril	Mínimo	1002,2	0,0	17,2	49,9	0,1
	Máximo	1011,9	0,0	25,3	85,5	7,1
	Promedio	1007,1	0,0	20,8	67,3	3,0
Mayo	Mínimo	1003,9	0,0	16,0	53,9	0,1
	Máximo	1012,5	0,6	24,1	85,4	7,3
	Promedio	1008,8	0,0	19,4	68,3	2,9
Junio	Mínimo	1004,6	0,0	14,6	54,5	0,2
	Máximo	1014,5	0,0	20,9	84,4	5,9
	Promedio	1010,2	0,0	17,4	69,8	2,6
Julio	Mínimo	1004,6	0,0	13,0	55,8	0,4
	Máximo	1014,3	0,6	20,9	87,9	5,7
	Promedio	1010,1	0,6	16,3	71,9	2,5
Agosto	Mínimo	1006,4	0,0	13,9	58,0	0,8
	Máximo	1014,3	0,6	19,0	85,5	9,0
	Promedio	1010,8	0,6	16,0	71,5	2,9
Setiembre	Mínimo	1006,6	0,0	13,1	56,4	0,3
	Máximo	1014,7	0,6	19,9	85,3	6,3
	Promedio	1010,5	0,6	15,8	72,8	2,6
Octubre	Mínimo	1005,5	0,0	13,9	52,7	0,1
	Máximo	1013,3	0,0	22,6	88,5	6,4
	Promedio	1009,5	0,0	17,0	71,5	2,8
Noviembre	Mínimo	1004,9	0,0	15,2	51,8	0,0
	Máximo	1012,2	0,0	22,5	77,3	6,6
	Promedio	1008,6	0,0	19,2	65,6	3,2

En la Figura 4.15 se grafican las rosas de viento mensuales en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021. Se observa que en los meses de enero y febrero hay una predominancia al suroeste (SW), de marzo a mayo hay una predominancia de Sursureste (SSE), en los meses de junio y julio hay predominancias Sur (S) y Este sureste (ESE), en los meses de agosto a octubre la predominancia se muestra Este sureste (ESE) y Sur (S) y en noviembre hay predominancia Sur (S) y Este (E). Cabe resaltar que, en la mencionada dirección se encuentra la zona de Miramar, teniendo como referencia la ubicación de la estación de monitoreo CA-ILO-02.

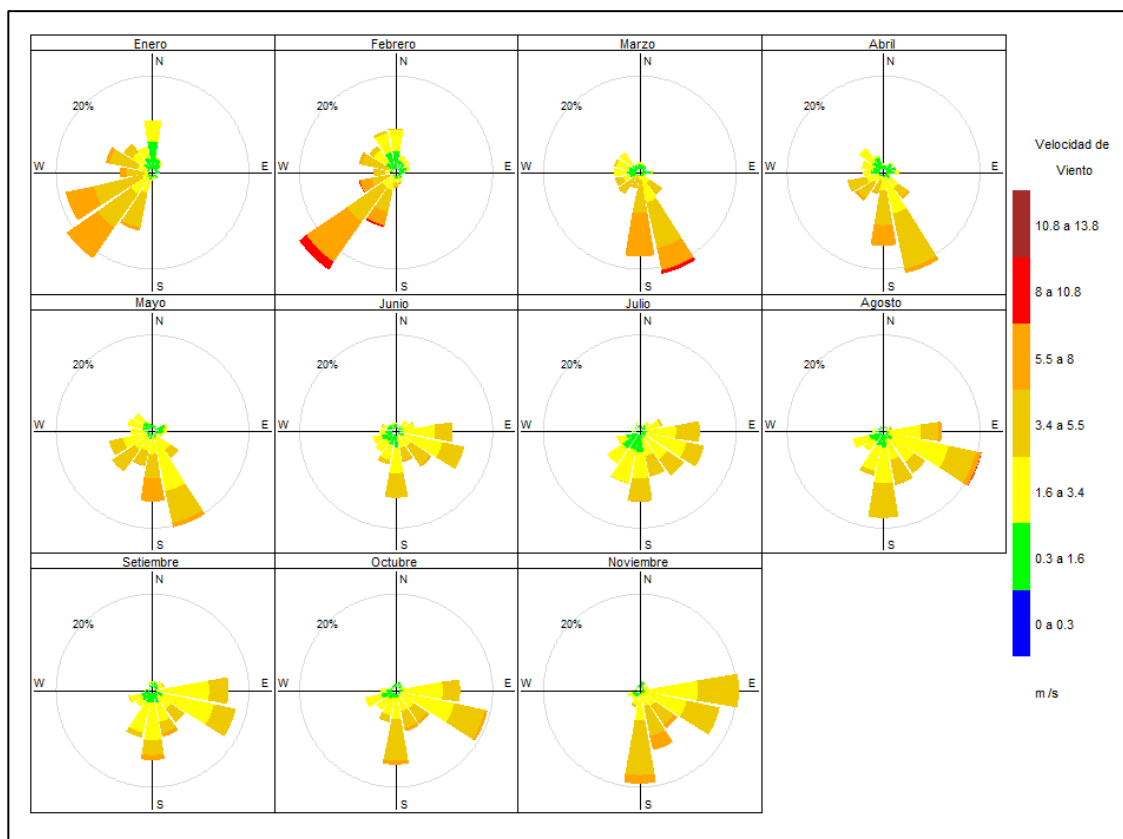
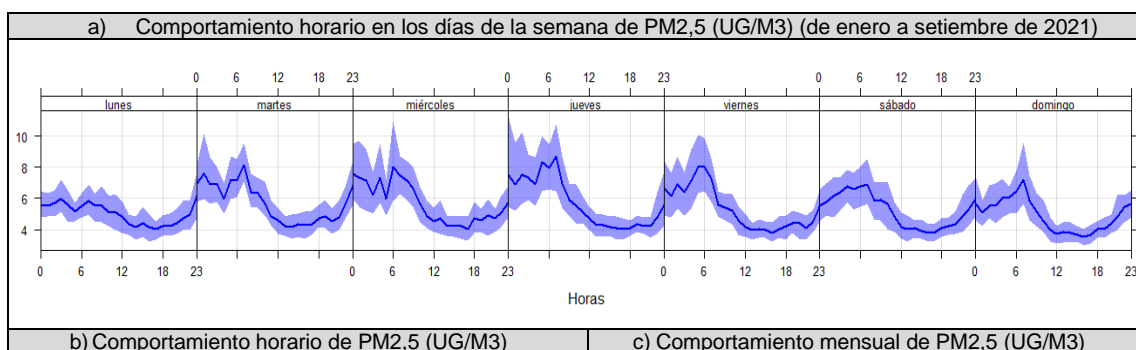


Figura 4.15. Rosas de viento mensuales en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.16 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.16a), horarias (Figura 4.16b) y mensuales (Figura 4.16c) en relación a las concentraciones de $PM_{2.5}$ desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron picos de concentraciones de $PM_{2.5}$. Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al ascenso entre febrero y agosto en los niveles de concentración.



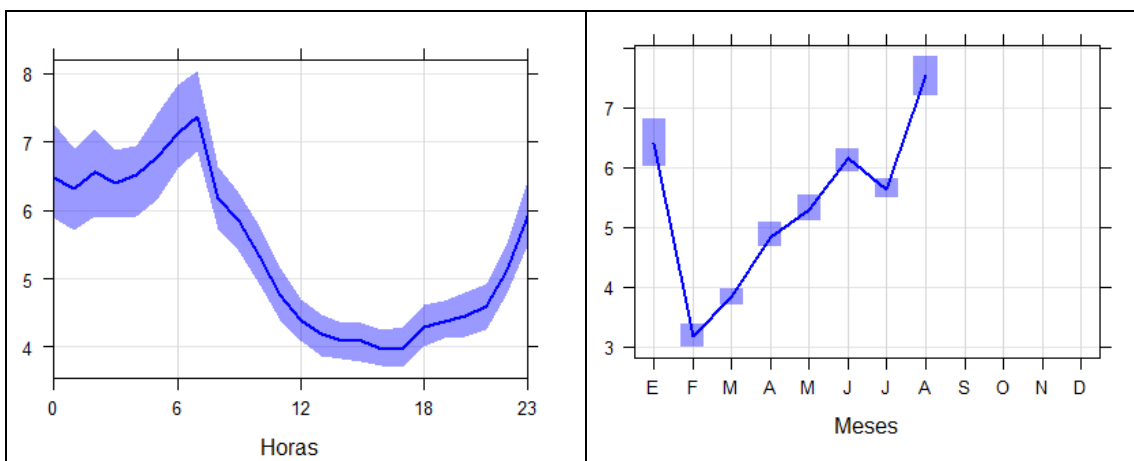


Figura 4.16. Concentraciones promedio horarias, semanales y mensuales de $PM_{2.5}$ en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021²

En la Figura 4.17 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.17d), horarias (Figura 4.17e) y mensuales (Figura 4.17f) en relación a las concentraciones de PM_{10} desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron las mayores concentraciones de PM_{10} , siendo estos picos de mayor intensidad los días del martes al viernes. Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al ascenso en los niveles de concentración entre marzo y agosto.

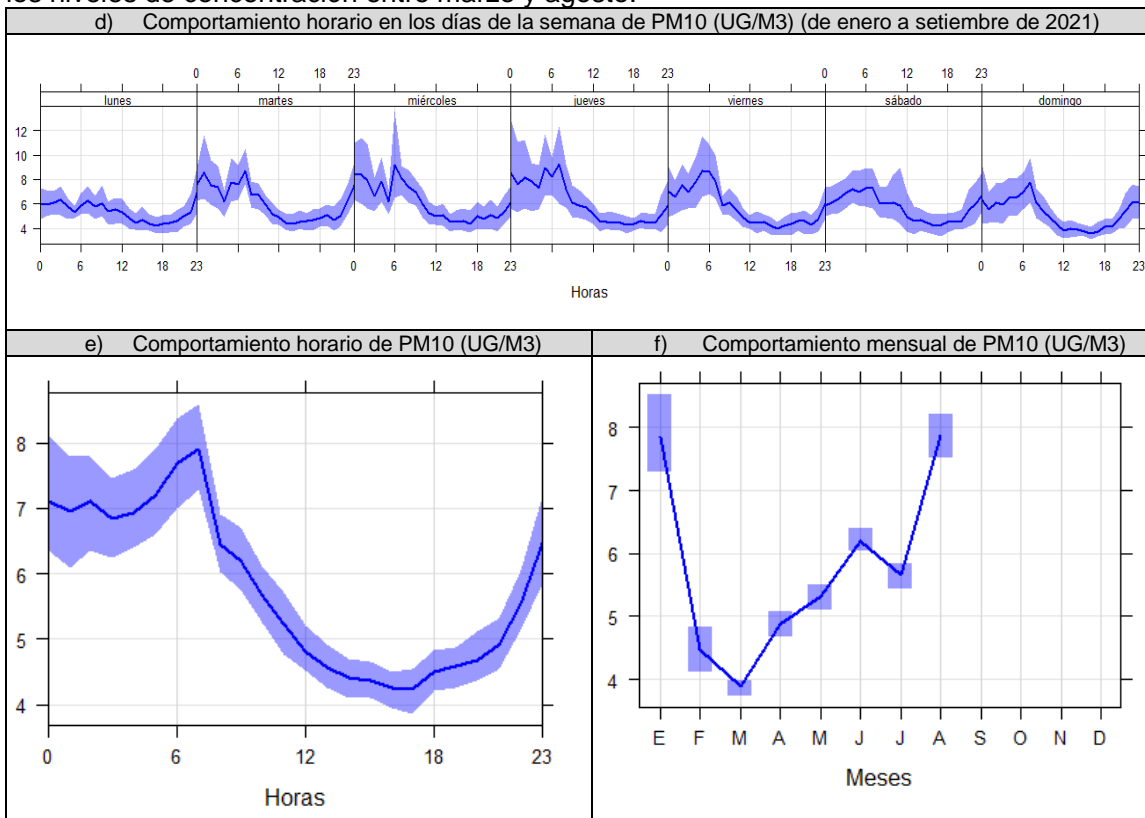


Figura 4.17. Concentraciones promedio horarias, semanales y mensuales de PM_{10} en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021

² La carencia de data de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de setiembre, octubre y noviembre se debe a que el equipo se encuentra en mantenimiento correctivo.



En la Figura 4.18 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.18g), horarias (Figura 4.18h) y mensuales (Figura 4.18i) en relación a las concentraciones de SO₂ desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron las mayores concentraciones de SO₂. Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al descenso en los niveles de concentración, desde el mes de marzo.

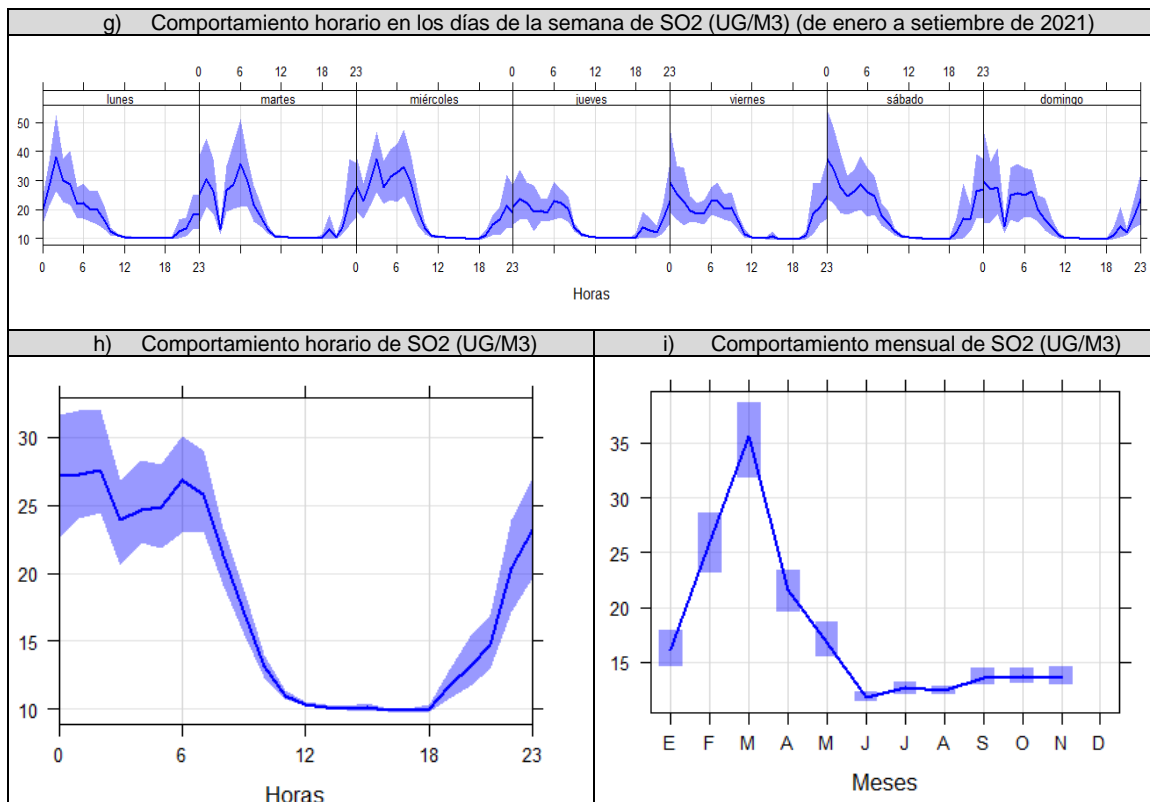
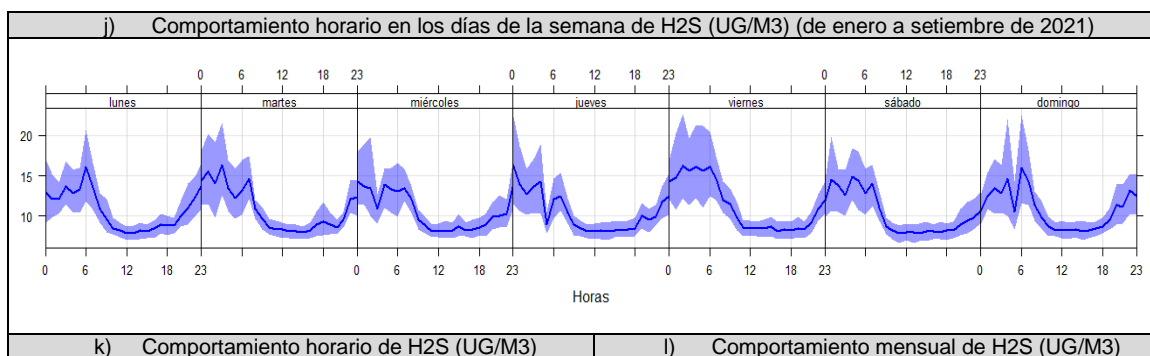


Figura 4.18. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.19 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.19j), horarias (Figura 4.19k) y mensuales (Figura 4.19l) en relación a las concentraciones de H₂S desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron las mayores concentraciones de H₂S.



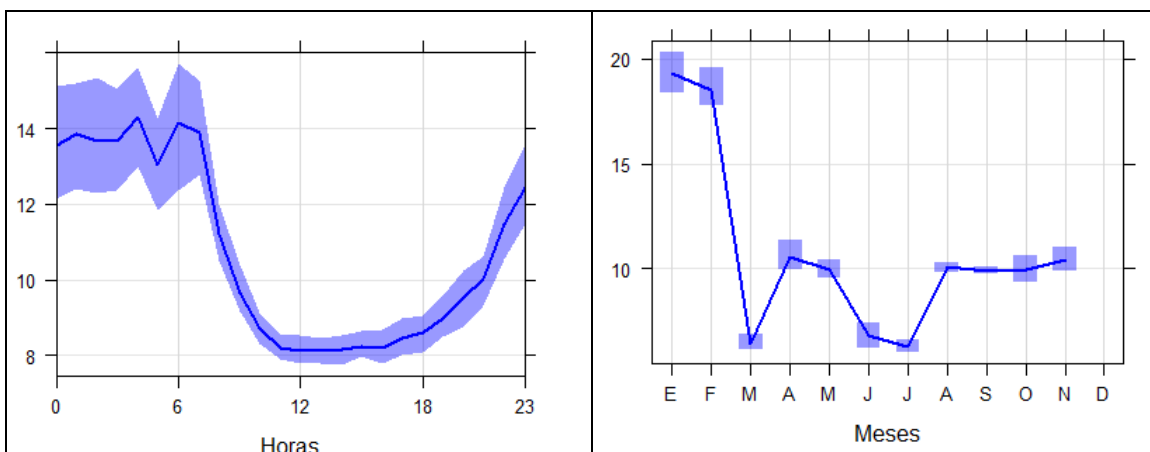


Figura 4.19. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.20 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por días de semanas (Figura 4.20m), horarias (Figura 4.20n) y mensuales (Figura 4.20o) en relación a las concentraciones de NO₂ desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am y las 6:00 pm, hay picos de concentración de NO₂. Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al ascenso en los niveles de concentración, entre enero y junio.

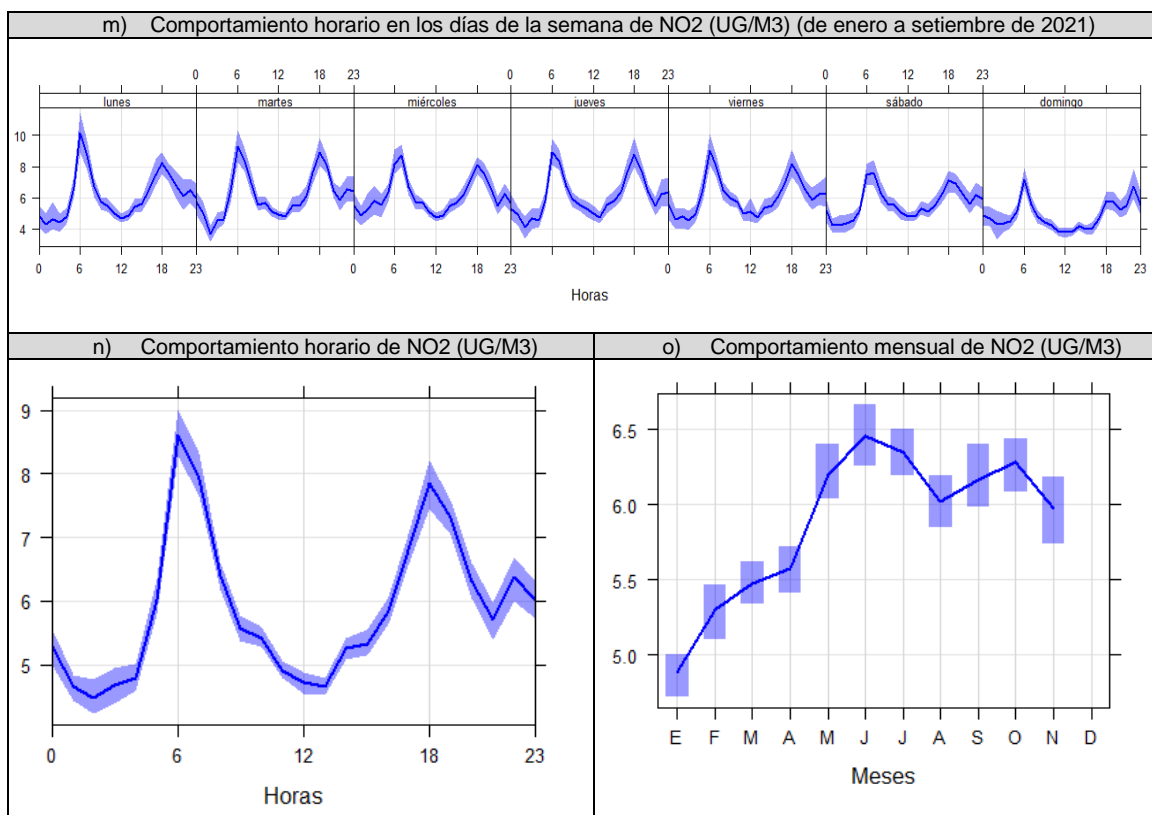


Figura 4.20. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021



En la Figura 4.21 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de PM_{10} en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para PM_{10} ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas).

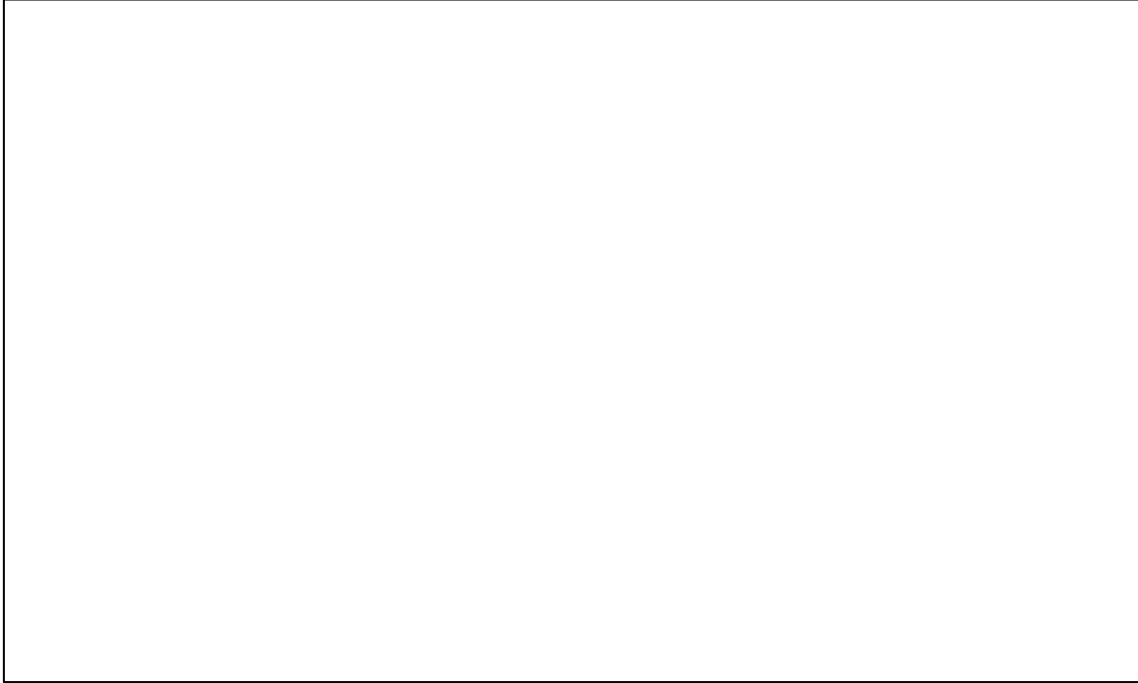


Figura 4.21. Concentraciones de 24 horas de PM_{10} en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021³

En la Figura 4.22 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de $PM_{2,5}$ en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para $PM_{2,5}$ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas).

³ La carencia de data de PM_{10} y $PM_{2,5}$ de setiembre, octubre y noviembre se debe a que el equipo se encuentra en mantenimiento correctivo.



Figura 4.22. Concentraciones de 24 horas de $PM_{2,5}$ en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.23 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de SO_2 en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para SO_2 ($250 \mu g/m^3$ en 24 horas).

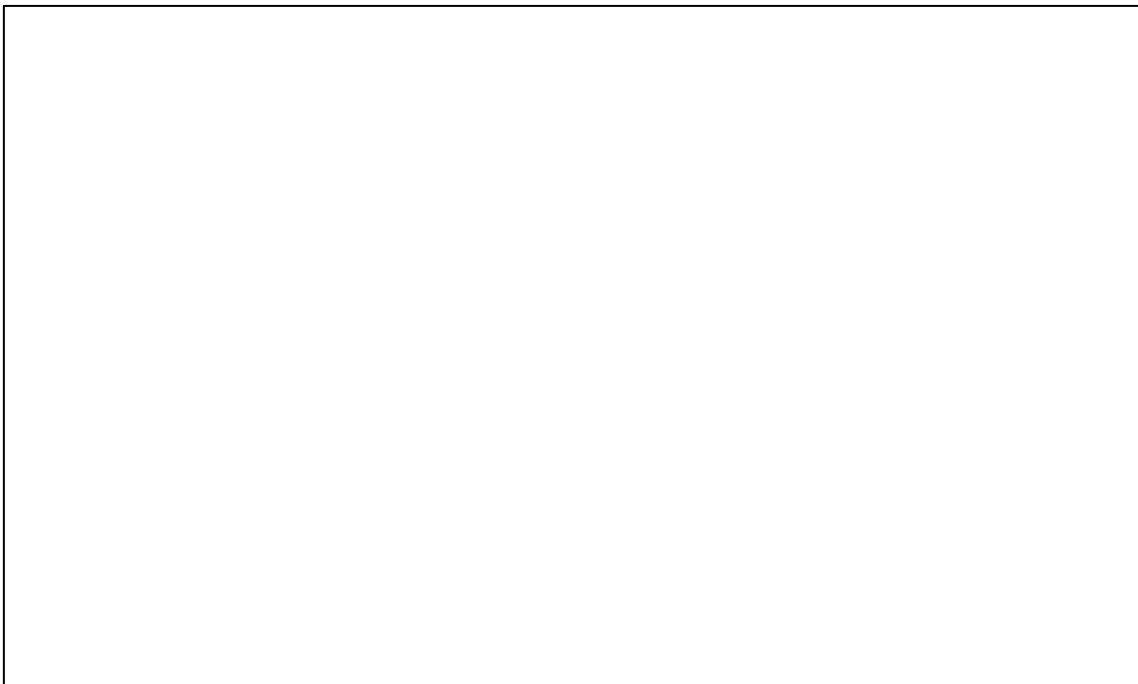


Figura 4.23. Concentraciones de 24 horas de SO_2 en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021



En la Figura 4.24 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para H₂S (150 µg/m³ en 24 horas).

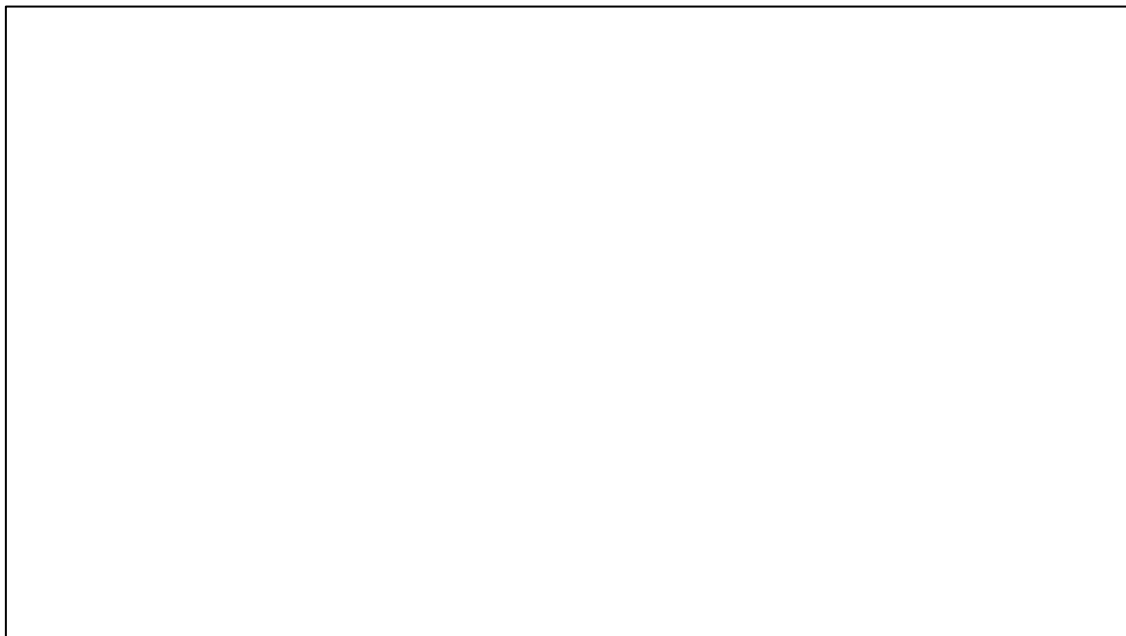


Figura 4.24. Concentraciones de 24 horas de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.25 se presentan las concentraciones horarias de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio horarias no excedieron el valor de los ECA nacional para NO₂ (200 µg/m³ en 1 hora).

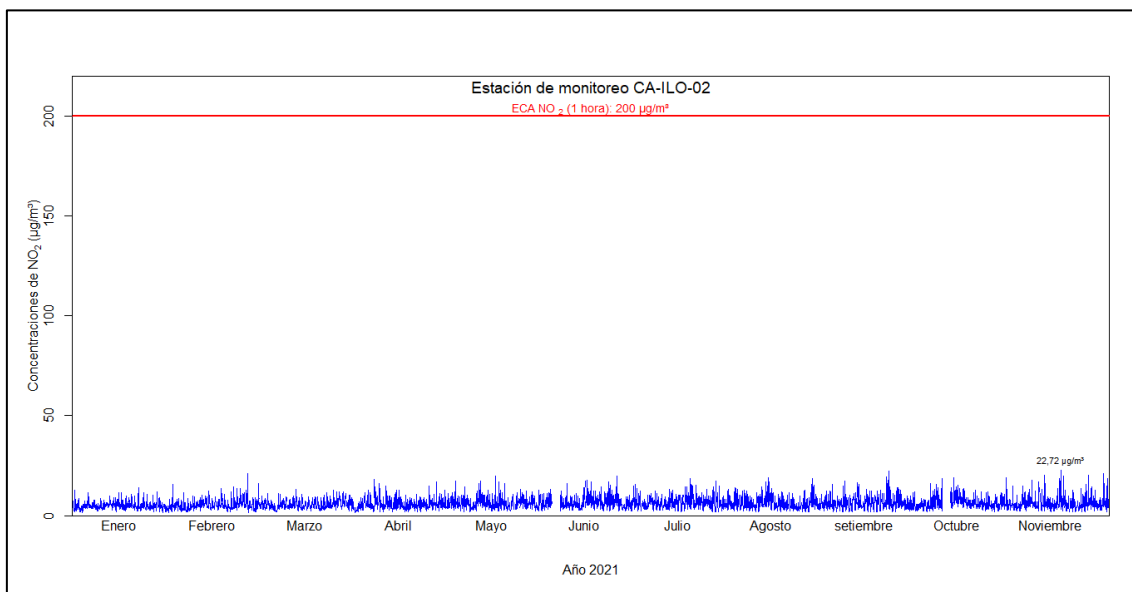


Figura 4.25. Concentraciones de horarias de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.26 se presentan las concentraciones móviles de 3 horas de SO₂ correspondiente a la estación de monitoreo CA-ILO-02 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones de promedio móvil de 3 horas no excedieron el estado de cuidado para SO₂ (500 µg/m³) según el Decreto Supremo N.º 009-2003-SA.

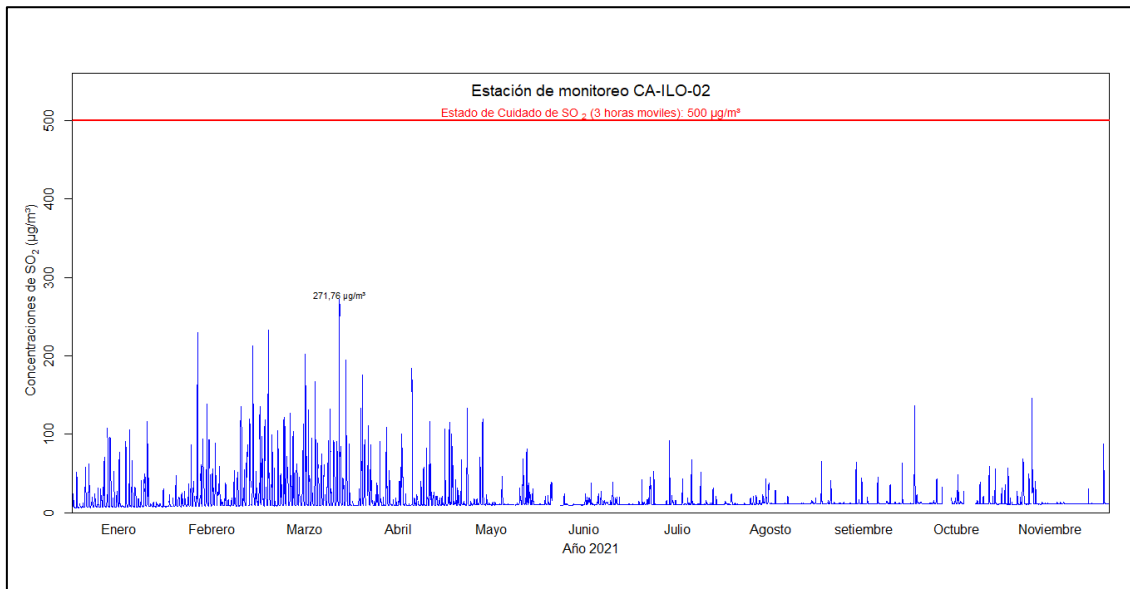


Figura 4.26. Concentraciones de promedio móvil de 3 horas móviles de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.27 y la Figura 4.28 se presentan los diagramas de cajas horario y promedio móvil de 8 horas respectivamente, de las concentraciones de CO correspondiente a la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre del 2021. Además, se observa que todas las concentraciones no excedieron el ECA para CO (30 000 µg/m³ en 1 hora y 10 000 µg/m³ en 8 horas móviles).

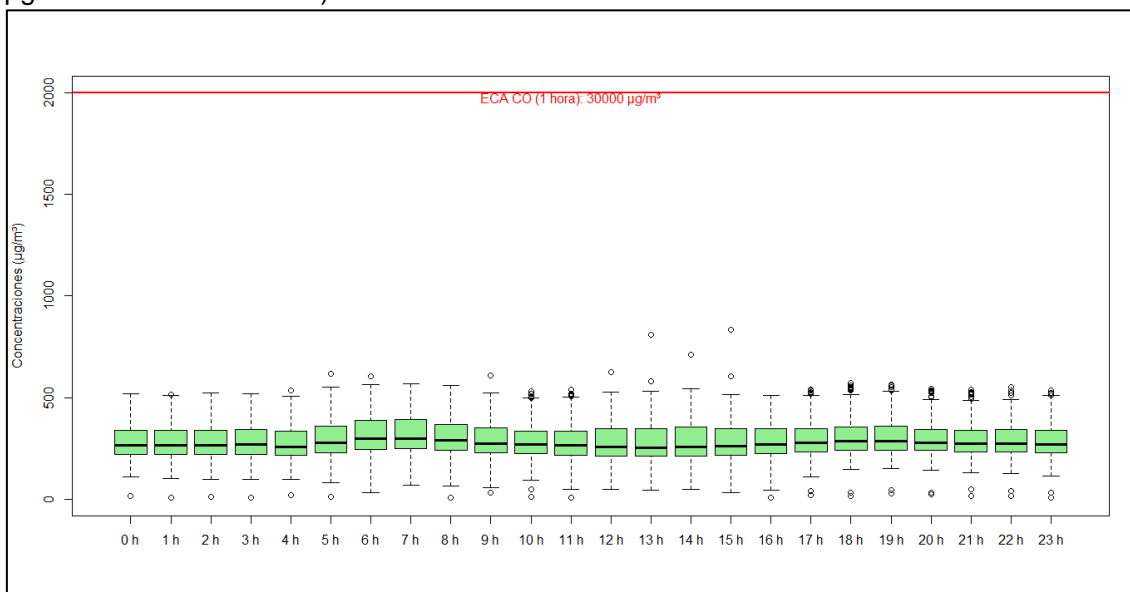


Figura 4.27. Concentraciones horarias de CO en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021

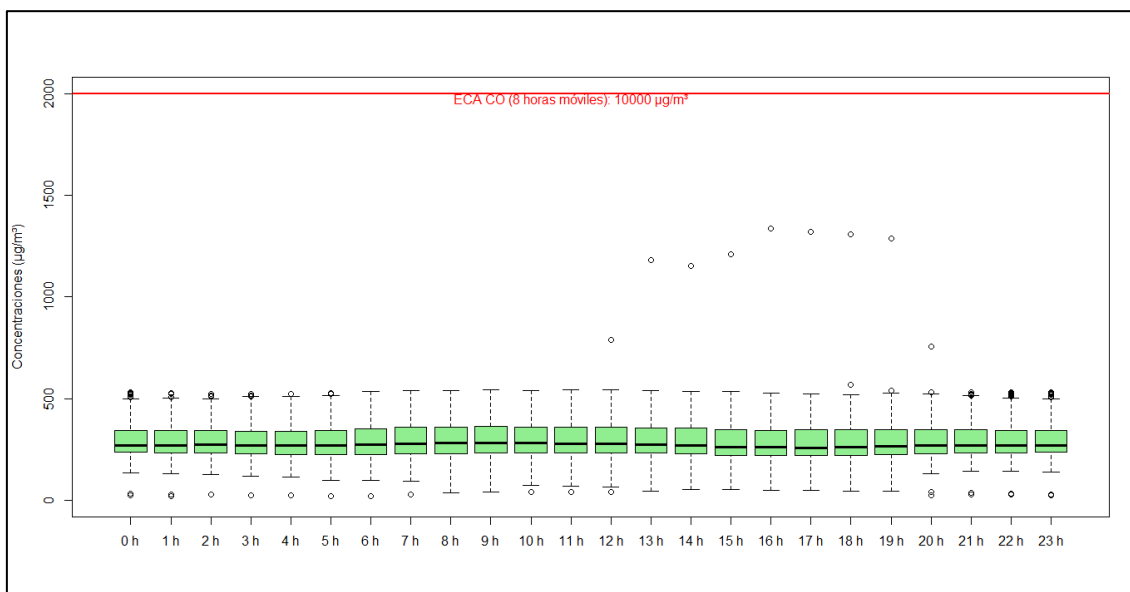


Figura 4.28. Concentraciones de promedio móvil de 8 horas de CO en la estación de monitoreo CA-ILO-02, de enero a noviembre 2021

En la Tabla 4.4 se presentan las concentraciones de metales contenidos en el material particulado PM_{10} de las estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03, de los meses agosto (del 16 al 20), setiembre (del 21 al 25) y noviembre (del 15 al 19) de 2021. El monitoreo se realizó con el equipo manual activo de alto volumen HiVol. Además, se observa que todos los promedios aritméticos mensuales de las concentraciones no excedieron el ECA nacional para Pb ($1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mensual).

En el caso de los valores guía para las concentraciones de los metales que no cuentan con ECA nacional se usaron los Ambient Air Quality Criteria o AAQC de Ontario-Canadá, usándose en todos los casos los valores criterio para promedios de 24 horas. Cabe mencionar que ninguno supera los valores guía de la referencia mencionada.

Solo en el caso del sodio, calcio y magnesio los niveles de concentración son más altos respecto de los demás metales analizados. Siendo los rangos observados para el sodio entre 7,9352 y 11,7455 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el calcio de 0,4083 y 0,6683 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el magnesio los niveles fluctúan entre 0,9788 y 1,4039 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 4.4. Concentración de metales registrados en la estación de monitoreo CA-ILO-02 en los meses de agosto, setiembre y noviembre de 2021

CONCENTRACIÓN DE METALES						
Metal medido en PM_{10}		Unidad	CA-ILO-02			
			Agosto	Setiembre	Noviembre	AAQC-Ontario 24 horas
Aluminio	Al	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0855	0,0245	0,1281	-
Antimonio	Sb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	25
Arsénico	As	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0026	<L.C.	<L.C.	0,3
Bario	Ba	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0023	0,0015	0,0031	120
Berilio	Be	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,01
Bismuto	Bi	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Boro	B	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0021	0,0023	<L.C.	120
Cadmio	Cd	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,025
Calcio	Ca	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,5004	0,4083	0,6683	-



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia

CONCENTRACIÓN DE METALES						
Metal medido en PM ₁₀		Unidad	CA-ILO-02			
			Agosto	Setiembre	Noviembre	AAQC-Ontario 24 horas
Cobalto	Co	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,1
Cobre	Cu	µg/m ³	0,0130	0,0144	0,0135	50
Cromo	Cr	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,5
Estaño	Sn	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	10
Estroncio	Sr	µg/m ³	0,0083	0,0069	0,0075	120
Fósforo	P	µg/m ³	0,0084	0,0073	0,0126	-
Hierro	Fe	µg/m ³	0,1306	0,0728	0,1890	4
Litio	Li	µg/m ³	<L.C.	0,0012	<L.C.	-
Magnesio	Mg	µg/m ³	1,4039	0,9788	1,0215	-
Manganeso	Mn	µg/m ³	0,0031	0,0023	0,0037	0,2
Mercurio	Hg	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Molibdeno	Mo	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	120
Níquel	Ni	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,1
Plata	Ag	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	1
Plomo ⁴	Pb	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	1,5
Potasio	K	µg/m ³	0,3288	0,2088	0,2304	-
Selenio	Se	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	10
Silicio	Si	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Sodio	Na	µg/m ³	11,7455	10,1997	7,9352	-
Talio	Tl	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Titanio	Ti	µg/m ³	0,0029	0,0022	0,0046	120
Vanadio	V	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	2
Zinc	Zn	µg/m ³	0,0090	0,0072	0,0050	120

< L.C.: Debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio

Método de ensayo: EPA Compendium Method IO-3.5:1999; Determination Of Metals in Ambient Particulate matter using inductively Coupled Plasma/mass spectroscopy (ICP/MS)(Validado).

4.3. Estación CA-ILO-03

Las condiciones meteorológicas registradas en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021 son presentadas en la Tabla 4.5 y el detalle del registro de los parámetros en el Anexo 3.

En la Tabla 4.5 se observa las condiciones meteorológicas en el distrito de Ilo, entre enero y marzo (primer trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 18,4 y 27,4 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0,1 m/s a 8,6 m/s y con un máximo en precipitaciones de 1,8 mm, entre abril y junio (segundo trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 13,6 °C y 23,2 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0,3 m/s a 7,6 m/s y con un máximo en precipitaciones de 0,6 mm; de julio a setiembre (tercer trimestre) la temperatura varió entre una mínima y máxima de 11,9 °C y 18,7 °C respectivamente, la velocidad del viento entre 0,4 m/s a 7,8 m/s y con una presencia de lluvias máxima de 1,8 mm; de octubre a noviembre la temperatura varió entre 13,0 °C a 20,9 °C, la velocidad del viento entre 0,7 m/s a 6,5 m/s y con precipitación máxima de 1,2 mm.

⁴ En el caso del Plomo se usa el Estándar de Calidad de Aire (ECA) Nacional, D.S.N° 003-2017 MINAM.

**Tabla 4.5.** Parámetros meteorológicos registrados en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021⁵

Meses	Valores	Presión barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
Enero	Mínimo	983,4	0,0	19,2	55,8	0,3
	Máximo	990,5	1,8	25,0	90,3	8,3
	Promedio	986,9	0,005	22,2	68,6	3,9
Febrero	Mínimo	983,2	0,0	19,2	44,8	0,1
	Máximo	990,5	0,0	26,8	77,9	8,4
	Promedio	986,8	0,0	22,6	64,2	4,2
Marzo	Mínimo	981,8	0,0	18,4	51,2	0,3
	Máximo	990,5	0,0	27,4	79,1	8,6
	Promedio	986,9	0,0	22,4	66,7	3,7
Abril	Mínimo	982,9	0,0	16,5	58,4	0,5
	Máximo	992,4	0,0	23,2	87,0	7,6
	Promedio	987,8	0,0	19,9	71,9	3,5
Mayo	Mínimo	984,3	0,0	15,1	61,8	0,3
	Máximo	993,2	0,6	21,7	88,7	7,5
	Promedio	989,4	0,0	18,4	73,4	3,0
Junio	Mínimo	984,8	0,0	13,6	63,8	----
	Máximo	995,2	0,6	18,8	88,8	----
	Promedio	990,6	0,0	16,2	75,7	----
Julio	Mínimo	984,8	0,0	12,7	64,7	0,4
	Máximo	994,6	1,2	18,7	94,7	6,2
	Promedio	990,3	0,8	15,0	79,6	2,6
Agosto	Mínimo	986,7	0,0	12,5	68,0	0,9
	Máximo	994,8	1,8	17,1	96,7	7,8
	Promedio	991,4	0,7	14,7	80,3	2,9
Setiembre	Mínimo	987,2	0,0	11,9	66,7	0,4
	Máximo	995,3	1,2	17,5	95,8	5,7
	Promedio	991,1	0,01	14,5	82,6	2,8
Octubre	Mínimo	986,4	0,0	13,0	64,3	0,8
	Máximo	993,9	1,2	19,2	94,4	6,4
	Promedio	990,2	0,0	15,8	81,2	3,2
Noviembre	Mínimo	986,0	0,0	14,4	60,7	0,7
	Máximo	992,7	0,0	20,9	85,2	6,5
	Promedio	989,4	0,0	18,0	75,3	3,6

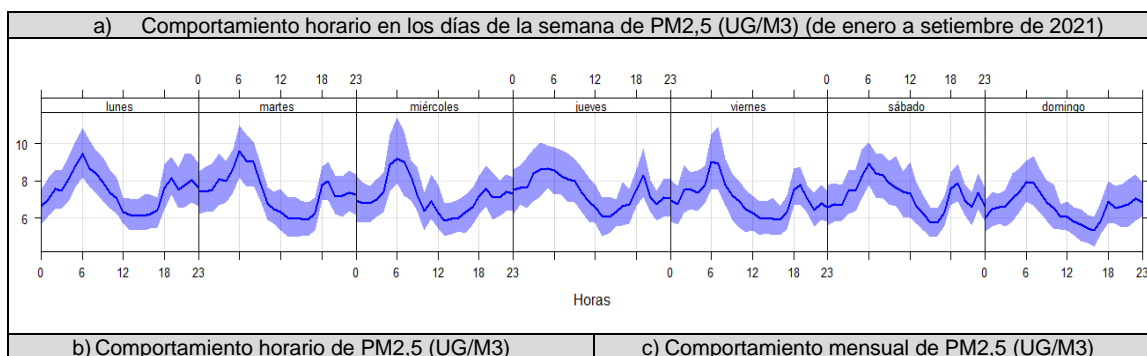
En la Figura 4.29 se grafican las rosas de viento mensuales en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021. Se observa que en todos los meses hubo predominancia Sur (S), excepto en enero y febrero cuya predominancia se registró desde el Este Noreste (ENE). Es preciso mencionar que, en la referida dirección se encuentra el terminal terrestre de Ilo, teniendo como referencia la ubicación de la estación de monitoreo CA-ILO-03.

⁵ En el mes de junio no se muestran valores de velocidad de viento por problemas técnicos con el sensor.



Figura 4.29. Rosas de viento mensuales en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre de 2021⁶

En la Figura 4.30 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.30a), horarias (Figura 4.30b) y mensuales (Figura 4.30c) en relación a las concentraciones de PM_{2,5} desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron picos de concentraciones de PM_{2,5}. Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al descenso en los niveles de concentración a partir de julio.



⁶ No se muestra la rosa de vientos del mes de junio por no haber data suficiente para validar el mes debido a problemas técnicos con el sensor.

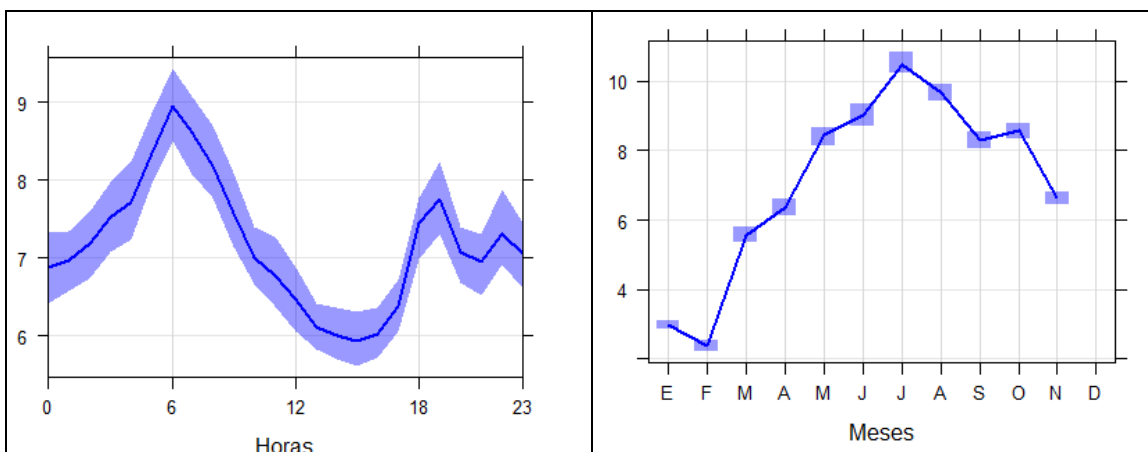


Figura 4.30. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de $PM_{2.5}$ en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.31 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.31d), horarias (Figura 4.31e) y mensuales (Figura 4.31f) en relación a las concentraciones de PM_{10} desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron las mayores concentraciones de PM_{10} . Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al descenso en los niveles de concentración a partir de julio.

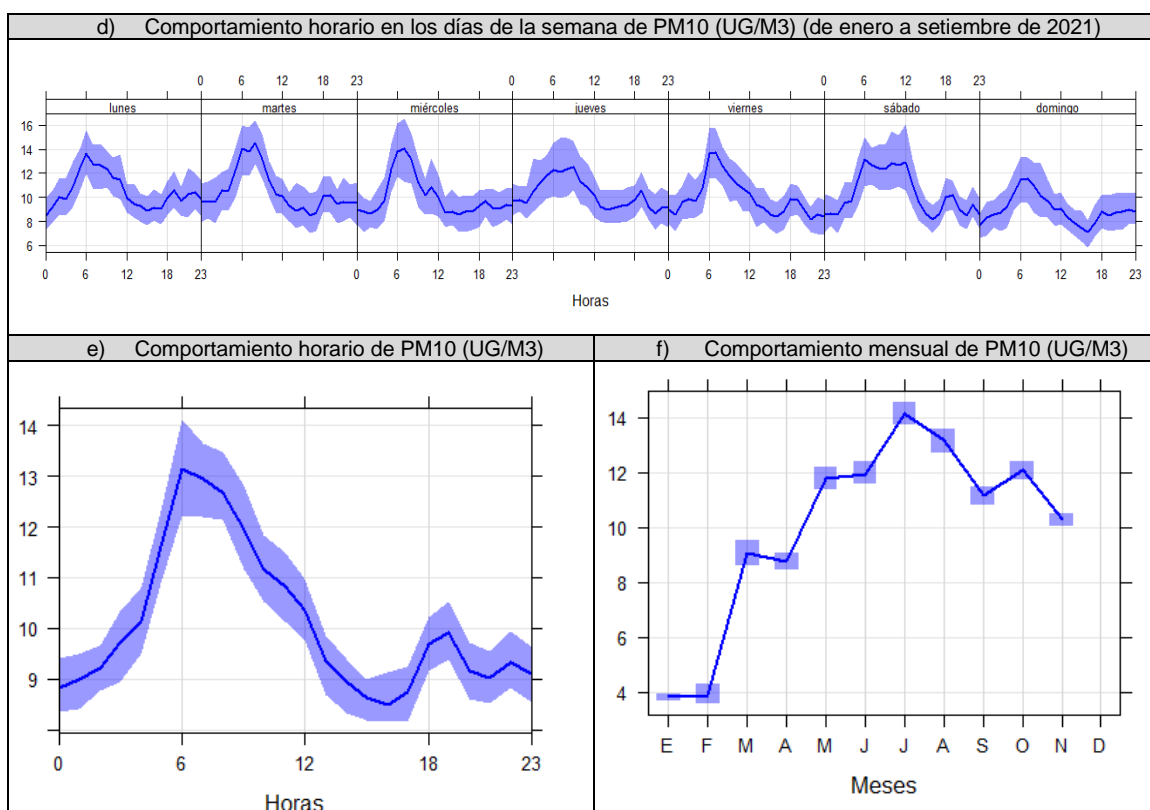


Figura 4.31. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de PM_{10} en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.32 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.32g), horarias (Figura 4.32h) y mensuales (Figura 4.32i) en relación a las concentraciones de SO_2 desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por



días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron picos de concentraciones de SO₂. Respecto a los valores mensuales se observa un descenso a partir del mes de febrero.

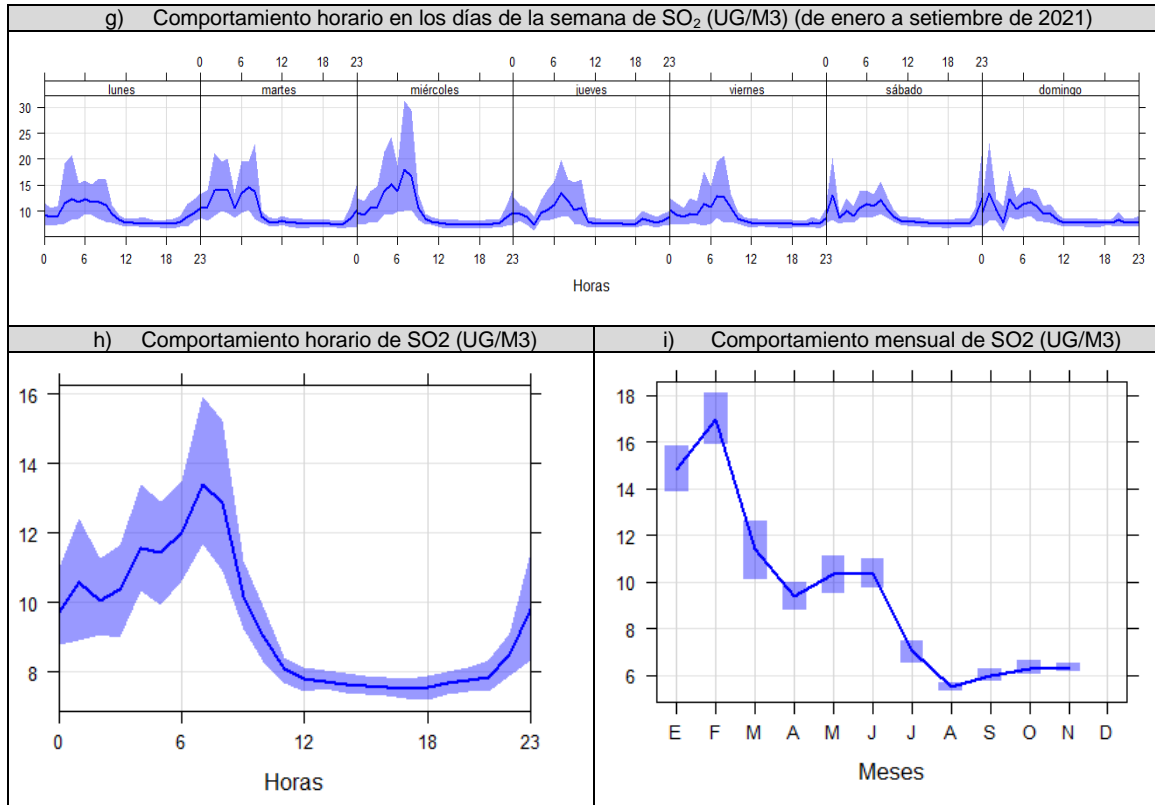
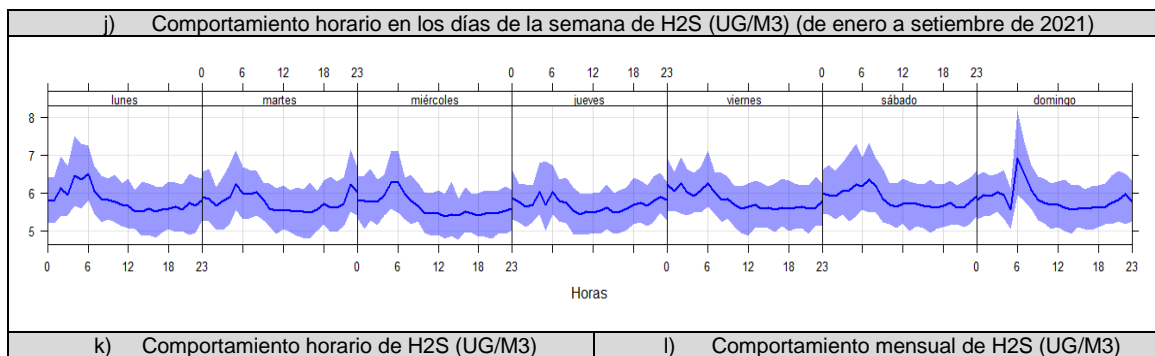


Figura 4.32. Concentraciones promedio horarias, semanales y mensuales de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.33 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.33j), horarias (Figura 4.33k) y mensuales (Figura 4.33l) en relación a las concentraciones de H₂S desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am, es donde se registraron las mayores concentraciones de H₂S. Mientras en el comportamiento mensual no se observa una tendencia clara al incremento o descenso en los niveles de concentración.



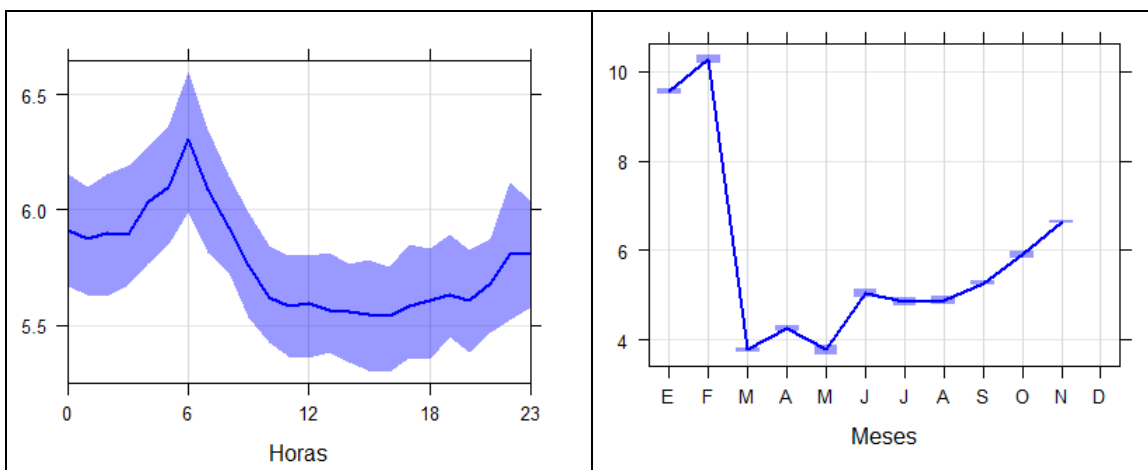


Figura 4.33. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.34 se grafican las medias de las concentraciones horarias y por día de semanas (Figura 4.34m), horarias (Figura 4.34n) y mensuales (Figura 4.34o) en relación a las concentraciones de NO₂ desde enero a noviembre de 2021. En el comportamiento horario por días de la semana se observa que alrededor de las 6:00 am y las 6:00 pm, hay picos de concentración de NO₂. Mientras en el comportamiento mensual se observa una tendencia al descenso en los niveles de concentración a partir de mayo.

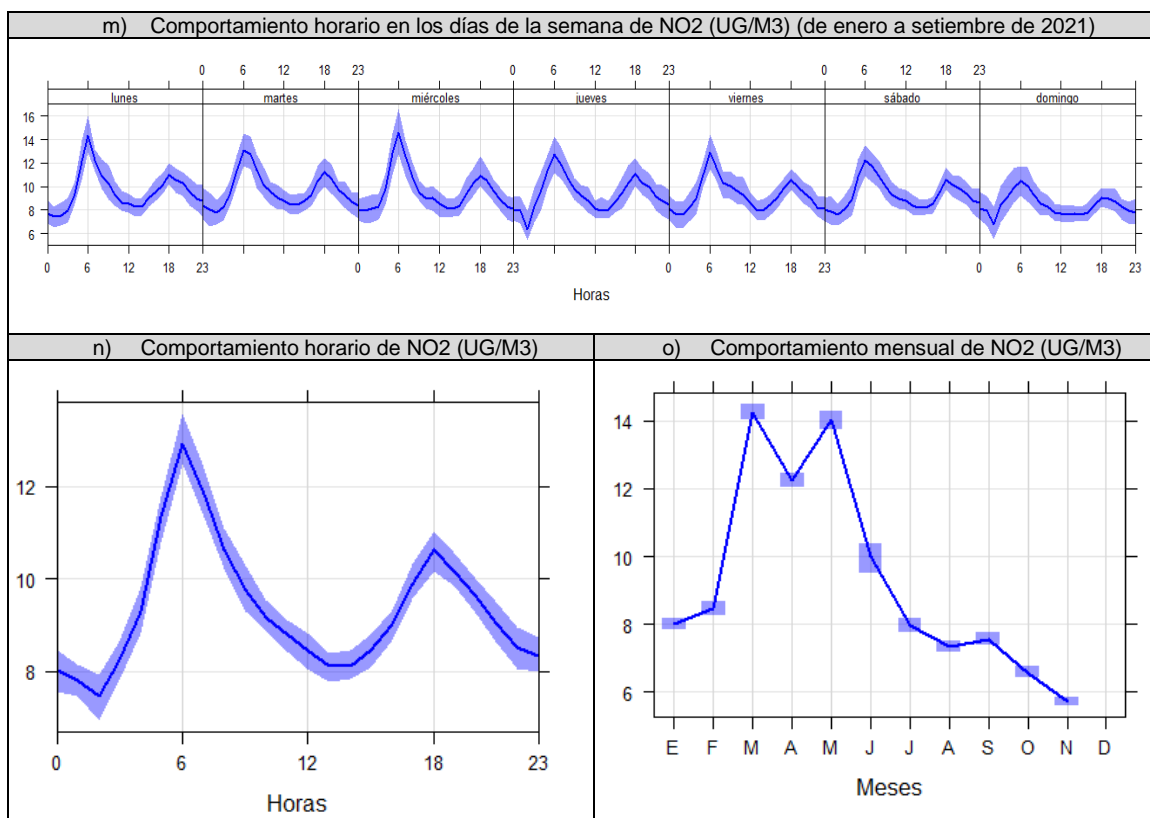


Figura 4.34. Concentraciones promedio horarios, semanales y mensuales de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021

En la Figura 4.35 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de PM₁₀ en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que



todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA para aire de PM₁₀ (100 µg/m³ en 24 horas).



Figura 4.35. Concentraciones de 24 horas de PM₁₀ en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.36 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de PM_{2,5} en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para PM_{2,5} (50 µg/m³ en 24 horas).

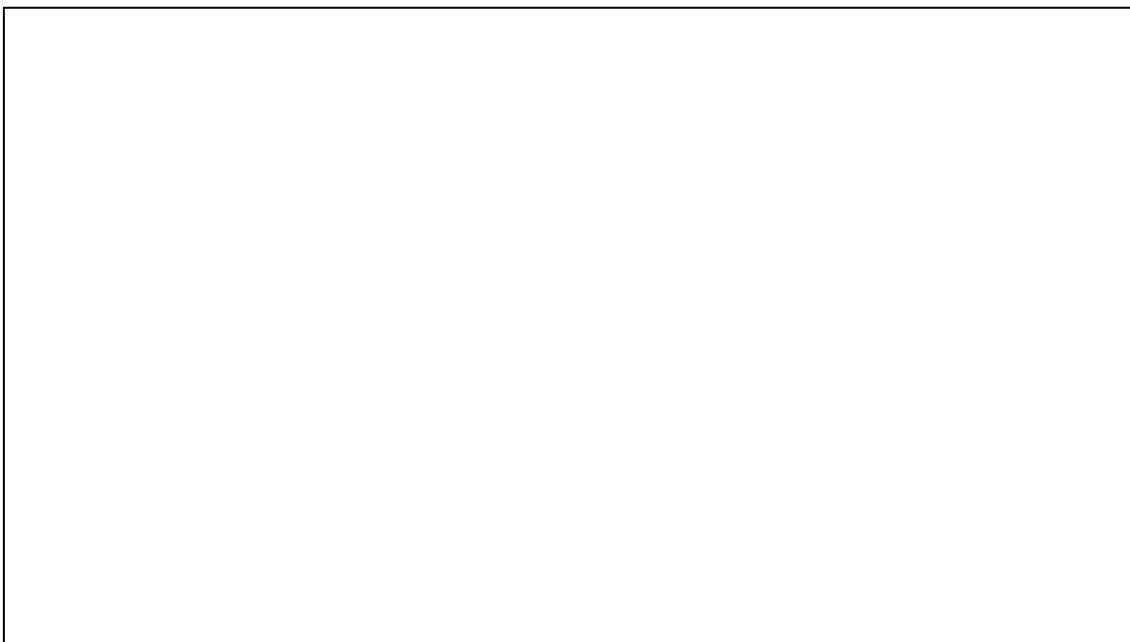


Figura 4.36. Concentraciones de 24 horas de PM_{2,5} en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021



En la Figura 4.37 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para SO₂ (250 µg/m³ en 24 horas).

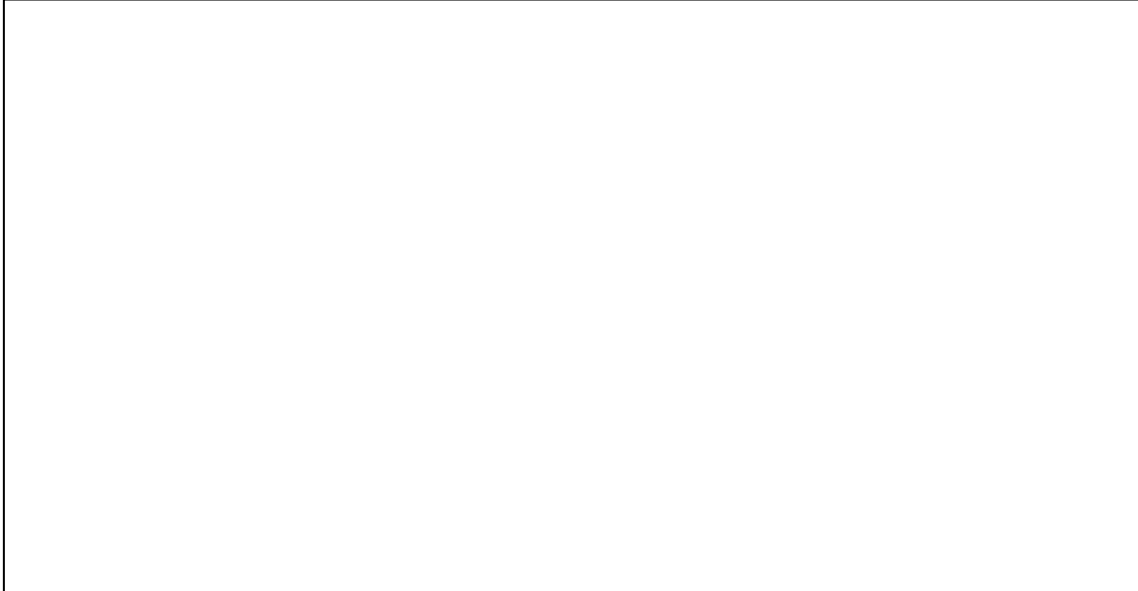


Figura 4.37. Concentraciones de 24 horas de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.38 se presentan las concentraciones promedio de 24 horas de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio de 24 horas no excedieron el valor de los ECA nacional para H₂S (150 µg/m³ en 24 horas).

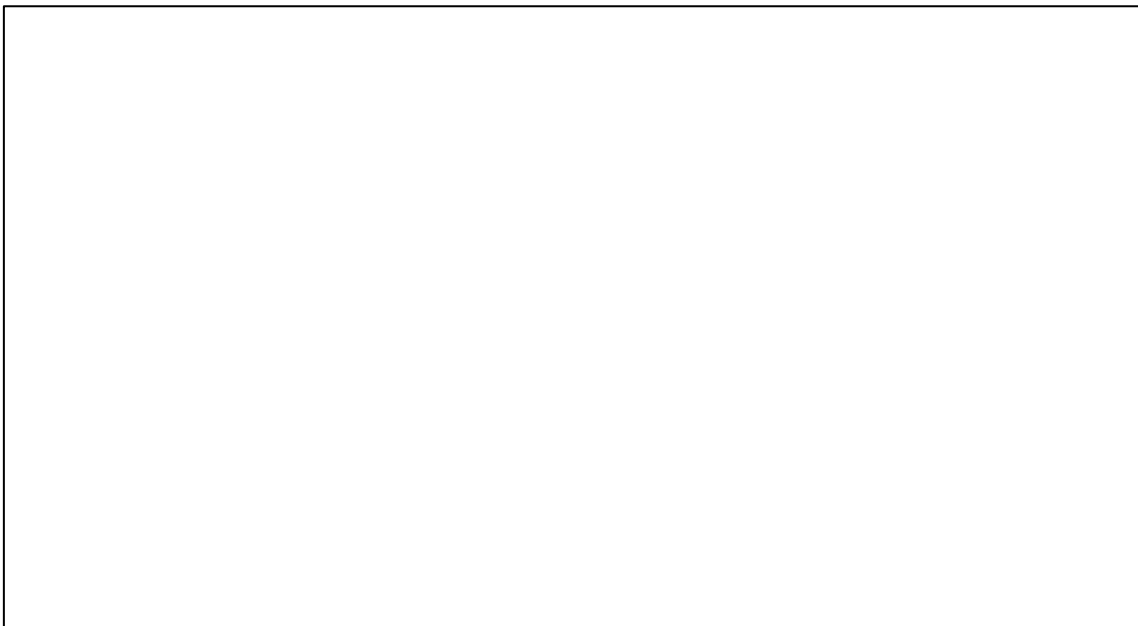


Figura 4.38. Concentraciones de 24 horas de H₂S en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021



En la Figura 4.39 se presentan las concentraciones horarias de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones promedio horarias no excedieron el valor de los ECA nacional para NO₂ (200 µg/m³ en 1 hora).

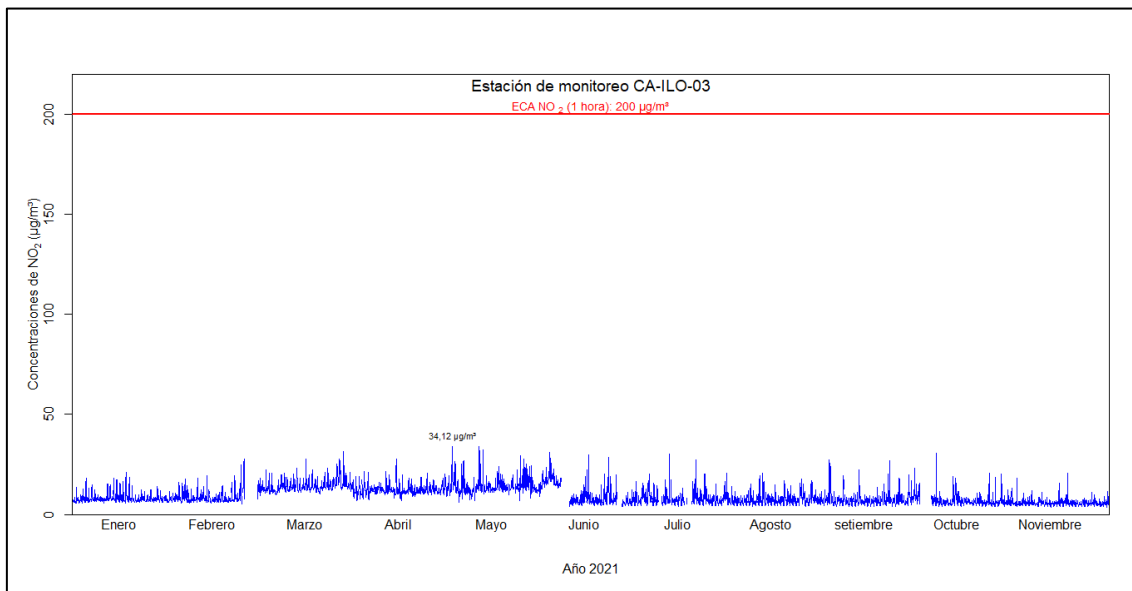


Figura 4.39. Concentraciones de horarias de NO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.40 se presentan las concentraciones móviles de 3 horas de SO₂ correspondiente a la estación de monitoreo CA-ILO-03 de enero a noviembre de 2021. Además, se observa que todas las concentraciones de promedio móvil de 3 horas no excedieron el estado de cuidado para SO₂ (500 µg/m³) según el Decreto Supremo N.º 009-2003-SA.

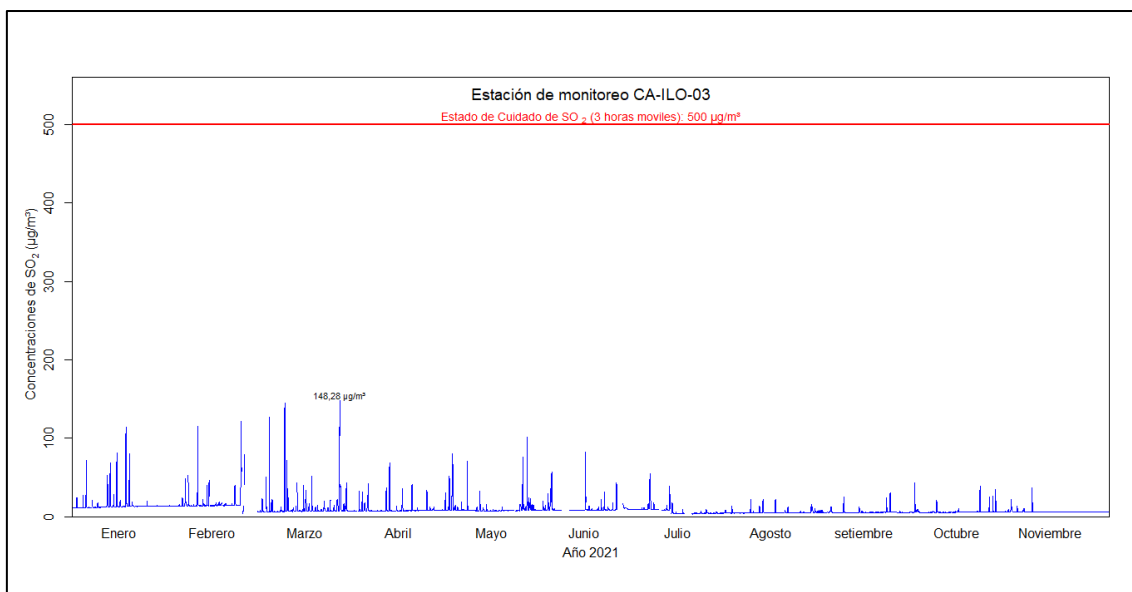


Figura 4.40. Concentraciones de promedio móvil de 3 horas móviles de SO₂ en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021

En la Figura 4.41 y la Figura 4.42 se presentan los diagramas de cajas horario y promedio móvil de 8 horas respectivamente, de las concentraciones de CO correspondiente a la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre del 2021. Además, se observa que todas las concentraciones no excedieron el ECA para CO ($30\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1 hora y $10\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 8 horas móviles).

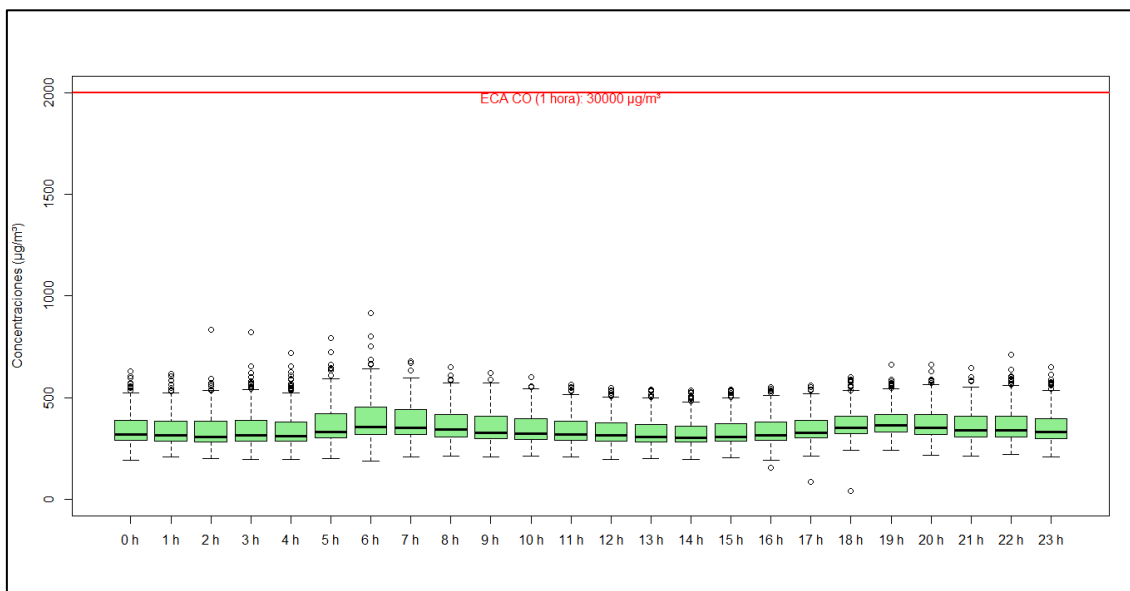


Figura 4.41. Concentraciones horarias de CO en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021

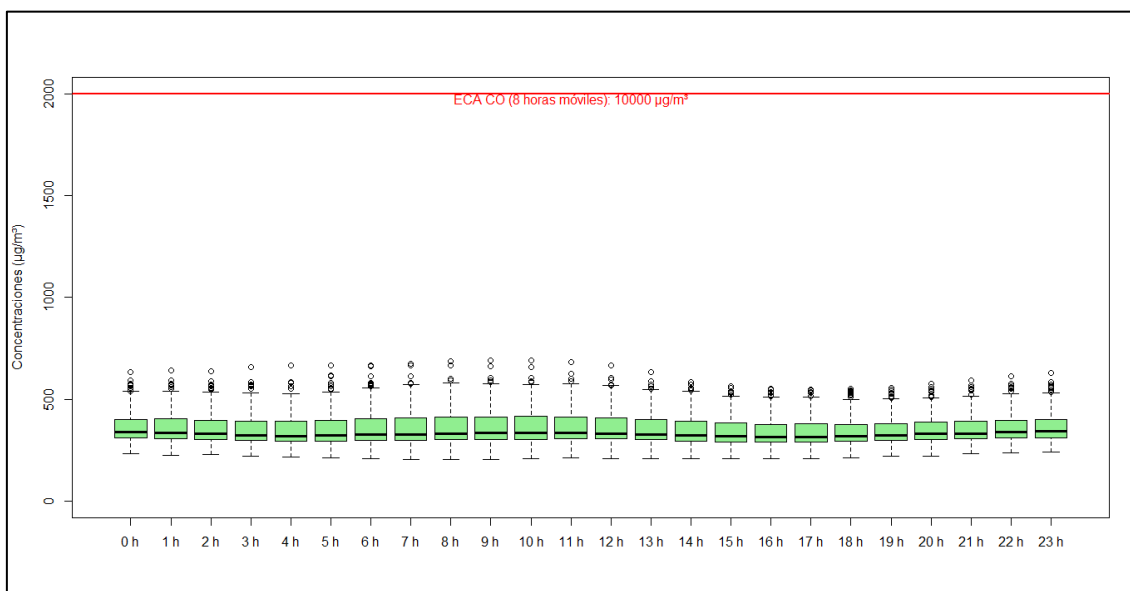


Figura 4.42. Concentraciones de promedio móvil de 8 horas de CO en la estación de monitoreo CA-ILO-03, de enero a noviembre 2021

En la Tabla 4.6 se presentan las concentraciones de metales contenidos en el material particulado PM_{10} de las estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03, de los meses agosto (del 16 al 20), setiembre (del 21 al 25) y noviembre (del 15 al 19) de 2021. El monitoreo se realizó con el equipo manual activo de alto volumen HiVol. Además, se observa que todos los promedios aritméticos mensuales de las concentraciones no excedieron los ECA para aire de Pb $1,5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ mensual.



En el caso de los valores guía para las concentraciones de los metales que no cuentan con ECA nacional se usaron los Ambient Air Quality Criteria o AAQC de Ontario-Canadá, usándose en todos los casos los valores criterio para promedios de 24 horas. Cabe mencionar que ninguno supera los valores guía de la referencia mencionada.

Solo en el caso del sodio, calcio y magnesio los niveles de concentración son más altos respecto de los demás metales analizados. Siendo los rangos observados para el sodio entre 2,1384 y 3,3322 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el calcio de 0,4914 y 0,9129 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el magnesio los niveles fluctúan entre 0,3645 y 0,4481 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 4.6. Concentración de metales registrados en la estación de monitoreo CA-ILO-03 en los meses de agosto, setiembre y noviembre de 2021

CONCENTRACIÓN DE METALES						
Metal medido en PM ₁₀		Unidad	CA-ILO-03			
			Agosto	Setiembre	Noviembre	AAQC-Ontario 24 horas
Aluminio	Al	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,1048	0,0337	0,1365	-
Antimonio	Sb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	25
Arsénico	As	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0020	<L.C.	<L.C.	0,3
Bario	Ba	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0024	0,0018	0,0033	120
Berilio	Be	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,01
Bismuto	Bi	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Boro	B	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0021	0,0027	0,0018	120
Cadmio	Cd	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,025
Calcio	Ca	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,4914	0,4934	0,9129	-
Cobalto	Co	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,1
Cobre	Cu	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0098	0,0127	0,0069	50
Cromo	Cr	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,5
Estaño	Sn	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	10
Estroncio	Sr	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0032	0,0034	0,0050	120
Fósforo	P	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0127	0,0107	0,0197	-
Hierro	Fe	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,1527	0,0788	0,2173	4
Litio	Li	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	0,0012	<L.C.	-
Magnesio	Mg	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,3645	0,3881	0,4481	-
Manganeso	Mn	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0041	0,0030	0,0045	0,2
Mercurio	Hg	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Molibdeno	Mo	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	120
Níquel	Ni	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	0,1
Plata	Ag	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	1
Plomo ⁷	Pb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	1,5
Potasio	K	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,1085	0,0973	0,1167	-
Selenio	Se	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	10
Silicio	Si	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-
Sodio	Na	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2,1395	3,3322	2,1384	-
Talio	Tl	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<L.C.	<L.C.	<L.C.	-

⁷ En el caso del Plomo se usa el Estándar de Calidad de Aire (ECA) Nacional, D.S.N° 003-2017 MINAM.



CONCENTRACIÓN DE METALES						
Metal medido en PM ₁₀		Unidad	CA-ILO-03			
			Agosto	Setiembre	Noviembre	AAQC-Ontario 24 horas
Titanio	Ti	µg/m ³	0,0035	0,0027	0,0054	120
Vanadio	V	µg/m ³	<L.C.	<L.C.	<L.C.	2
Zinc	Zn	µg/m ³	0,0086	0,0112	0,0065	120

< L.C.: Debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio

Método de ensayo: EPA Compendium Method IO-3.5:1999; Determination Of Metals in Ambient Particulate matter using inductively Coupled Plasma/mass spectroscopy (ICP/MS)(Validado).

5. ALERTAS

Durante la evaluación ambiental de seguimiento de la calidad del aire en el ámbito de influencia de la unidad minera, no se han presentado alertas en las estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03, correspondientes al periodo evaluado de enero a noviembre de 2021.

6. CONCLUSIONES

En las tres estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03, ubicadas en la provincia de Ilo, las concentraciones de 24 horas de material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀), material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM_{2,5}), dióxido de azufre (SO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) no excedieron su respectivo ECA, durante el periodo enero-noviembre de 2021.

Respecto a los resultados de metales en PM₁₀ de agosto, setiembre y noviembre, en las tres estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03, los promedios mensuales de las concentraciones de Plomo (Pb) no excedieron el respectivo ECA.

Así mismo, usando como referencia la Lista de Criterios de Calidad del Aire Ambiental (AAQC) establecidos por el Ministerio de Medioambiente, Conservación y Parques de Ontario-Canadá, las concentraciones de 24 horas de los metales como el antimonio (Sb), arsénico (As), bario (Ba), berilio (Be), boro (B), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), estaño (Sn), estroncio (Sr), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), titanio (Ti), vanadio (V) y zinc (Zn) no superaron el valor guía mencionado.

Los metales sodio, calcio y magnesio presentaron niveles más altos respecto a los demás metales analizados, debido a la cercanía de la Red de vigilancia al puerto marítimo de Ilo, incluso los mayores valores de sodio reportados pertenecen a la estación CA-ILO-02 ubicada en la municipalidad distrital de Pacocha, la cual está aún más cerca al mar que las otras dos estaciones.

En las tres estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03, las concentraciones horarias de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) no excedieron su respectivo ECA, así como lo promedios móviles de 8 horas de CO, durante el periodo enero-noviembre de 2021.

No se presentaron Estados de Alerta sobre los niveles de cuidado de SO₂ (500 µg/m³, 3 horas promedio móvil) durante la evaluación ambiental de seguimiento de la calidad del aire en las



tres estaciones de monitoreo CA-ILO-01, CA-ILO-02 y CA-ILO-03 ubicadas en la provincia de Ilo, durante el periodo enero-noviembre de 2021.

7. RECOMENDACIONES

Remitir una copia del presente documento a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas.

8. ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación

Anexo 2: Registro de datos crudos

Anexo 3: Sistematización de datos de aire de equipos automáticos y manual activo

Anexo 4: Certificados de calibración de los equipos

Anexo 5: Cadena de custodia

Anexo 6: Informes de ensayo de laboratorio

Atentamente:

[LFAJARDO]

[ABRIOS]

Visto este reporte la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

[FGARCIA]



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 08012096"



08012096