



Reporte trimestral de calidad del aire en La Paz B.C.S.

Abril - junio 2022

Departamento de Salud y Calidad Ambiental

Viernes 29 de julio de 2022
Ing. Rodrigo Rangel Rodriguez
Lic. Cristina Carolina Carbajal Aguilar

Tabla de contenido

1	Introducción	5
1.2	Descripción de la zona de estudio (La Paz, Baja California Sur)	6
1.3	Normatividad	6
1.3.1	Normas oficiales mexicanas	6
1.3.2	Recomendaciones de la OMS y otras recomendaciones	7
2	Calidad del aire	8
2.1	Red de monitoreo CERCA	8
2.1.1	Análisis y evaluación del PM10	9
2.1.2	Análisis y evaluación del PM2.5	10
2.2	Monitoreo CFE	11
2.2.1	Evaluación del material particulado (PM10)	12
2.2.2	Evaluación del dióxido de azufre (SO ₂)	12
2.2.3	Evaluación del ozono (O ₃)	13
2.2.4	Evaluación del dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	13
3	Meteorología	13
3.1	Viento	14
3.2	Temperatura	15
3.3	Humedad	15
3.4	Radiación Solar	16
3.5	Presión barométrica	16
5	Referencias	17

Tabla de figuras

Figura 1. Distribución de la red de monitoreo ciudadana	9
Figura 2. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N11	11
Figura 3. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N17	11
Figura 4. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N2	11
Figura 5. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N10	11
Figura 6. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N12	12
Figura 7. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N4	12
Figura 8. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N19	12
Figura 9. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N8	12
Figura 10. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N15	13
Figura 11. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N1	13
Figura 12. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N9	13
Figura 13. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N7	13
Figura 14. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N21	14
Figura 16. Concentraciones de PM10 vs dirección del viento	14
Figura 17. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N11	16
Figura 18. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N17	16
Figura 19. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N2	16
Figura 20. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N10	16
Figura 21. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N12	17
Figura 22. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N4	17
Figura 23. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N19	17
Figura 24. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N8	17
Figura 25. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N15	18
Figura 26. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N1	18
Figura 27. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N9	18
Figura 28. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N7	18
Figura 29. Serie de tiempo de promedios diarios de PM2.5 para la estación N21	19
Figura 30. Concentraciones de PM2.5 vs dirección del viento	19
Figura 31. Distribución de estaciones de monitoreo CFE (Lt. Consulting, 2018)	20
Figura 32. Serie de tiempo de PM10 para las tres estaciones de CFE	20
Figura 33. Serie de tiempo de SO2 para las tres estaciones de CFE	21
Figura 34. Serie de tiempo de O3 para las tres estaciones de CFE	21
Figura 35. Serie de tiempo del NO2 para las tres estaciones de CFE	22
Figura 36. Comportamiento del viento para el trimestre abril-junio 2022	23
Figura 37. Comportamiento de la temperatura para el trimestre abril-junio de 2022	23
Figura 38. Comportamiento de la humedad para el trimestre abril-junio de 2022	24
Figura 39. Comportamiento de la radiación solar para el trimestre abril-junio de 2022	24
Figura 40. Comportamiento de la presión en el trimestre abril-junio de 2022	25

Tabla de tablas

Tabla 1. Especificaciones normativas para los contaminantes criterio	7
Tabla 2. Especificaciones de la OMS y otras recomendaciones para los contaminantes criterio	8
Tabla 3. Validación y evaluación de datos diarios monitoreados para PM10	10
Tabla 4. Validación y evaluación de datos diarios monitoreados para PM2.5	14

Tabla 5. Evaluación de incumplimientos en datos diarios para PM10	20
Tabla 6. Evaluación de incumplimientos en datos diarios para SO2	21
Tabla 8. Evaluación de incumplimientos en datos diarios para NO2	22

1 Introducción

La contaminación presenta uno de los principales problemas en la actualidad ya que afecta a todo el planeta de manera crítica. La contaminación atmosférica es producida por fuentes que pueden ser fijas, móviles o de área, estas emiten diferentes sustancias que pueden provocar daños sobre los seres humanos y los ecosistemas, a estos se les conoce como contaminantes atmosféricos, a su vez, estos contaminantes se clasifican por sus impactos en la salud humana como contaminantes criterio, dentro de los cuales se encuentran el dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃), material particulado con diámetro aerodinámico de 10 y 2.5 micras (PM₁₀ y PM_{2.5}), monóxido de carbono (CO) y plomo (Pb) (COFEPRIS, 2017).

Se le denomina calidad del aire a la concentración de los contaminantes que han sido emitidos, transportados y difundidos en la atmósfera y que llegan a un receptor, así mismo también se pueden definir índices de calidad del aire que hagan referencia a una determinada concentración de contaminantes y a su afectación a la salud (Organización Mundial de la Salud, 2016; SEMARNAT, 2013). La emisión y dispersión de contaminantes afecta la calidad del aire no solo a nivel local, sino también a nivel regional y global, ya que debido a que las variaciones del clima afectan al movimiento y dispersión de estos. La Organización Mundial de la Salud en 1999 definió la contaminación del aire como "sustancias depositadas por las actividades humanas con suficiente concentración como para causar influencias perjudiciales para la salud, la vegetación, el rendimiento de cultivos agrícolas, propiedades o interferir con el disfrute de las propiedades". Las sustancias naturales o artificiales que contaminan el medio ambiente se denominan contaminantes (Mukherjee 2002).

Debido a los efectos que la mala calidad del aire puede tener en la salud, se han creado sistemas de información que muestre el estado de la contaminación y así poder actuar de forma correctiva y/o preventiva (ProAire, 2018). En la Ciudad de La Paz, durante las últimas décadas se ha visto un

rápido crecimiento poblacional y muy poca planeación urbana, de manera que se ha notado un incremento en emisiones dando resultado a la afectación de la calidad de aire, principalmente por la emisión de gases vehiculares, por la emisión de cenizas de las termoeléctricas locales (Central de Combustión Interna, y Central Termoeléctrica Punta Prieta), y por la resuspensión de partículas del suelo por tracción vehicular (CICIMAR, 2013).

1.2 Descripción de la zona de estudio (La Paz, Baja California Sur)

La Paz, Baja California Sur, es la capital del estado y está ubicada al sur de la península de Baja California a 210 km al sur de Ciudad Constitución, municipio de Comondú y 202 km al norte de San Lucas, municipio de Los Cabos, en 24°09' latitud norte y 110°19" longitud oeste.

De acuerdo al último censo de INEGI, la población de la ciudad de La Paz al 15 de marzo de 2020 es de 292, 241 habitantes, de los cuales 145, 828 (49.9%) corresponde a la población femenina y 146, 413 (50.1%) a masculina (INEGI, 2020). Es el segundo municipio con mayor población del estado de Baja California Sur.

La ciudad de La Paz se caracteriza por ser una zona con muy poca precipitación, aproximadamente 216 mm al año, donde la temporada de lluvia se presenta durante julio, agosto y septiembre, también se presentan pequeñas lluvias durante los meses de diciembre y enero (Bermúdez, 2017).

El comportamiento del viento durante los meses de abril a octubre por las mañanas predomina la dirección sureste y por la tarde dirección suroeste, durante el resto del año las direcciones predominantes son con dirección noroeste y sur (Velasco García 2009). La temperatura media más alta en la bahía de La Paz fluctúa entre los 27 y 30°C, esto durante los meses de agosto y septiembre, la media más baja es de 17°C durante el mes de enero y febrero (SDEMARN 2016).

1.3 Normatividad

1.3.1 Normas oficiales mexicanas

Tabla 1. Especificaciones normativas para los contaminantes criterio

Contaminante	NOM	Especificaciones
--------------	-----	------------------

Material particulado (PM10)	NOM-025-SSA1-2021	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Promedio 24 horas
Material particulado (PM2.5)	NOM-025-SSA1-2021	41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Promedio 24 horas
Dióxido de azufre (SO₂)	NOM-022-SSA1-2019	0.04 ppm - Promedio 24 horas
*Las especificaciones descritas en la tabla son únicamente las aplicables para los contaminantes y tipos de datos disponibles		

1.3.2 Recomendaciones de la OMS y otras recomendaciones

Tabla 2. Especificaciones de la OMS y otras recomendaciones para los contaminantes criterio

Contaminante	Recomendaciones	Especificaciones
Dióxido de azufre (SO₂)	Guías OMS	0.0076 ppm – Promedio 24 horas
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	Guías OMS	0.01331 ppm – Promedio 24 horas
Material particulado (PM10)	Guías OMS	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Promedio 24 horas
Material particulado (PM2.5)	Guías OMS	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Promedio 24 horas
*Las recomendaciones que no pertenecen a las NOM, ni a la OMS, son utilizadas ya que los datos obtenidos para las casetas de la CFE únicamente se encuentran en promedios diarios y los principales niveles no poseen especificaciones para estos.		

2 Calidad del aire

En los siguientes puntos se muestran los resultados por estación, primeramente, su comparación con su respectiva Norma Oficial Mexicana y recomendación por parte de la Organización Mundial de la Salud, esto en formato serie de tiempo. Seguido se hizo un cálculo para conocer cuántos días al menos un promedio sobrepasaba la recomendación OMS clasificándose como día malo y cuando al menos un promedio sobrepasaba la NOM se clasificó como un día muy malo, esto sólo para cada uno de los contaminantes monitoreados en dónde se encontraron valores alto

2.1 Red de monitoreo CERCA

En la figura 1 se observa que la red de monitoreo de CERCA consta de 8 ubicaciones dentro de la ciudad, dentro de estas se encuentran instalados 7 monitores y 2 estaciones meteorológicas. Los monitores son de la marca PurpleAir PA-II-SD y monitorean material particulado PM10 y PM2.5. Se utilizaron las siglas “DI” para *datos inválidos* por no contar con el 75% de completación de datos o por ser atípicos, siglas “SD” *sin datos* debido a no contar con información.

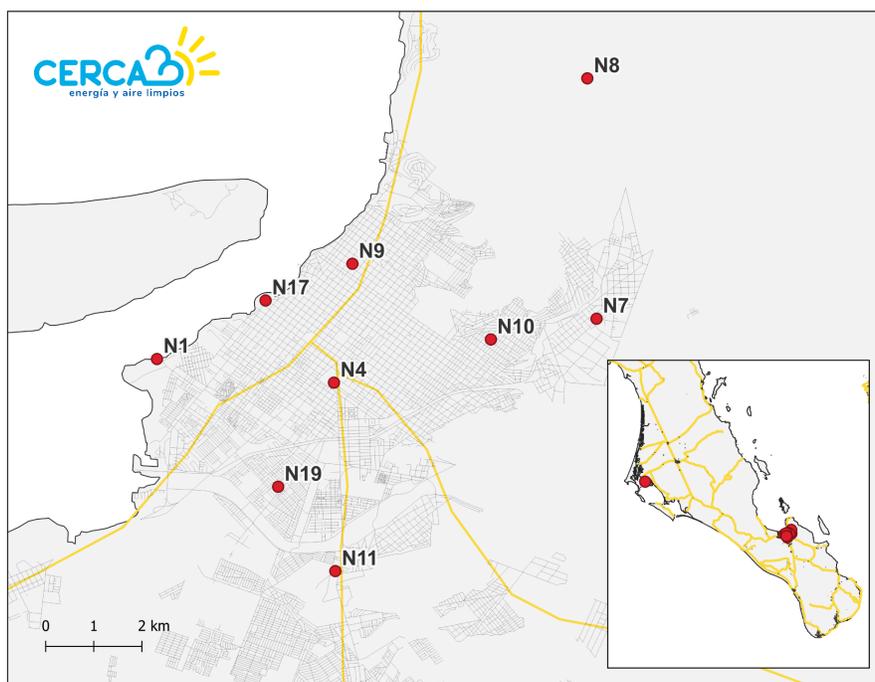


Figura 1. Distribución de la red de monitoreo ciudadana

2.1.1 Análisis y evaluación del PM10

A partir de los datos del periodo trimestral abril-junio 2022 y considerando las estaciones activas durante el periodo, en la tabla tres, se presenta la validación de los datos, considerando el criterio de completión de al menos 75%, así también se presenta su evaluación considerando el límite máximo permisible presentado en la NOM-025-SSA1-2021 para promedios diarios y la recomendación de la OMS para el mismo promedio.

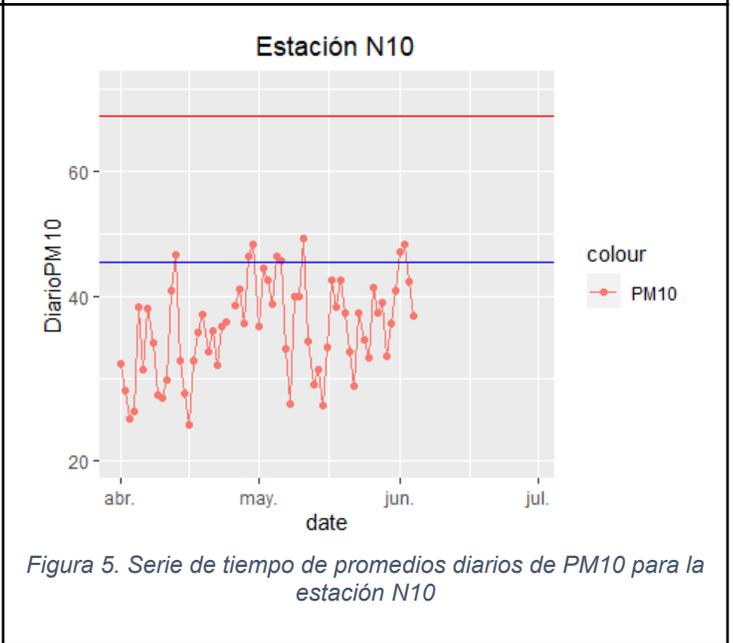
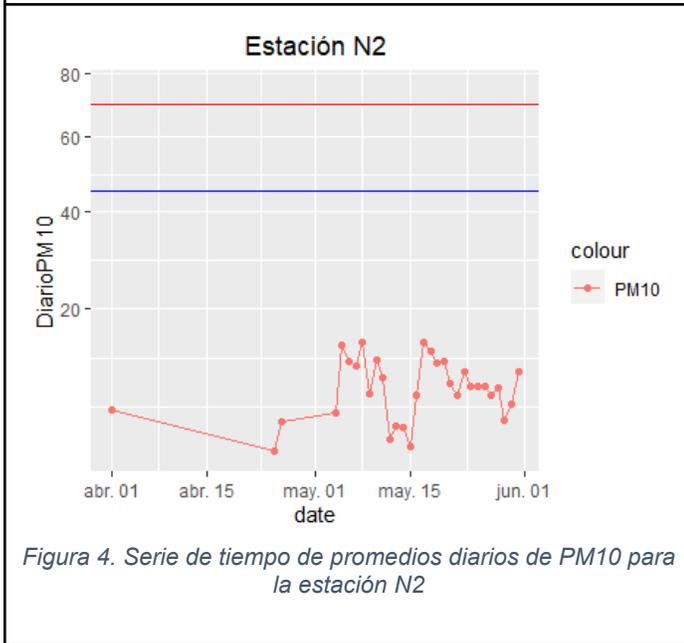
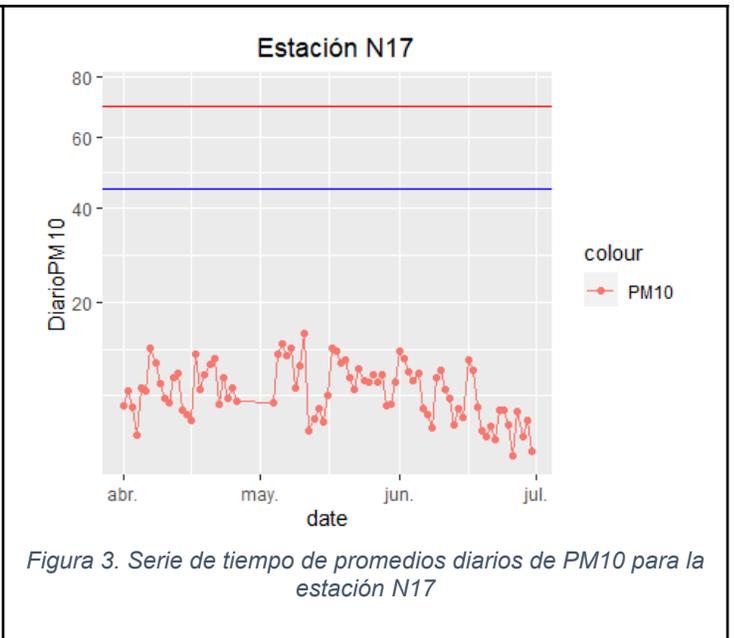
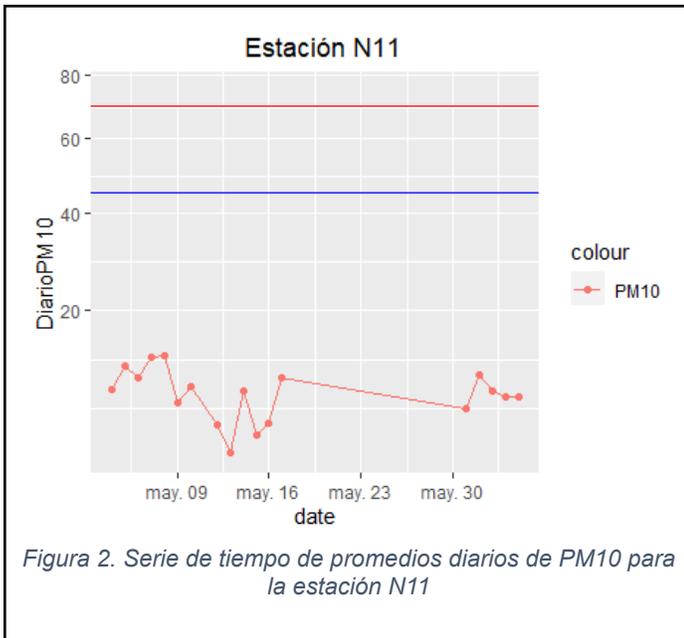
En la tabla 3, se muestran las estaciones que estuvieron activas durante el periodo

Tabla 3. Validación y evaluación de datos diarios monitoreados para PM10

Estación	Cantidad de días evaluados	Cantidad de días válidos	Días que rebasan los niveles	
			NOM	OMS
N1	89	67	0	0
N4	52	48	0	0
N7	84	80	0	5
N8	56	52	0	0
N9	91	91	0	0
N10	91	91	0	8
N11	18	11	0	0
N12	91	91	0	0
N17	84	81	0	0
N19	80	78	0	0

Falta introducción a las tablas que se van a presentar luego (como se compone la tabla, como se evalúa y todo el contenido de ella)

NOTA: Para el caso de la imagen debajo, utilice la tabla para acomodar las imágenes y luego vuelva el borde transparente para evitar confusiones y desacomodos



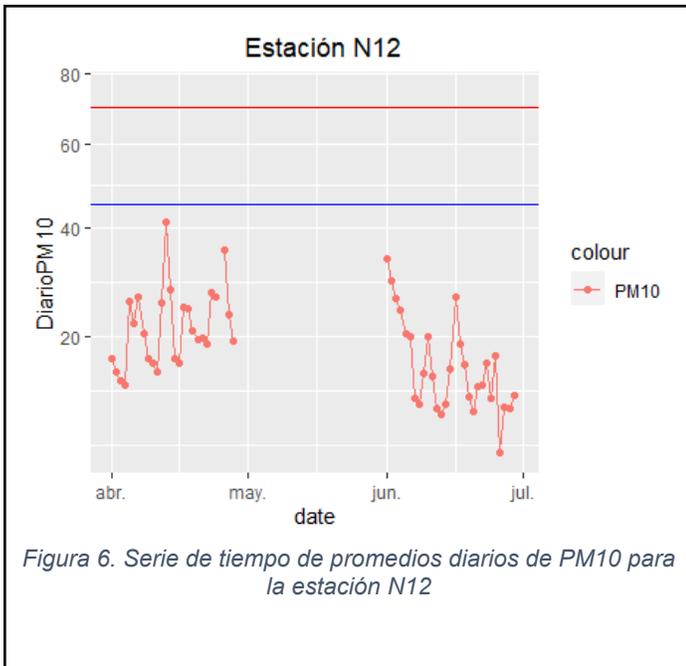


Figura 6. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N12

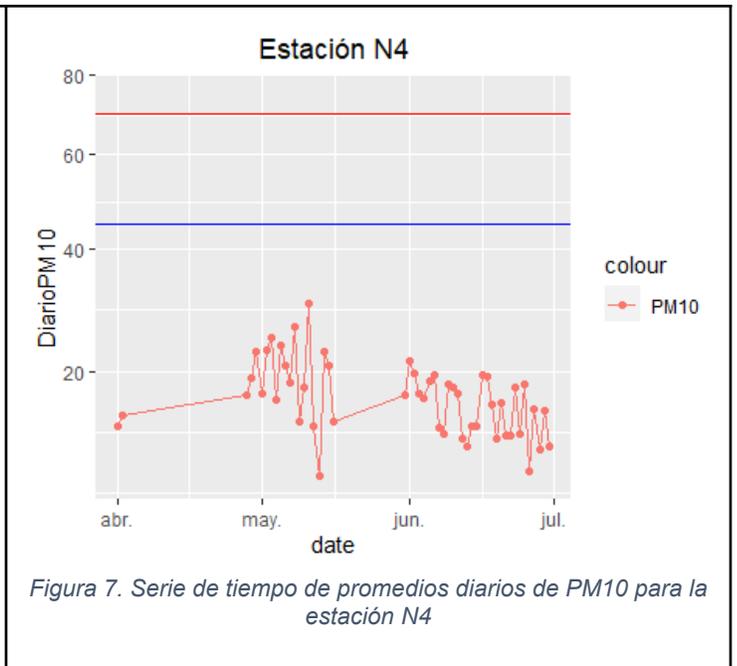


Figura 7. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N4

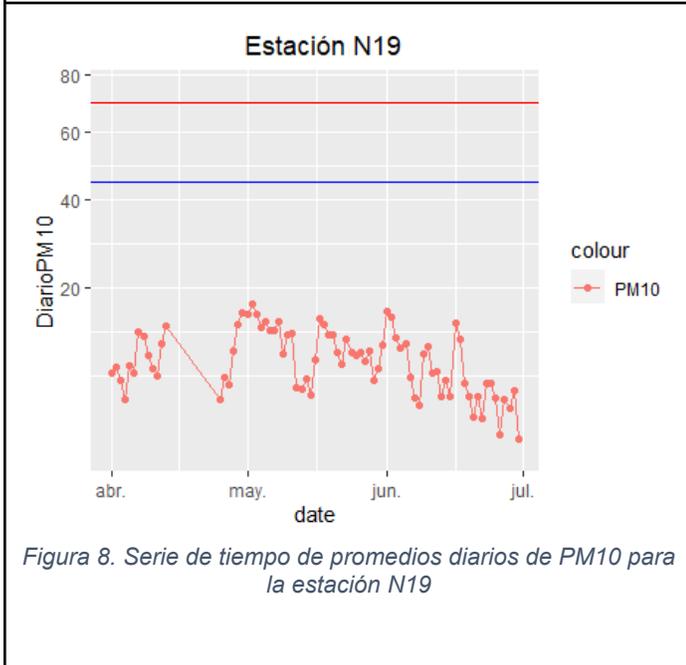


Figura 8. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N19

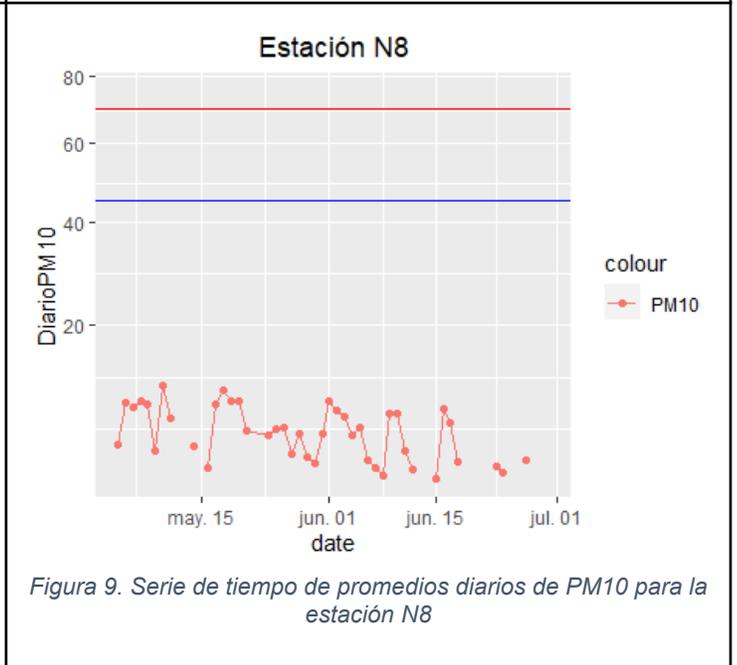
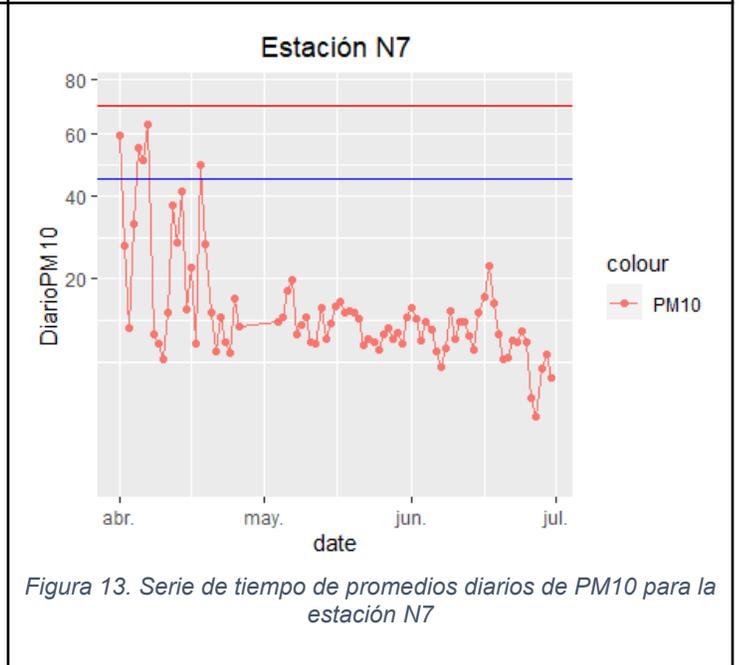
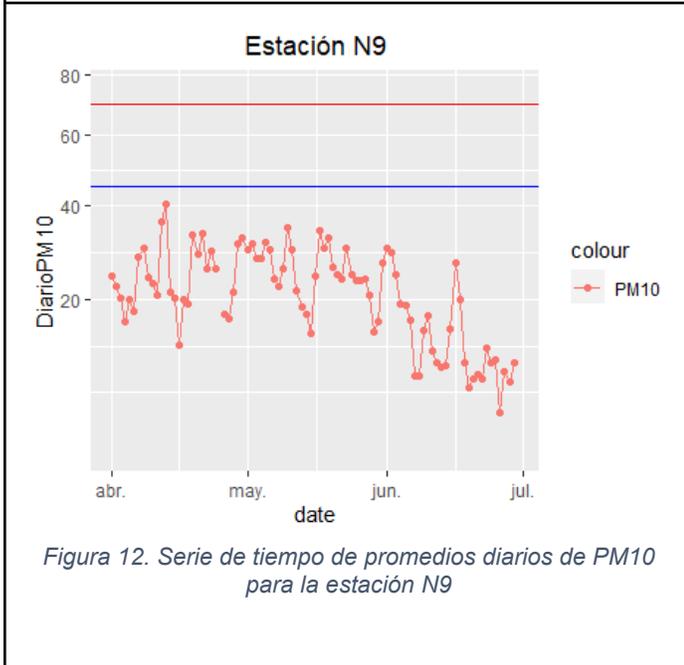
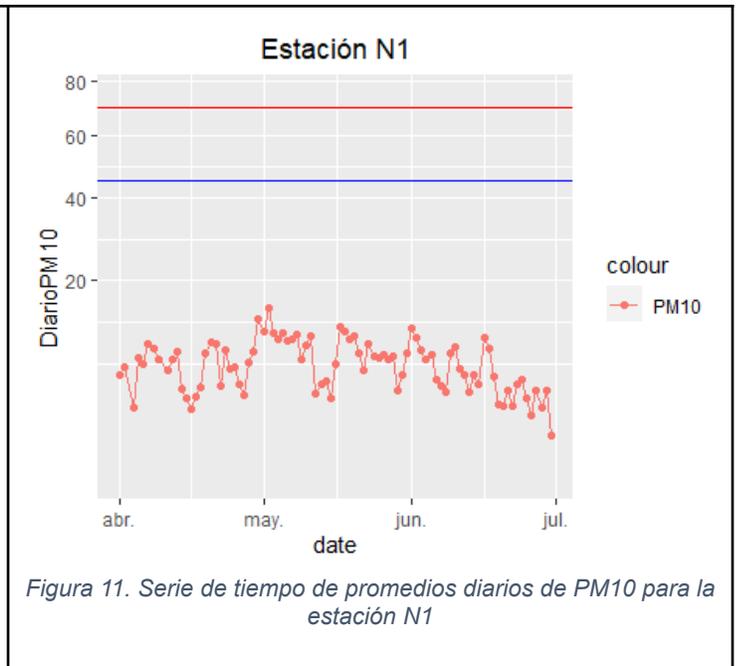
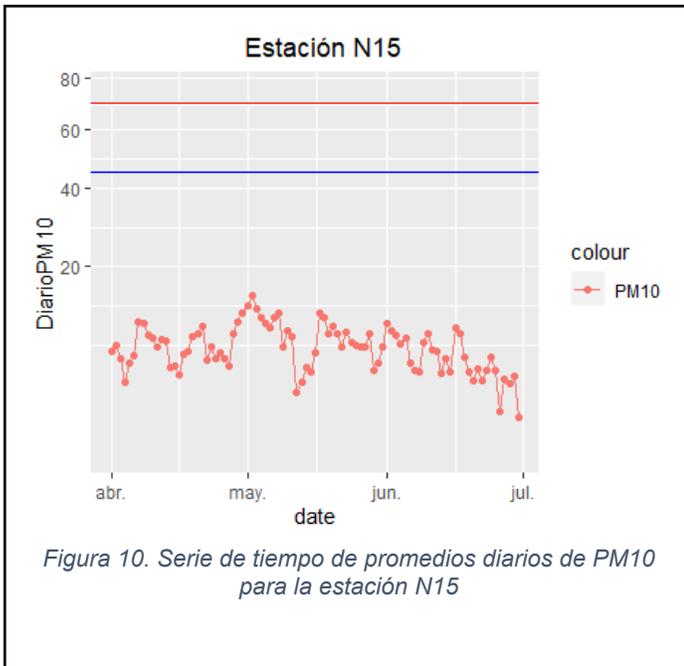
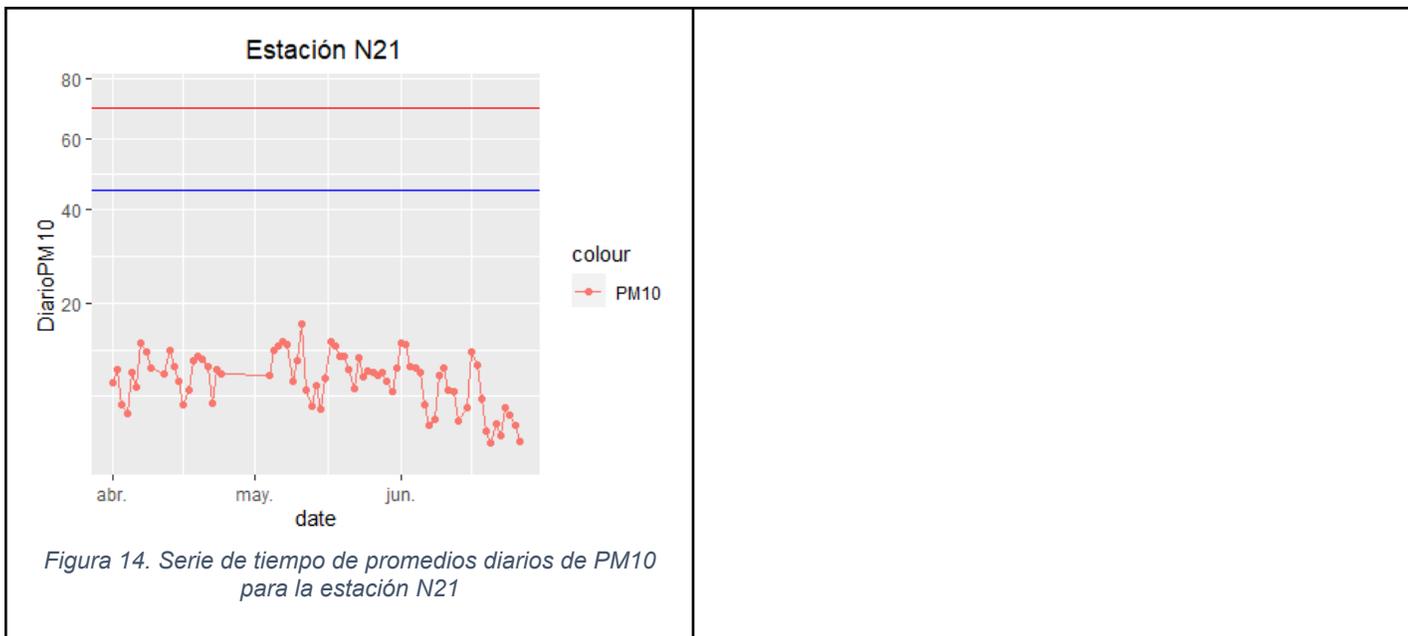


Figura 9. Serie de tiempo de promedios diarios de PM10 para la estación N8





Falta introducción a las tablas que se van a presentar luego (como se compone la tabla, como se evalúa y todo el contenido de ella)

NOTA: Para el caso de la imagen debajo, utilice la tabla para acomodar las imágenes y luego vuelva el borde transparente para evitar confusiones y desacomodos

Figura 16. Concentraciones de PM10 vs dirección del viento

2.1.2 Análisis y evaluación del PM2.5

Falta introducción a las tablas que se van a presentar luego (como se compone la tabla, como se evalúa y todo el contenido de ella)

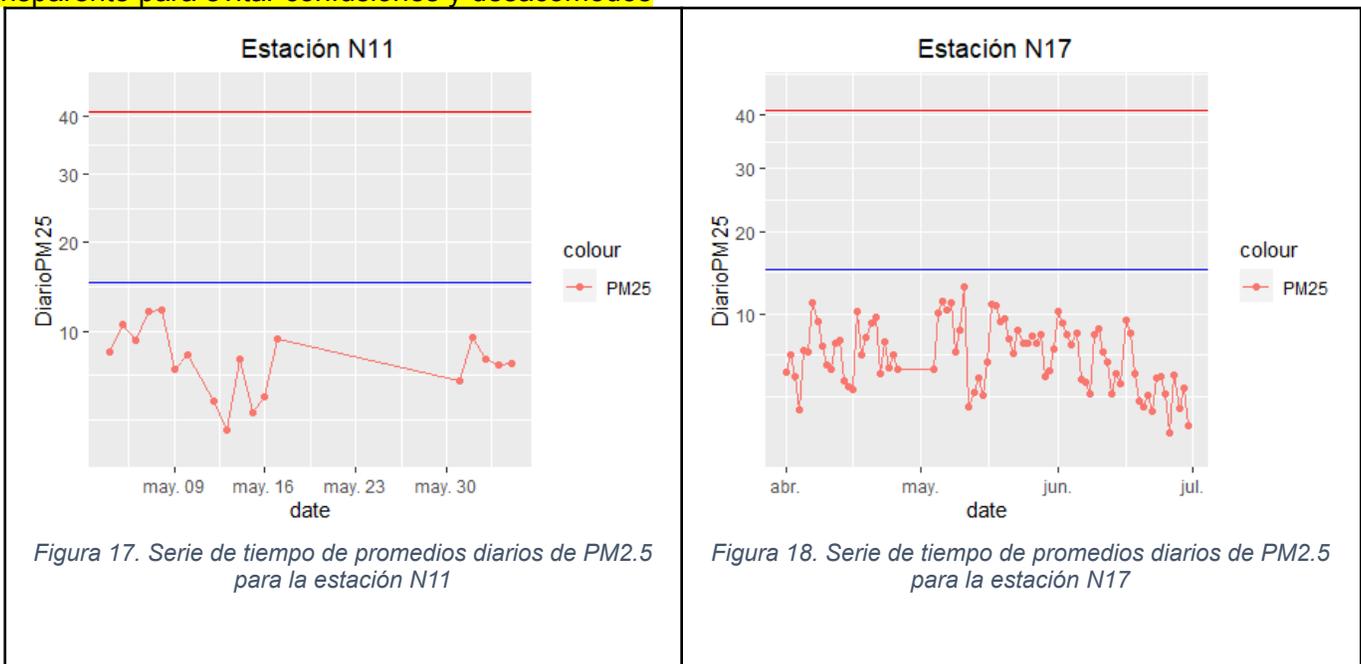
Tabla 4. Validación y evaluación de datos diarios monitoreados para PM2.5

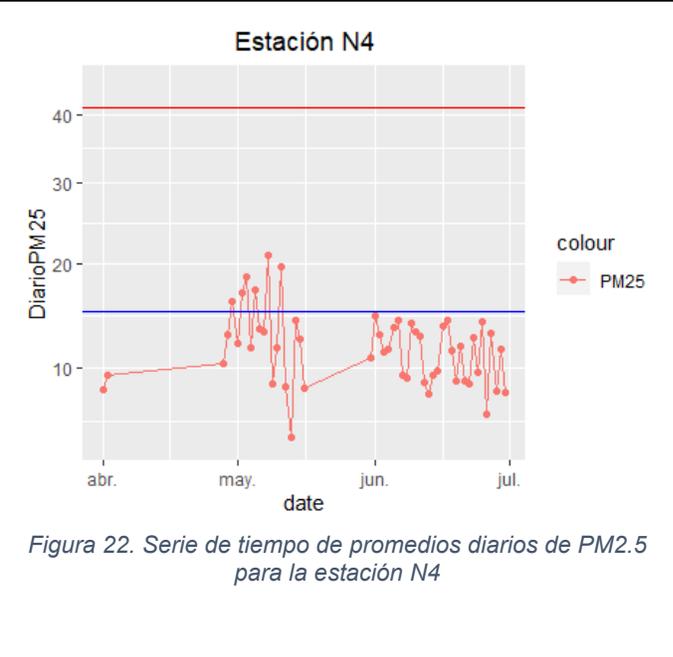
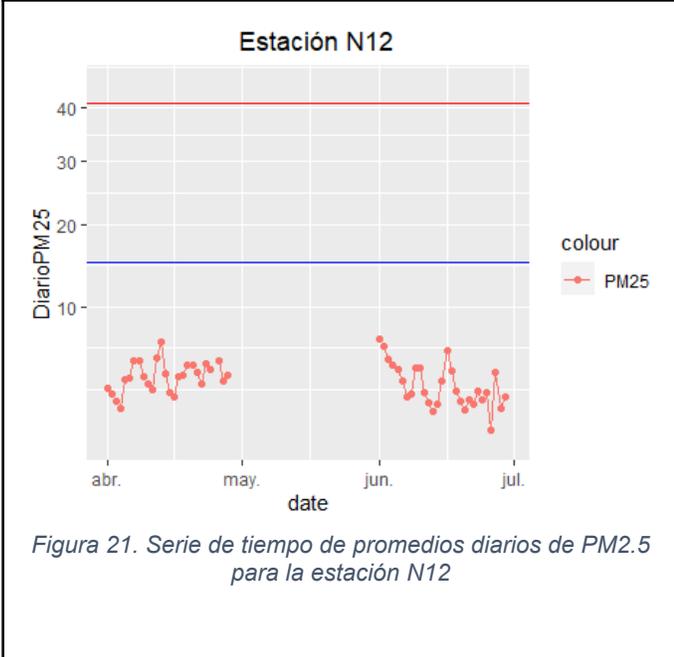
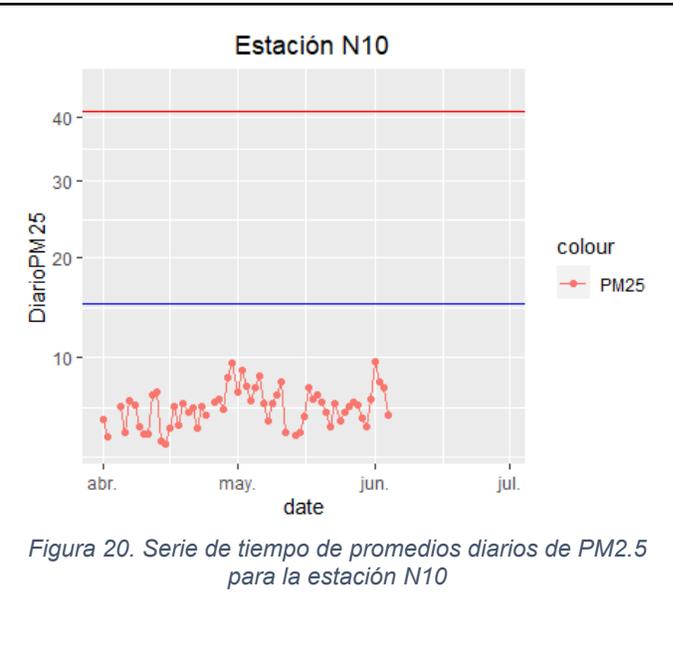
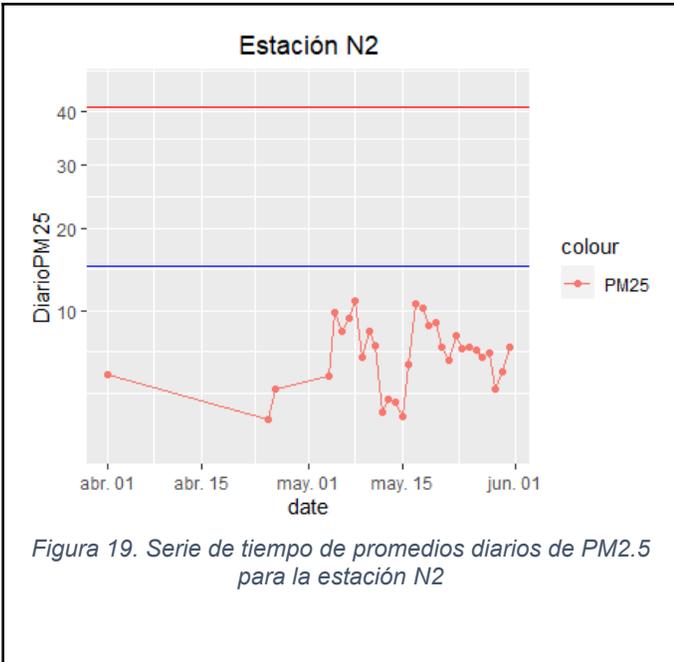
Estación	Cantidad de días evaluados	Cantidad de días válidos	Días que rebasan los niveles	
			NOM	OMS
N1	89	67	0	0
N4	52	48	0	6
N7	84	80	4	14
N8	56	52	0	0
N9	91	91	0	0
N10	91	91	0	0

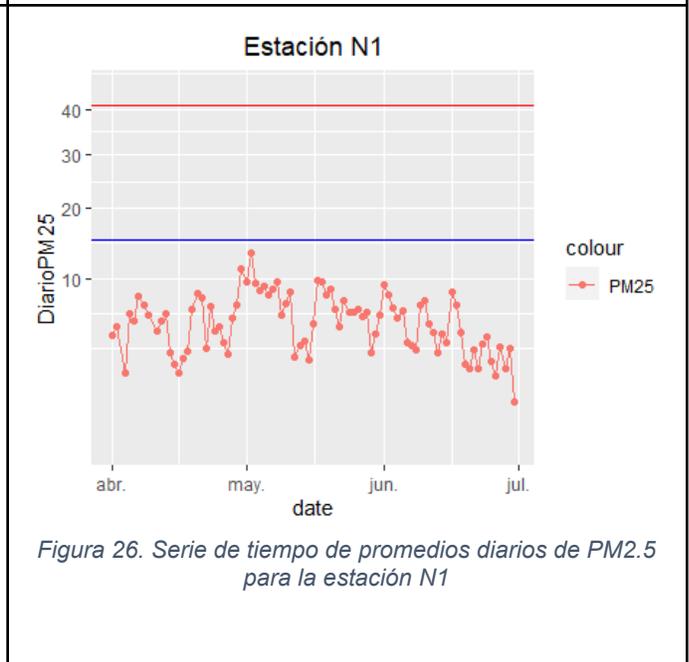
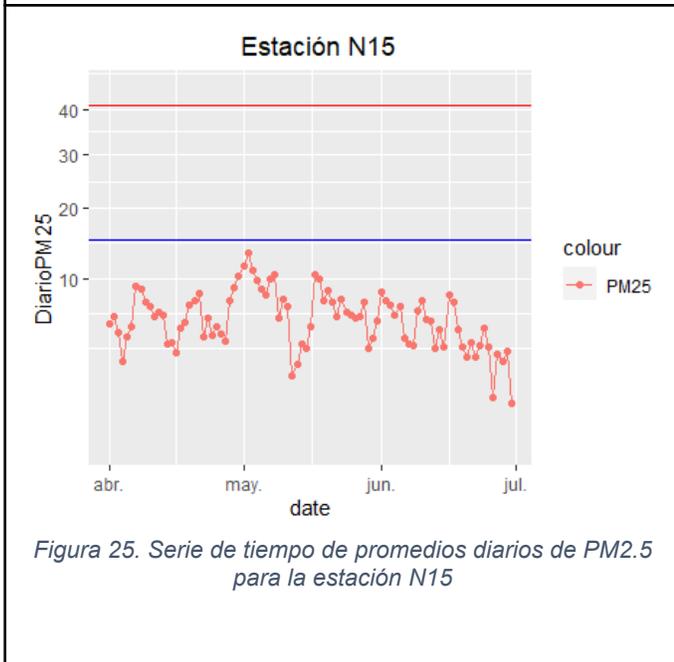
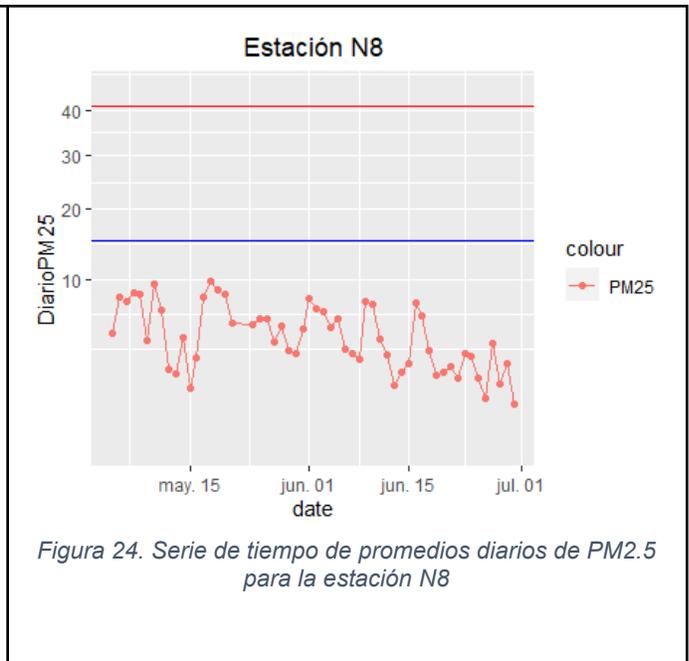
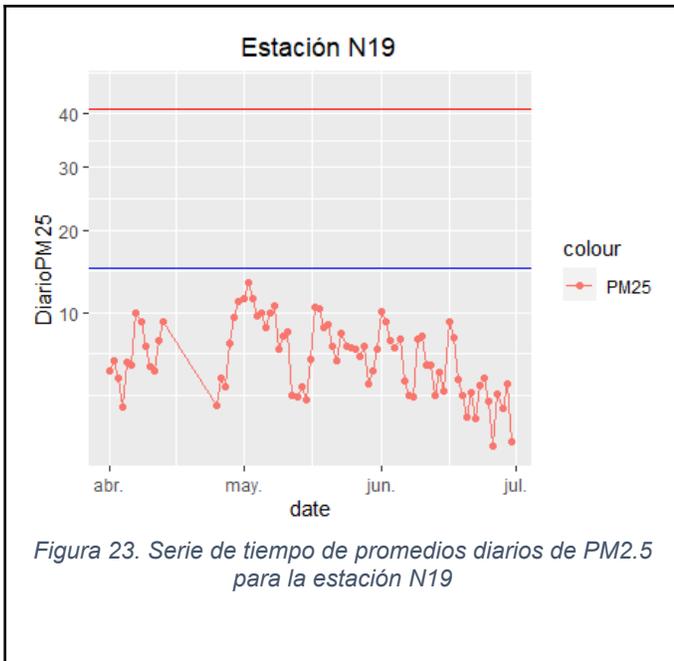
N11	18	11	0	0
N12	91	91	0	0
N17	84	81	0	0
N19	80	78	0	0

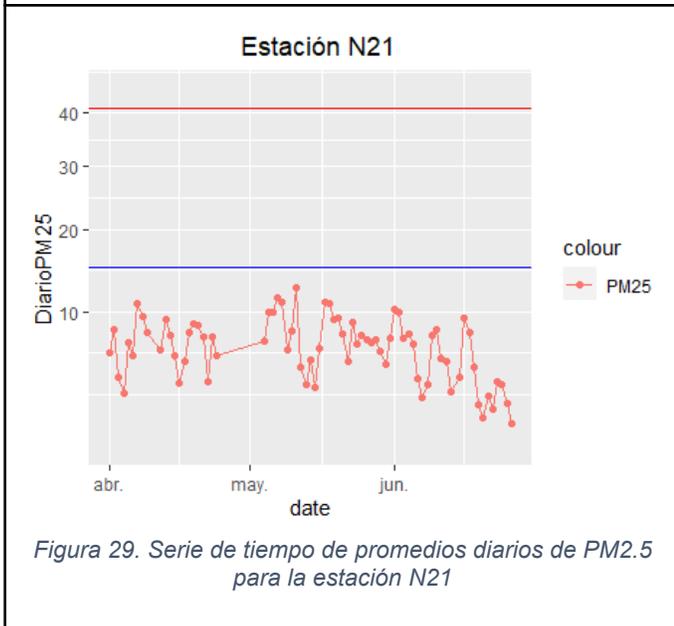
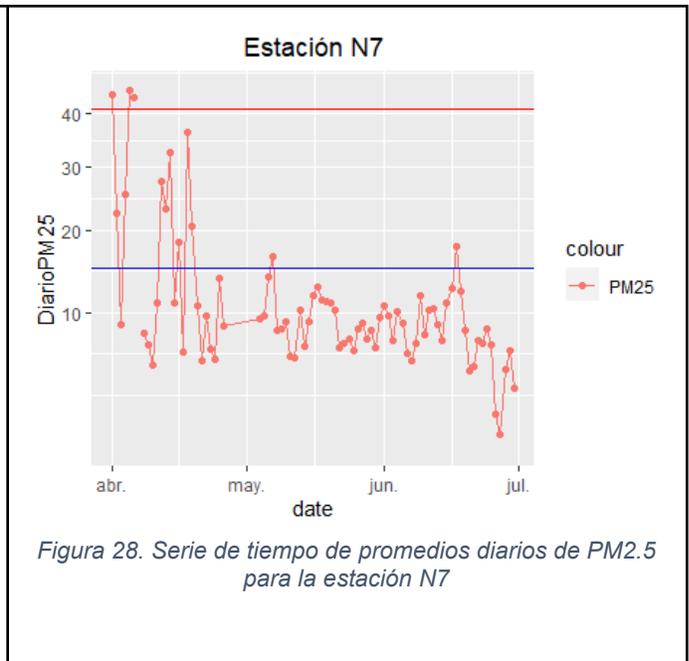
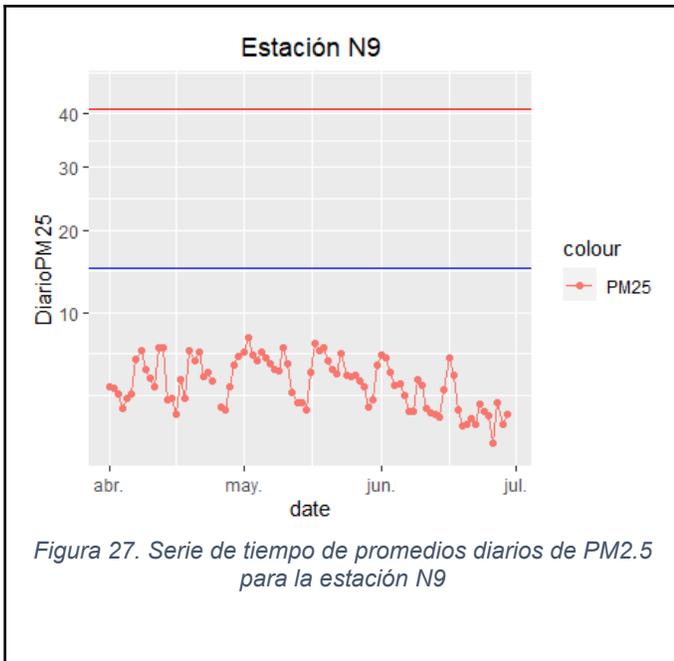
Falta introducción a las tablas que se van a presentar luego (como se compone la tabla, como se evalúa y todo el contenido de ella)

NOTA: Para el caso de la imagen debajo, utilice la tabla para acomodar las imágenes y luego vuelva el borde transparente para evitar confusiones y desacomodos









2.2 Monitoreo CFE

Se realizó un resumen estadístico con información de las casetas de monitoreo de CFE, recopilada a través de herramientas de transparencia. La información data de enero a diciembre 2021, con un total de 3 casetas ubicadas en diferentes puntos de la ciudad, sin embargo, el presente documento analizará la información en dos partes: primeramente, comparar las concentraciones con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y sus lineamientos, como segunda etapa se analizará la tendencia de datos históricos, con el fin de ver pendientes positivas o negativas a futuro.

Actualmente Comisión Federal de Electricidad (CFE), cuenta con 3 estaciones de monitoreo en la ciudad de La Paz instaladas en 2005 y funcionando hasta la actualidad, estas estaciones miden constantemente SO₂, NO_x y O₃, así mismo, se cuenta con un equipo manual se miden partículas de tamaño menor o igual a 10 micras (PM₁₀), la estación 1 (E1) se encuentra al lado norte de la central termoeléctrica Punta Prieta, las estaciones 2 (E2) y 3 (E3), se encuentran dentro de la zona urbana de la ciudad de La Paz (Figura 6).

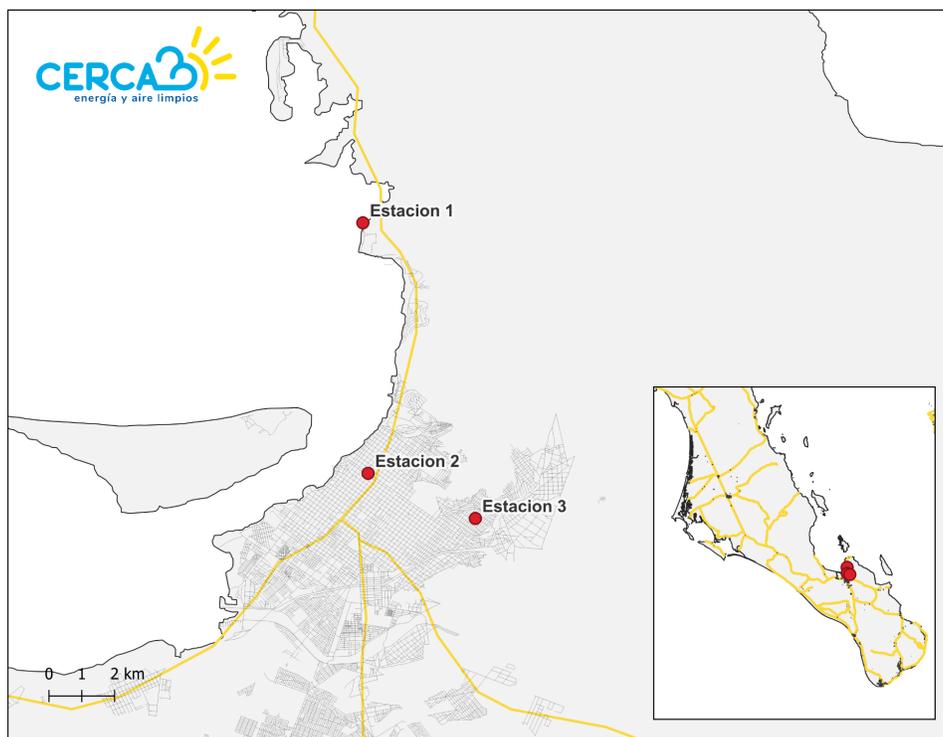


Figura 31. Distribución de estaciones de monitoreo CFE (Lt. Consulting, 2018)

2.2.1 Evaluación del material particulado (PM10)

Tabla 5. Evaluación de incumplimientos en datos diarios para PM10

Estación	Cantidad de días evaluados	Días que rebasan los niveles	
		NOM	OMS
E1	86	0	8
E2	86	0	82
E3	82	32	82

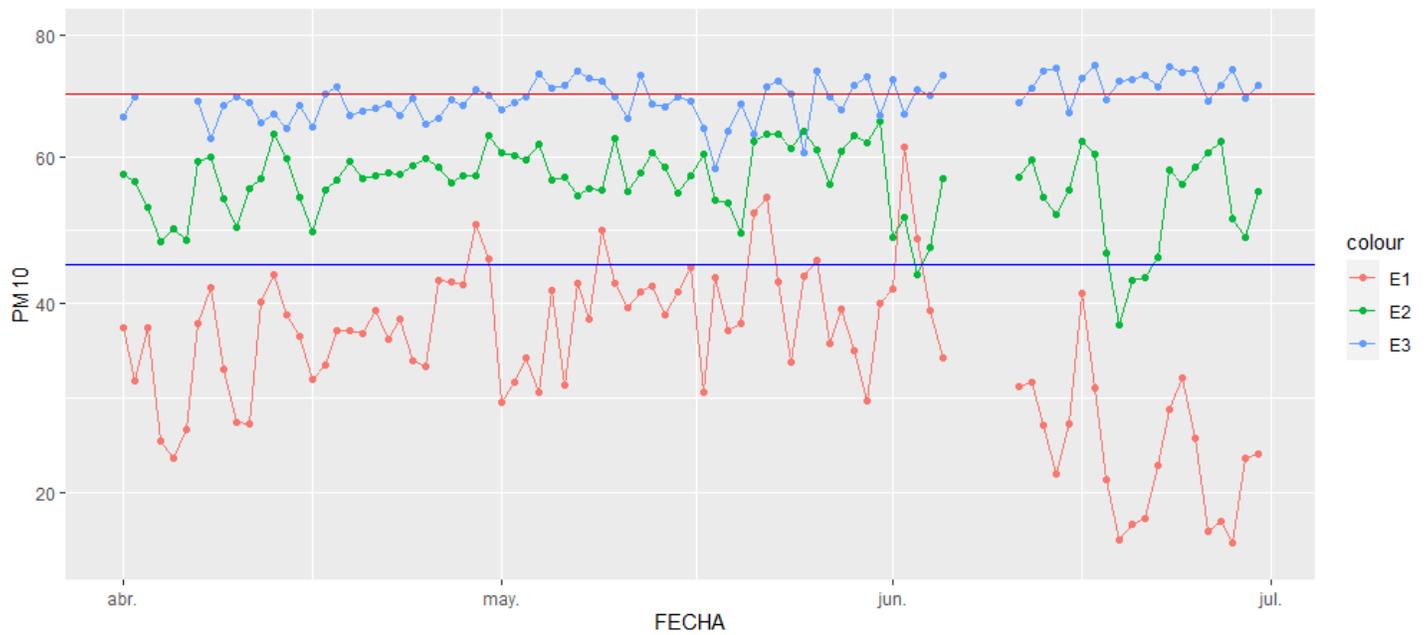


Figura 32. Serie de tiempo de PM10 para las tres estaciones de CFE

Añadir análisis los resultados para PM10 (tabla y serie de tiempo)

2.2.2 Evaluación del dióxido de azufre (SO2)

Tabla 6. Evaluación de incumplimientos en datos diarios para SO2

Estación	Cantidad de días evaluados	Días que rebasan los niveles	
		NOM	OMS
E1	86	1	1
E2	86	0	0
E3	82	0	0

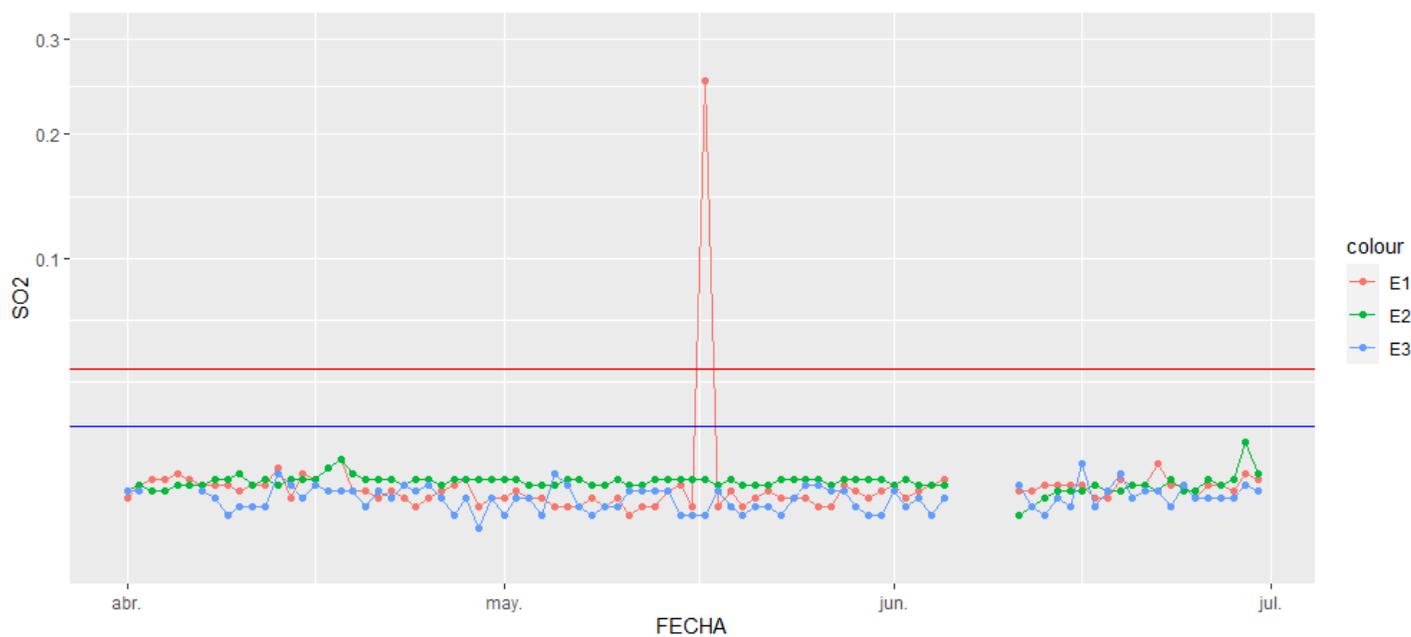


Figura 33. Serie de tiempo de SO2 para las tres estaciones de CFE

Añada análisis de SO2 (tabla y serie de tiempo)

2.2.3 Evaluación del ozono (O3)

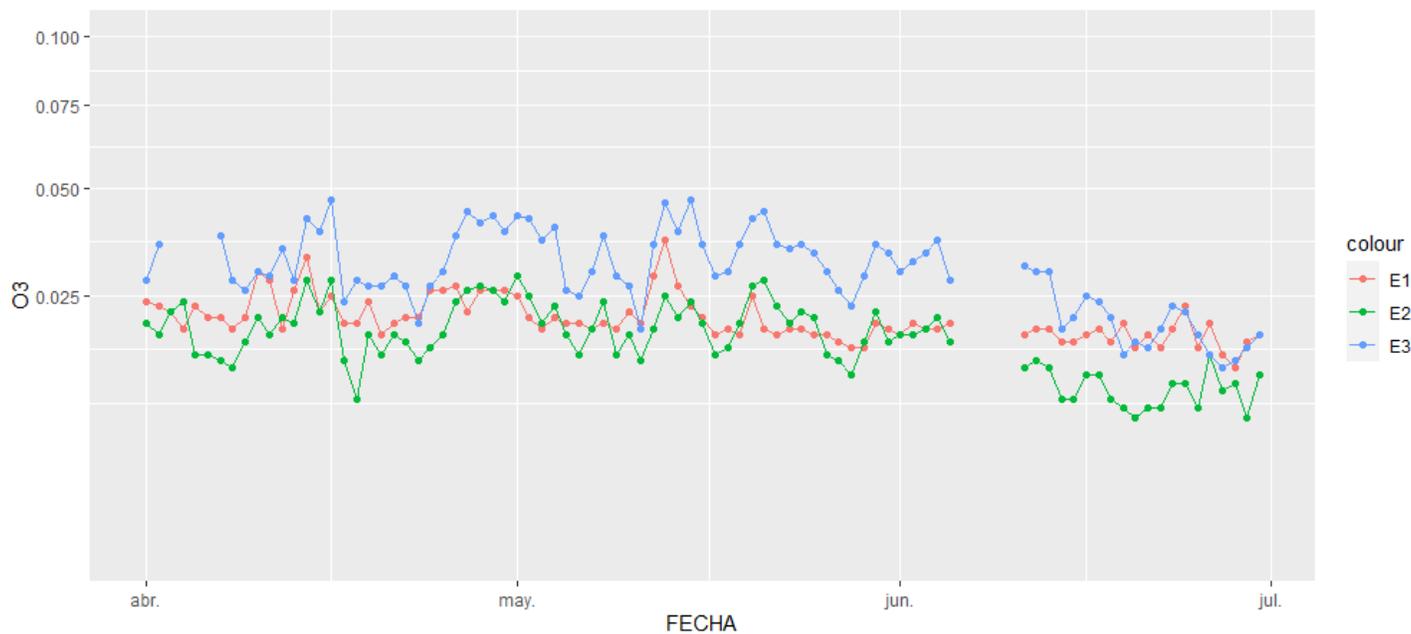


Figura 34. Serie de tiempo de O3 para las tres estaciones de CFE

Añada análisis de O3 (tabla y serie de tiempo)

2.2.4 Evaluación del dióxido de Nitrógeno (NO2)

Tabla 7. Evaluación de incumplimientos en datos diarios para NO2

Estación	Cantidad de días evaluados	Días que rebasan los niveles
		OMS
E1	86	70
E2	86	85
E3	82	77

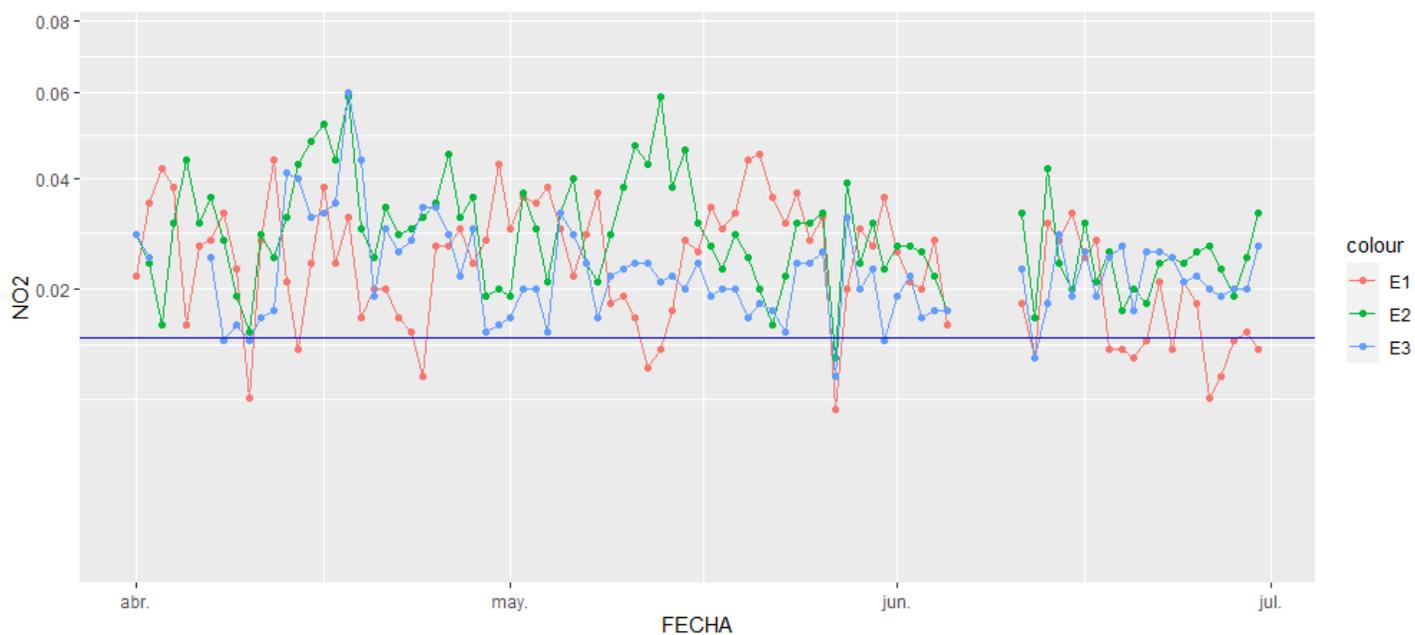


Figura 35. Serie de tiempo del NO2 para las tres estaciones de CFE

Añada análisis de NO2 (tabla y serie de tiempo)

3 Meteorología

La contaminación atmosférica se ve afectada constantemente por las condiciones del clima y sus diferentes variables, sin embargo, el principal fenómeno meteorológico que afecta en la calidad del aire y que fue utilizado en el presente reporte técnico es el viento, debido a su afectación en la dispersión y trayectoria de los contaminantes. Por lo cual fue necesario el análisis de la velocidad (metros por segundo) y dirección del viento mediante el servicio web “Weather Underground”, la información histórica fue recolectada de la estación meteorológica denominada IBAJACAL119, ubicada en colonia centro de La Paz. En la figura 11 se presenta un gráfico rosa de los vientos, utilizado comúnmente para representar el comportamiento del viento tanto en su dirección como velocidad. Se puede visualizar una mayor tendencia de vientos predominantes del sur a excepción de invierno cuando los vientos predominantes son del Noreste

3.1 Viento

Para el análisis de viento se utilizó la denominada rosa de los vientos (Figura 11) en donde se puede ver al igual que años anteriores que la mayor frecuencia de vientos se presenta de norte a sur con una velocidad máxima de 5 m/s.

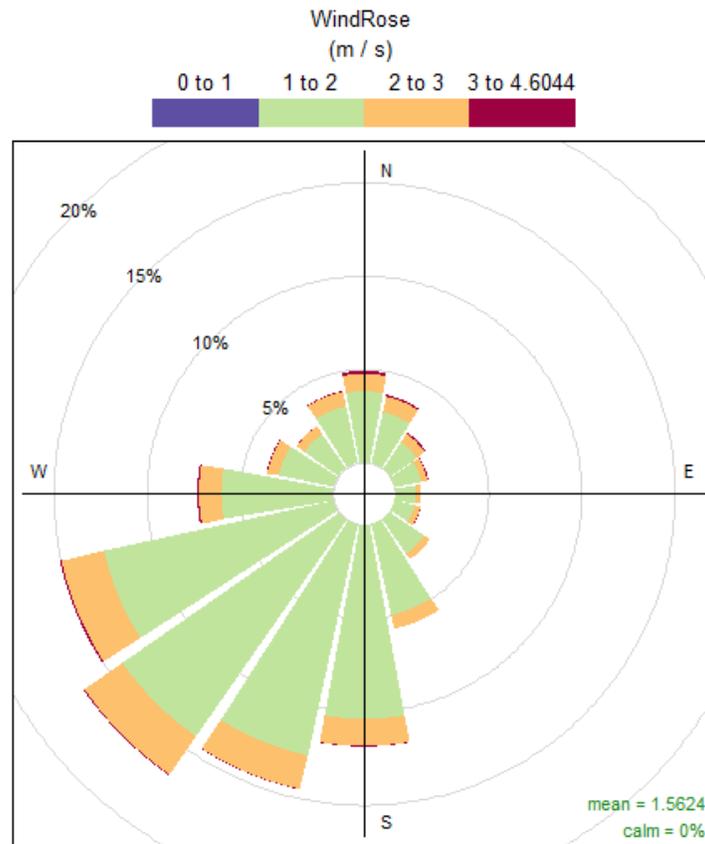


Figura 36. Comportamiento del viento para el trimestre abril-junio 2022

3.2 Temperatura

El comportamiento del clima se presenta mayormente caluroso y la media durante de verano se muestra en figura 12 como 30 grados Celsius.

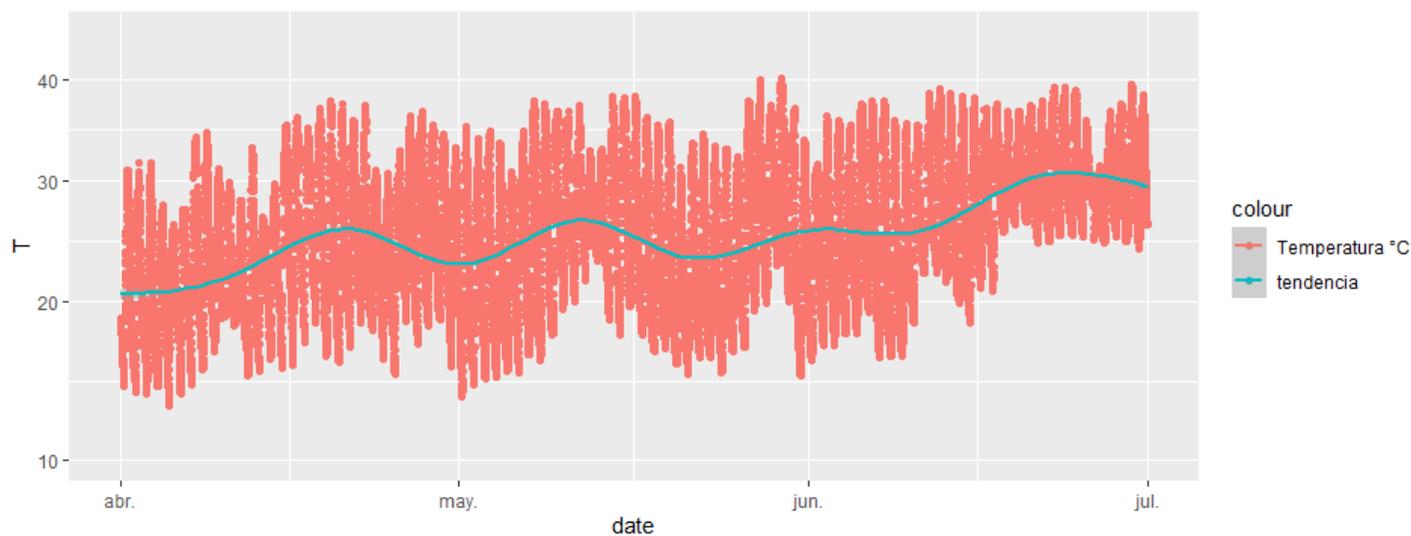


Figura 37. Comportamiento de la para el trimestre abril–junio de 2022

3.3 Humedad

En la figura 13 se muestra una humedad relativa diferente en el transcurso de los meses 2021, presentando mínimos de 30 % y máximos de hasta 70% y una tendencia positiva en el último trimestre.

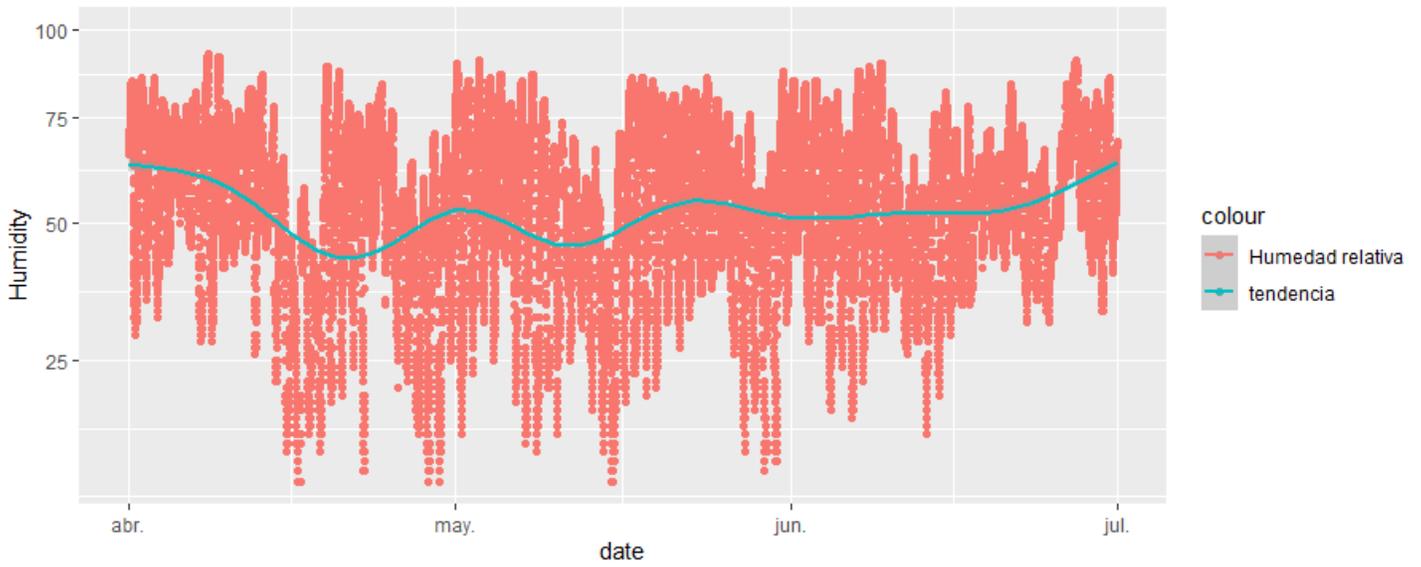


Figura 38. Comportamiento de la humedad relativa para el trimestre abril–junio de 2022

3.4 Radiación Solar

Figura 39. Comportamiento de la radiación solar para el trimestre abril–junio de 2022

3.5 Presión

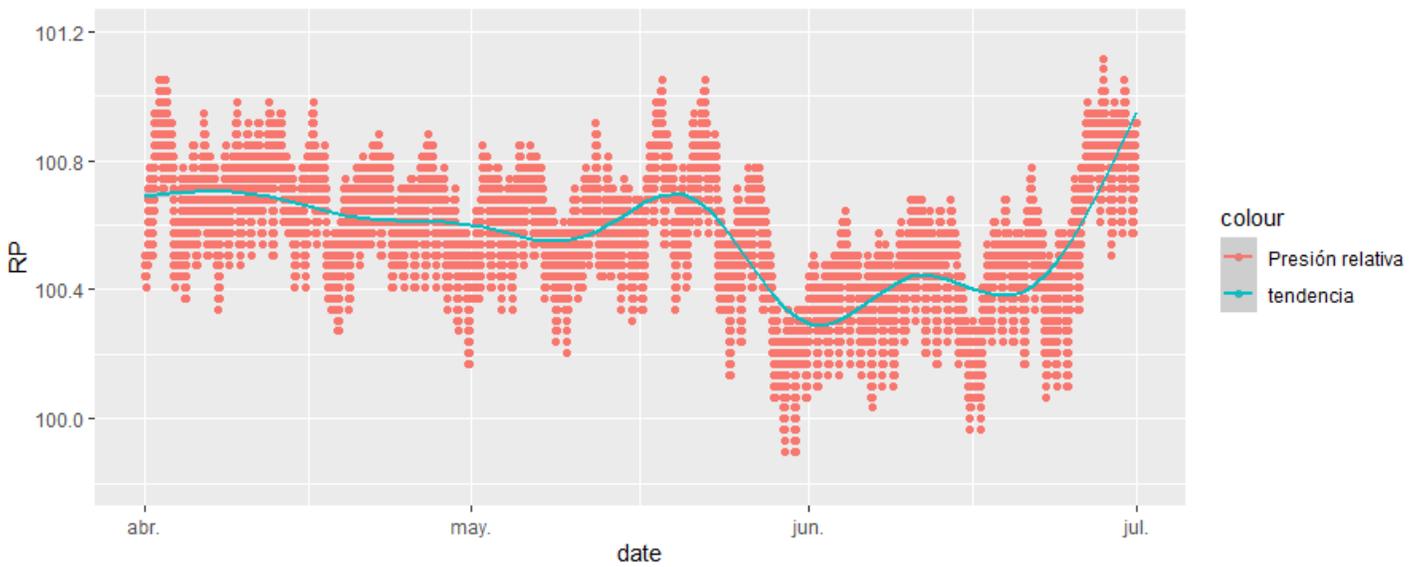


Figura 40. Comportamiento de la presión en el trimestre abril–junio de 2022

5 Referencias

Bermúdez- Contreras, A., Ivanova, A., & Martinez, J. TO. (2017). Polluting Emissions in the City of La Paz, Mexico: Emissions Inventory and Monitoring Data. *Current Urban Studies*, 5, 54-67.

CICIMAR-IPN, 2013. Reporte SIP20113161. Evaluación geoquímica del material eólico de la ciudad de La Paz, como posible fuente de aporte a la cuenca sedimentaria marina Alfonso, Bahía de la paz, BCS, México

COFEPRIS. (2017). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. Retrieved June 2, 2021, from <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>

INEGI. (2020). Población. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/#Tabulados>

Mukherjee, A. (2002). *Perspectives of the Silent Majority: Air Pollution, Livelihood and Food Security*. Concept Publishing Company.

National Research Council. (n.d.). CDC - Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH): Nitrogen dioxide - NIOSH Publications and Products. Retrieved June 21, 2021, from <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/10102440.html>

Council, N. R. (n.d.). CDC - Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH): Ozone - NIOSH Publications and Products. Retrieved June 21, 2021, from <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/10028156.html>

Organización Mundial de la Salud. (2016). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Retrieved October 17, 2019, from Nota descriptiva website: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

ProAire (2018) Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Baja California Sur, México; Baja California Sur . Recuperado el 05 mayo de 2021 a partir de [:https://setuesbcs.gob.mx/sustentabilidad/25_proaire_baja_california_sur.pdf](https://setuesbcs.gob.mx/sustentabilidad/25_proaire_baja_california_sur.pdf)

SDEMARN (2016). Datos básicos de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur.

SEMARNAT. (2013). Calidad del aire: Una práctica de vida. In Cuadernos de divulgación ambiental (Vol. 39).

Velasco García, JA (2009). Ambientes geológicos costeros del litoral de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. CICIMAR - Instituto Politécnico Nacional.

