

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN
ATMOSFERICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS
ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERONIMO - CUSCO,
2024**

PRESENTADO POR:

Br. ELVIS GERILLO MACHACCA

Br. FRANCKLIN GUTIERREZ PUMA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Dr. EDWIN ASTETE SAMANEZ

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor EDWIN ASTETE SAMANEZ
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: RELACIÓN DEL MODELIAMIENTO DE
DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS
ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERONIMO - CUSCO, 2024

Presentado por: ELVIS GERILLO MACHACCA DNI N° 74628268 ;
presentado por: FRANKLIN GUTIERREZ POMA DNI N°: 74828410
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

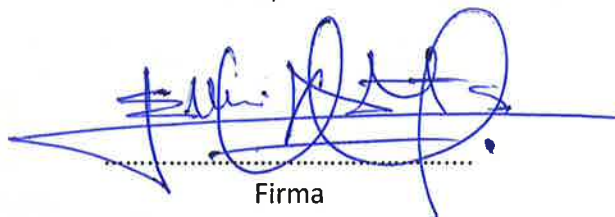
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 2 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de ENERO de 2026


Firma

Post firma EDWIN ASTETE SAMANEZ

Nro. de DNI 25222417

ORCID del Asesor 0000-0001-7696-7371

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546529891

ELVIS - FRANCKLIN GERILLO MACHACCA - GUTIE...

TESIS FINAL RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTAN...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:546529891

398 páginas

Fecha de entrega

15 ene 2026, 3:28 p.m. GMT-5

72.385 palabras

364.532 caracteres

Fecha de descarga

15 ene 2026, 3:48 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓNpdf

Tamaño del archivo

38.8 MB




2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
15 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
DEDICATORIAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
ÍNDICE DE PLANOS	34
RESUMEN	35
ABSTRACT.....	36
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	37
1.1. Planteamiento de Problema	37
1.2. Formulación del problema.....	38
1.2.1. Problema general	38
1.2.2. Problemas específicos	38
1.4. Objetivos de la investigación.....	38
1.4.1. Objetivo general.....	38
1.4.2. Objetivos Específicos.....	39
1.3. Justificación de la investigación	39
1.3.1. Conveniencia.....	39
1.3.2. Relevancia social.	40
1.3.3. Implicancias prácticas.	40
1.3.4. Valor teórico	40
1.3.5. Utilidad metodológica.....	41
1.5. Delimitación de la investigación.	41
1.5.1. Delimitación espacial.....	41

1.5.2.	Delimitación temporal	41
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		42
2.1.	Antecedentes de la Investigación	42
2.1.1.	Antecedente nacional	42
2.1.2.	Antecedente internacional.....	44
2.2.	Bases Teóricas.....	47
2.2.1.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....	47
2.2.1.1.	El proceso de tratamiento de aguas tiene tres fases principales:	47
2.2.1.2.	Componentes del proceso de funcionamiento de la PTAR k'ayra, San Jerónimo cusco.....	48
2.2.2.	Bacterias en el Tratamiento de Aguas Residuales	54
2.2.3.	Áreas de difusión de olores de la Planta de Tratamiento.....	54
2.2.4.	La causa de los malos olores en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	54
2.2.4.1.	Tipos de componentes causantes de olor	55
2.2.5.	Emisiones de sustancias odoríferas en las PTARs.....	55
2.2.6.	Contaminación Odorífera.....	56
2.2.7.	Estándares de índices de calidad atmosférica (ECA) del Ministerio del medio ambiente del Perú.....	56
2.2.8.	Fuentes de emisión.....	58
2.2.8.1.	Fuentes estables	58
2.2.8.2.	Fuentes móviles	58

2.2.9.	Dispersión Atmosférica	58
2.2.10.	Tipos de modelos de dispersión atmosférica	59
2.2.11.	Transporte de contaminantes	59
2.2.12.	Ecuación de transporte	59
2.2.12.1.	Modelo de transporte	59
2.2.13.	Esquema de las ecuaciones de advección; difusión y sedimentación	60
2.2.13.1.	Ecuación de Advección.....	60
2.2.13.2.	Ecuación de Difusión:	61
2.2.13.3.	Sedimentación.....	61
2.2.14.	Modelos de conservación de masa.....	61
2.2.14.1.	Ecuación de conservación de masa.....	61
2.2.15.	Perfiles de emisión y radiación	62
2.2.15.1.	Altura de mezcla	62
2.2.15.2.	Albedo.....	62
2.2.15.3.	Ratio de Bowen.....	62
2.2.16.	Absorción de radiación y la ley de beer - lambert	63
2.2.16.1.	Ley de Beer-Lambert	63
2.2.17.	Transferencia radiactiva y la ley de rayleigh	63
2.2.17.1.	Transferencia radiactiva.....	63
2.2.17.2.	Ley de Rayleigh	64
2.2.18.	Constante de fotólisis y reacciones fotoquímicas	64

2.2.18.1. Constante de fotólisis	64
2.2.18.2. Mecanismos fotoquímicos	65
2.2.19. Cinética química	65
2.2.20. Solución numérica de la dispersión	65
2.2.21. Modelos de dispersión (EPISODE, ODEPARK) y ascenso de plumas.	66
2.2.21.1. Modelos EPISODE y ODEPARK	66
2.2.21.2. La ecuación toma en cuenta	66
2.2.22. Modelo AERMOD 8.9.0:.....	67
2.2.22.1. Modelo de penacho gaussiano de estado estacionario	67
2.2.23. Características principales del modelo AERMOD 8.9.0:	68
2.2.23.1. Simulación de la dispersión de contaminantes:	68
2.2.23.2. Modelo basado en la física atmosférica	68
2.2.23.3. Componentes del Software AERMOD 8.9.0	69
2.2.24. Funciones del Software AERMOD 8.9.0:	69
2.2.24.1. Predicción de la dispersión de contaminantes	69
2.2.24.2. Evaluación del impacto de emisiones:	69
2.2.25. Selección del modelo de dispersión	69
2.2.26. Datos meteorológicos.....	70
2.3. Definición de términos básicos	70
2.4. Hipótesis.....	77
2.4.1. Hipótesis general.....	77

2.4.2.	Hipótesis específicas	77
2.4.3.	Operacionalización de variables	77
CAPITULO III: METODOLOGÍA		79
3.1.	Alcance de estudio:	79
3.2.	Diseño de investigación	79
3.3.	Población de estudio.....	79
3.4.	Tamaño de muestra	80
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	80
3.5.1.	Estimación de emisiones.....	80
3.5.2.	Fuentes Puntuales (fijas)	80
3.5.3.	Fuentes de área:.....	81
3.5.3.1.	Puntos de emisión PTAR k'ayra	81
3.5.4.	Parámetros meteorológicos	83
3.5.5.	Recolección de datos topográficos.....	94
3.5.6.	Modelo de dispersión atmosférica	94
3.5.6.1.	Aermet.....	95
3.5.6.2.	Aermap.....	96
3.5.7.	Medición de concentración de las sustancias odoríferas fuera de la PTAR	
	97	
3.5.7.1.	Estación de monitoreo.....	97
3.5.8.	Fases de modelación	98
3.5.9.	Revisión documental.....	98

3.6. Validez y confiabilidad de instrumentos	99
3.6.1. Confiabilidad de instrumentos:	99
3.6.1.1. Puntos de control de emisión	99
3.6.1.2. Mediciones de datos meteorológicos	99
3.6.1.3. Levantamientos Topográficos.....	99
3.6.1.4. Software ISC AERMOD 8.9.0.....	99
3.6.2. Validación de instrumentos:	100
3.6.2.1. Pruebas Piloto	100
3.6.2.2. Comparación con Estándares	100
3.6.2.3. Revisión de Expertos	100
3.8. Plan de análisis de datos.....	100
3.8.1. Organización de Datos:	100
3.8.2. Análisis Descriptivo:	100
3.8.3. Modelamiento de dispersión:.....	101
3.8.4. Análisis Correlacional:	101
3.8.5. Análisis Espacial y Temporal:	101
3.8.6. Pruebas de Hipótesis:.....	101
CAPITULO IV: RESULTADOS	103
4.1. Dispersión de las sustancias odoríferas	106
4.1.1 Análisis de Datos meteorológicos en el preprocesador Aermet.	106
4.1.2 Dispersión de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en el aire.	130
4.1.3 Dispersión de sulfuro de hidrogeno (H ₂ S) en el aire.	158

4.1.4 Dispersión de Ozono (O_3) en el aire.	188
4.1.5 Dispersión de amoníaco (NH_3) en el aire.	216
4.1.6 Dispersión de gases de cloro (Cl_2) en el aire.	245
4.1.7 Dispersión de monóxido de carbono (CO) en el aire.	273
4.1.8 Concentraciones de contaminantes a partir de la dispersión modelado con AERMOD 8.9.0 ($\mu g/m^3$).....	300
4.2. Concentración de las sustancias odoríferas.....	303
4.2.1 Concentración de dióxido de azufre (SO_2) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024.....	304
4.2.2 Concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en horas de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024.....	306
4.2.3 Concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024.....	308
4.2.4 Concentración de ozono troposférico (O_3) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024.....	311
4.2.5 Concentración de amoníaco (NH_3) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024	313
4.2.6 Concentración de cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024.....	315
4.2.7 Concentración de monóxido de carbono (CO) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024.....	317
4.2.8 Concentraciones de contaminantes medidas en campo ($\mu g/m^3$)	319

4.3. Grado de correlación entre la distribución atmosférica temporal y la concentración de sustancias odoríferas	329
4.3.1 Grado de correlación de Dióxido de azufre (SO ₂).....	329
4.3.2 Grado de correlación de Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	333
4.3.3 Grado de correlación de Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).....	337
4.3.4 Grado de correlación de Ozono (O ₃)	341
4.3.5 Grado de correlación de Amoníaco (NH ₃)	345
4.3.6 Grado de correlación de gases de Cloro (Cl ₂)	348
4.3.7 Grado de correlación de Monóxido de carbono (CO)	352
4.4 Relación entre el modelamiento de dispersión atmosférica y la concentración de sustancias odoríferas emitidas.	355
4.4.1 Correlación entre datos de campo y modelados – Análisis estadístico	355
CAPITULO V: DISCUSION	360
5.1. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos.....	360
5.2. Limitaciones del estudio.....	361
5.3. Comparación critica con la literatura existente	362
5.4. implicancias del estudio	365
CONCLUSIONES	366
RECOMENDACIONES.....	368
REFERENCIAS.....	372
CAPÍTULO ANEXOS.....	376

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser mi fuente de fuerza e inspiración a lo largo de este proceso académico. A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio constante, pilares fundamentales en mi vida. A mi hermano Alex, por su apoyo moral y compañía en todo momento. Y a todas las personas que me brindaron su ayuda y conocimientos para hacer posible esta investigación.

Francklin Gutierrez Puma

A Dios, por ser la fuente de mi fortaleza y sabiduría, guiándome siempre. A mis padres, Roger Gerillo Lima y Hilaria Machacca Apaza, por enseñarme el valor del esfuerzo. A mi abuelita Andrea Lima León, cuyo amor incondicional ha sido bálsamo en cada etapa de mi vida. Y a mis hermanos, con quienes comparto sueños, sacrificios y alegrías.

Elvis Gerillo Machacca

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Estándares de índices de calidad atmosférica (ECA) del (MINAM).</i>	57
Tabla 2: <i>Operacionalización de variables</i>	78
Tabla 3: <i>Inventario de emisiones (Fuentes de Área)</i>	82
Tabla 4: <i>Resumen valores máximos de las 06, 12 y 18 horas año 2024</i>	83
Tabla 5: <i>Tasas de emisión en unidades de tratamiento del año 2024</i>	83
Tabla 6: <i>Velocidad y Dirección del viento a la escala horaria del año 2024.</i>	85
Tabla 7: <i>Ubicación del área de modelamiento</i>	103
Tabla 8: <i>Contaminantes atmosféricos modelados, fuentes en la PTAR y justificación de inclusión en el estudio – PTAR San Jerónimo, Cusco (2024)</i>	104
Tabla 9: <i>Concentraciones Anual de contaminantes modeladas con AERMOD 8.9.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	300
Tabla 10: <i>Concentraciones mensuales de contaminantes modeladas con AERMOD 8.9.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	300
Tabla 11: <i>Coeficiente de Variación por contaminante</i>	301
Tabla 12: <i>emisiones promedias horarios de contaminantes modeladas con AERMOD 8.9.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	302
Tabla 13: <i>Resumen valores de modelo– Enero a diciembre 2024 y comparación con los límites máximos permisibles</i>	302
Tabla 14: <i>Límites referenciales de calidad del aire para contaminantes odoríferos y gases criterio utilizados en el estudio.</i>	303
Tabla 15: <i>Concentraciones mensuales de contaminantes registrados ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	319
Tabla 16: <i>Cuantificación máxima diaria de emisiones modelados con AERMOD 8.9.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 2024</i>	320
Tabla 17: <i>Dióxido de azufre (SO_2) – Comparación mensual</i>	329

Tabla 18: <i>Correlación de spearman entre SO₂ (Campo) y SO₂_1 (Modelado)</i>	331
Tabla 19: <i>Estadísticos descriptivos de concentración de SO₂ – Modelamiento vs. Medición en campo (2024)</i>	331
Tabla 20: <i>Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para la concentración de SO₂ – Campo vs. Modelado (2024)</i>	332
Tabla 21: <i>Promedios horarios de SO₂ (µg/m³) - 2024</i>	333
Tabla 22: <i>Dióxido de nitrógeno (NO₂) – Comparación mensual</i>	333
Tabla 23: <i>Correlación de Spearman entre NO₂ (Campo) y NO₂_1 (Modelado)</i>	334
Tabla 24: <i>Estadísticos descriptivos de concentración de NO₂</i>	335
Tabla 25: <i>Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para NO₂</i>	335
Tabla 26: <i>Comparación de desviaciones estándar para NO₂</i>	336
Tabla 27: <i>Promedios horarios de NO₂ (µg/m³)</i>	337
Tabla 28: <i>Sulfuro de hidrógeno (H₂S) – Comparación mensual</i>	337
Tabla 29: <i>Correlación de Spearman en H₂S</i>	338
Tabla 30: <i>Estadísticos descriptivos de concentración de H₂S</i>	339
Tabla 31: <i>Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para la concentración de H₂S</i>	339
Tabla 32: <i>Comparación de desviaciones estándar para la concentración de H₂S</i>	340
Tabla 33: <i>Promedios horarios de H₂S</i>	341
Tabla 34: <i>Ozono (O₃) – correlación mensual</i>	341
Tabla 35: <i>Correlación de Spearman de O₃</i>	342
Tabla 36: <i>Estadísticos descriptivos de concentración de O₃</i>	343
Tabla 37: <i>Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para la concentración de O₃</i>	343
Tabla 38: <i>Comparación de desviaciones estándar para la concentración de O₃</i>	344

Tabla 39: <i>Promedios horarios de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	344
Tabla 40: <i>Amoníaco (NH_3) – Comparación mensual</i>	345
Tabla 41: <i>Correlación de Spearman entre NH_3 (Campo) y NH_3_1 (Modelado)</i>	346
Tabla 42: <i>Estadísticos descriptivos de concentración de NH_3</i>	346
Tabla 43: <i>Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para NH_3</i>	347
Tabla 44: <i>Comparación de desviaciones estándar para la concentración de NH_3</i>	348
Tabla 45: <i>Promedios horarios de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	348
Tabla 46: <i>Cloro gaseoso (Cl_2) – Comparación mensual</i>	348
Tabla 47: <i>Correlación de Spearman de Cl_2</i>	349
Tabla 48: <i>Estadísticos descriptivos de concentración de Cl_2</i>	350
Tabla 49: <i>Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para Cl_2</i>	350
Tabla 50: <i>Comparación de desviaciones estándar para la concentración de Cl_2 – Campo vs. Modelado (2024)</i>	351
Tabla 51: <i>Promedios horarios de Cl_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Campo vs. Modelo (2024)</i>	352
Tabla 52: <i>Monóxido de carbono (CO) – Comparación mensual</i>	352
Tabla 53: <i>Correlación de Spearman en monóxido de carbono (CO)</i>	353
Tabla 54: <i>Estadísticos descriptivos de concentración de CO</i>	354
Tabla 55: <i>Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para CO</i>	354
Tabla 56: <i>Comparación de desviaciones estándar para la concentración de CO</i>	355
Tabla 57: <i>Promedios horarios de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	355
Tabla 58: <i>Correlación de Spearman entre concentraciones medidas en campo y modeladas mensuales (2024)</i>	357
Tabla 59: <i>Correlación de Spearman entre concentraciones medidas en campo y modeladas (promedios anuales y horarios, 2024)</i>	358
Tabla 60: <i>Matriz de consistencia</i>	369

Tabla 61: <i>Matriz de instrumento.....</i>	371
Tabla 62: <i>Registro de Datos Meteorológicos del 2024 en la escala Diaria por SENAMHI.</i>	
<i>.....</i>	389

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Puntos de emisión de sustancias odoríferas de la PTAR san jerónimo cusco</i>	49
Figura 2: <i>Diagrama de flujo PTAR San Jerónimo</i>	49
Figura 3: <i>Flujograma de sub tratamientos – PTAR de San Jerónimo cusco</i>	50
Figura 4: <i>Descripción de tratamiento primario y sub procesos</i>	50
Figura 5: <i>Descripción de tratamiento secundario y sub procesos</i>	51
Figura 6: <i>Descripción de desinfección y sub procesos</i>	52
Figura 7: <i>Proceso global de la contaminación odorífera</i>	56
Figura 8: <i>Componentes de proceso de la calidad del aire</i>	58
Figura 9: <i>Dispersión de contaminante de aire</i>	59
Figura 10: <i>Modelo de Penacho Gaussiano</i>	67
Figura 11: <i>Certificación de datos meteorológicos brindados por la dirección zonal 12 SENAMI del 2024 a escala horaria</i>	84
Figura 12: <i>Algoritmo de Modelación</i>	97
Figura 13: <i>Diseño Metodológico del trabajo de simulación de la dispersión de las sustancias odoríferas en la zona</i>	98
Figura 14: <i>Planeamiento del Modelo Cuantitativo</i>	102
Figura 15: <i>Distribución espacial de la concentración modelada de la PTAR san Jerónimo Cusco – Escenario de máxima de 6 horas</i>	104
Figura 16: <i>Datos meteorológicos procesados para modelamiento (archivo AERMET SFC, 2024)</i>	106
Figura 17: <i>SO₂ Concentración promedio diaria enero 2024</i>	107
Figura 18: <i>Isoconcentraciones máximas del mes de enero máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	107
Figura 19: <i>SO₂ Concentración promedio diaria febrero 2024</i>	108
Figura 20: <i>SO₂ Rosa de viento Día 11 de febrero 2024</i>	108

Figura 21: <i>Isoconcentraciones del mes de febrero máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	109
Figura 22: <i>SO₂ Concentración promedio diaria marzo 2024</i>	109
Figura 23: <i>Isoconcentraciones del mes de marzo máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	110
Figura 24: <i>SO₂ Concentración promedio diaria abril 2024</i>	110
Figura 25: <i>Isoconcentraciones del mes de abril máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	111
Figura 26: <i>SO₂ Concentración promedio diaria mayo 2024</i>	112
Figura 27: <i>Isoconcentraciones del mes de mayo máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	112
Figura 28: <i>SO₂ — Concentración promedio diaria — junio 2024</i>	113
Figura 29: <i>SO₂ — Rosa de viento — Día 24 de junio 2024</i>	113
Figura 30: <i>Isoconcentraciones del mes de junio máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	114
Figura 31: <i>SO₂ — Concentración promedio diaria — Julio 2024</i>	114
Figura 32: <i>SO₂ — Rosa de viento — Día 14 de julio 2024</i>	115
Figura 33 <i>Isoconcentraciones del mes de julio máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	116
Figura 34: <i>SO₂ — Concentración promedio diaria — agosto 2024</i>	117
Figura 35: <i>SO₂ — Rosa de viento — Día 25 de agosto 2024</i>	117
Figura 36: <i>Isoconcentraciones del mes de agosto máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	118
Figura 37: <i>SO₂ — Concentración promedio diaria — septiembre 2024</i>	119
Figura 38: <i>SO₂ — Rosa de viento — Día 22 de septiembre 2024</i>	119
Figura 39: <i>Isoconcentraciones del mes de setiembre máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	120
Figura 40: <i>SO₂ — Concentración promedio diaria — octubre 2024</i>	121
Figura 41: <i>SO₂ — Rosa de viento — Día 21 de octubre 2024</i>	121
Figura 42: <i>Isoconcentraciones del mes de octubre máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	122
Figura 43: <i>SO₂ — Concentración promedio diaria — noviembre 2024</i>	123
Figura 44: <i>SO₂ — Rosa de viento — Día 16 de noviembre 2024</i>	123
Figura 45: <i>Isoconcentraciones del mes de noviembre máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	124

Figura 46: <i>SO₂ — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024</i>	125
Figura 47: <i>SO₂ — Rosa de viento — Día 12 de diciembre 2024</i>	125
Figura 48: <i>Isoconcentraciones del mes de diciembre máximos del SO₂ (µg/m³)</i>	126
Figura 49: <i>Isoconcentraciones anual del SO₂ (µg/m³)</i>	127
Figura 50: <i>Isoconcentraciones 24 horas del SO₂ (µg/m³)</i>	127
Figura 51: <i>Isoconcentraciones horarias cada 6 horas máximas del SO₂ (µg/m³)</i>	128
Figura 52: <i>Isoconcentraciones horarias cada 12 horas máximas del SO₂ (µg/m³)</i>	129
Figura 53: <i>Isoconcentraciones horarias cada 18 horas máximas del SO₂ (µg/m³)</i>	129
Figura 54: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 23 de enero 2024</i>	131
Figura 55: <i>Isoconcentración del mes de enero de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0</i> <i>– 2024</i>	131
Figura 56: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — Febrero 2024</i>	132
Figura 57: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 16 de febrero 2024</i>	133
Figura 58: <i>Isoconcentraciones del mes de febrero de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 – 2024</i>	133
Figura 59: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — Marzo 2024</i>	134
Figura 60: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 6 de marzo 2024</i>	135
Figura 61: <i>Isoconcentraciones del mes de marzo de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 – 2024</i>	135
Figura 62: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — abril 2024</i>	136
Figura 63: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 16 de abril 2024</i>	137
Figura 64: <i>Isoconcentraciones del mes de abril de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 – 2024</i>	137
Figura 65: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — mayo 2024</i>	138
Figura 66: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 26 de mayo 2024</i>	139

Figura 67: <i>Isoconcentraciones del mes de mayo de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 – 2024.....	139
Figura 68: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — Junio 2024</i>	140
Figura 69: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 25 de junio 2024</i>	141
Figura 70: <i>Isoconcentraciones del mes de junio de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 – 2024.....	141
Figura 71: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — Julio 2024</i>	142
Figura 72: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 20 de julio 2024</i>	143
Figura 73: <i>Isoconcentraciones del mes de julio de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 – 2024.....	143
Figura 74: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — agosto 2024</i>	144
Figura 75: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 10 de agosto 2024</i>	145
Figura 76: <i>Isoconcentraciones del mes de agosto de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 – 2024.....	145
Figura 77: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — Septiembre 2024</i>	146
Figura 78: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 1 de septiembre 2024</i>	147
Figura 79: <i>Isoconcentraciones del mes de setiembre de NO₂ (µg/m³) modelada con</i> <i>AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	147
Figura 80: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — Octubre 2024</i>	148
Figura 81: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 20 de octubre 2024</i>	149
Figura 82: <i>Isoconcentraciones del mes de octubre de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 – 2024.....	149
Figura 83: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — noviembre 2024</i>	150
Figura 84: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 19 de noviembre 2024</i>	151

Figura 85: <i>Isoconcentraciones del mes de noviembre de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	151
Figura 86: <i>NO₂ — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024</i>	152
Figura 87: <i>NO₂ — Rosa de viento — Día 09 de diciembre 2024</i>	153
Figura 88: <i>Isoconcentraciones del mes de diciembre de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	153
Figura 89: <i>Isoconcentraciones anual de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	154
Figura 90: <i>Isoconcentración cada 24 horas más alta de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	155
Figura 91: <i>Isoconcentración cada 6 horas más alta de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024.....</i>	155
Figura 92: <i>Isoconcentración cada 12 horas más alta de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	156
Figura 93: <i>Isoconcentración cada 18 horas más alta de NO₂ (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	157
Figura 94: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Enero 2024.....</i>	158
Figura 95: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 10 de enero 2024</i>	159
Figura 96 : <i>Isoconcentraciones del mes de enero de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....</i>	159
Figura 97: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Febrero 2024</i>	161
Figura 98: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 15 de febrero 2024</i>	161
Figura 99: <i>Isoconcentraciones del mes de febrero de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....</i>	162
Figura 100: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Marzo 2024</i>	163

Figura 101: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 25 de marzo 2024</i>	163
Figura 102: <i>Isoconcentraciones del mes de marzo de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 2024</i>	164
Figura 103: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — abril 2024</i>	165
Figura 104: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 18 de abril 2024</i>	165
Figura 105: <i>Isoconcentraciones del mes de abril de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 2024</i>	166
Figura 106: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Mayo 2024</i>	166
Figura 107: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 24 de mayo 2024</i>	167
Figura 108: <i>Isoconcentraciones del mes de mayo de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 2024</i>	168
Figura 109: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Junio 2024</i>	169
Figura 110: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 10 de junio 2024</i>	169
Figura 111: <i>Isoconcentraciones del mes de junio de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 2024</i>	170
Figura 112: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Julio 2024</i>	170
Figura 113: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 30 de julio 2024</i>	171
Figura 114: <i>Isoconcentraciones del mes de julio de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 2024</i>	172
Figura 115: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — agosto 2024</i>	173
Figura 116: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 10 de agosto 2024</i>	174
Figura 117: <i>Isoconcentraciones del mes de agosto de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD</i> <i>8.9.0 2024</i>	174
Figura 118: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — septiembre 2024</i>	175
Figura 119: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 29 de septiembre 2024</i>	176

Figura 120: <i>Isoconcentraciones del mes de setiembre de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 2024</i>	176
Figura 121: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Octubre 2024</i>	177
Figura 122: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 02 de octubre 2024</i>	178
Figura 123: <i>Isoconcentraciones del mes de octubre de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....</i>	178
Figura 124: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Noviembre 2024</i>	179
Figura 125: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 05 de noviembre 2024</i>	180
Figura 126: <i>Isoconcentraciones del mes de noviembre de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 2024</i>	180
Figura 127: <i>H₂S — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024.....</i>	181
Figura 128: <i>H₂S — Rosa de viento — Día 31 de diciembre 2024</i>	182
Figura 129: <i>Isoconcentraciones del mes de diciembre de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 2024</i>	182
Figura 130: <i>Dispersión modelada 24 horas del H₂S – Concentración horaria máxima (ug/m³).....</i>	183
Figura 131: <i>Isoconcentración anual de de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024.....</i>	184
Figura 132: <i>Isoconcentración cada 6 horas más altas de de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	185
Figura 133: <i>Isoconcentración cada 12horas más altas de de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	186
Figura 134: <i>Isoconcentración cada 18 horas más altas de H₂S (µg/m³) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024</i>	187
Figura 135: <i>O₃ — Concentración promedio diaria — enero 2024</i>	188

Figura 136: O_3 — Rosa de viento — Día 05 de enero 2024	188
Figura 137: Isoconcentraciones del mes de enero de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	189
Figura 138: O_3 — Concentración promedio diaria — Febrero 2024	190
Figura 139: O_3 — Rosa de viento — Día 20 de febrero 2024	190
Figura 140: Isoconcentraciones del mes de febrero de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	191
Figura 141: O_3 — Concentración promedio diaria — Marzo 2024	192
Figura 142: O_3 — Rosa de viento — Día 28 de marzo 2024	192
Figura 143: Isoconcentraciones del mes de marzo de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	193
Figura 144: O_3 — Concentración promedio diaria — Abril 2024	194
Figura 145: O_3 — Rosa de viento — Día 18 de abril 2024	194
Figura 146: Isoconcentraciones del mes de abril de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	195
Figura 147: O_3 — Concentración promedio diaria — Mayo 2024	196
Figura 148: O_3 — Rosa de viento — Día 11 de mayo 2024	196
Figura 149: Isoconcentraciones del mes de mayo de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	197
Figura 150: O_3 — Concentración promedio diaria — Junio 2024.....	198
Figura 151: O_3 — Rosa de viento — Día 02 de junio 2024.....	198
Figura 152: Isoconcentraciones del mes de junio de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	199
Figura 153: O_3 — Concentración promedio diaria — Julio 2024.....	200
Figura 154: O_3 — Rosa de viento — Día 31 de julio 2024.....	200

Figura 155: <i>Isoconcentraciones del mes de julio de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	201
Figura 156: <i>O_3 — Concentración promedio diaria — Agosto 2024</i>	202
Figura 157: <i>O_3 — Rosa de viento — Día 12 de agosto 2024</i>	202
Figura 158: <i>Isoconcentraciones del mes de agosto de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	203
Figura 159: <i>O_3 — Concentración promedio diaria — Septiembre 2024.....</i>	204
Figura 160: <i>O_3 — Rosa de viento — Día 09 de septiembre 2024.....</i>	204
Figura 161: <i>Isoconcentraciones del mes de setiembre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con</i>	
<i>AERMOD 8.9.0 2024</i>	205
Figura 162: <i>O_3 — Concentración promedio diaria — Octubre 2024</i>	206
Figura 163: <i>O_3 — Rosa de viento — Día 31 de octubre 2024.....</i>	206
Figura 164: <i>Isoconcentraciones del mes de octubre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	207
Figura 165: <i>O_3 — Concentración promedio diaria — Noviembre 2024</i>	208
Figura 166: <i>O_3 — Rosa de viento — Día 15 de noviembre 2024</i>	208
Figura 167: <i>Isoconcentraciones del mes de noviembre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con</i>	
<i>AERMOD 8.9.0 2024</i>	209
Figura 168: <i>O_3 — Concentración promedio diaria — diciembre 2024.....</i>	210
Figura 169: <i>O_3 — Rosa de viento — Día 04 de diciembre 2024</i>	210
Figura 170: <i>Isoconcentraciones del mes de diciembre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con</i>	
<i>AERMOD 8.9.0 2024</i>	211
Figura 171: <i>Distribución espacial de concentraciones máximas 24 horas de O_3 modeladas</i>	
<i>con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco</i>	212

Figura 172: Isoconcentración cada 6 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024.....	213
Figura 173: Isoconcentración cada 12 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024	214
Figura 174: Isoconcentración cada 18 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024	215
Figura 175: NH_3 — Concentración promedio diaria — Enero 2024	216
Figura 176: NH_3 — Rosa de viento — Día 26 de enero 2024	217
Figura 177: Isoconcentraciones del mes de enero de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	218
Figura 178: NH_3 — Concentración promedio diaria — Febrero 2024.....	219
Figura 179: NH_3 — Rosa de viento — Día 11 de febrero 2024.....	219
Figura 180: Isoconcentraciones del mes de febrero de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	220
Figura 181: NH_3 — Concentración promedio diaria — Marzo 2024	221
Figura 182: NH_3 — Rosa de viento — Día 22 de marzo 2024	221
Figura 183: Isoconcentraciones del mes de marzo de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	222
Figura 184: NH_3 — Concentración promedio diaria — Abril 2024.....	223
Figura 185: NH_3 — Rosa de viento — Día 15 de abril 2024.....	223
Figura 186: Isoconcentraciones del mes de abril de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.....	224
Figura 187: NH_3 — Concentración promedio diaria — Mayo 2024	225
Figura 188: NH_3 — Rosa de viento — Día 24 de mayo 2024	225

Figura 189: <i>Isoconcentraciones del mes de mayo de NH₃ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	226
Figura 190: <i>NH₃ — Concentración promedio diaria — Junio 2024</i>	227
Figura 191: <i>NH₃ — Rosa de viento — Día 24 de junio 2024</i>	227
Figura 192: <i>Isoconcentraciones del mes de junio de NH₃ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	228
Figura 193: <i>NH₃ — Concentración promedio diaria — Julio 2024</i>	229
Figura 194: <i>NH₃ — Rosa de viento — Día 14 de julio 2024</i>	229
Figura 195: <i>Isoconcentraciones del mes de julio de NH₃ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	230
Figura 196: <i>NH₃ — Concentración promedio diaria — Agosto 2024</i>	231
Figura 197: <i>NH₃ — Rosa de viento — Día 25 de agosto 2024</i>	231
Figura 198: <i>Isoconcentraciones del mes de agosto de NH₃ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	232
Figura 199: <i>NH₃ — Concentración promedio diaria — Septiembre 2024</i>	233
Figura 200: <i>NH₃ — Rosa de viento — Día 22 de septiembre 2024</i>	233
Figura 201: <i>Isoconcentraciones del mes de setiembre de NH₃ (µg/m³) modelada con</i> <i>AERMOD 8.9.0 2024</i>	234
Figura 202: <i>Concentración promedio diaria — Octubre 2024</i>	235
Figura 203: <i>NH₃ — Rosa de viento — Día 21 de octubre 2024</i>	236
Figura 204: <i>Isoconcentraciones del mes de octubre de NH₃ (µg/m³) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	236
Figura 205: <i>NH₃ — Concentración promedio diaria — Noviembre 2024</i>	237
Figura 206: <i>NH₃ — Rosa de viento — Día 16 de noviembre 2024</i>	238

Figura 207: Isoconcentraciones del mes de noviembre de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024	238
Figura 208: NH_3 — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024	239
Figura 209: NH_3 — Rosa de viento — Día 12 de diciembre 2024	240
Figura 210: Isoconcentraciones del mes de diciembre de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024	240
Figura 211: Distribución espacial de concentraciones máximas 24 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	241
Figura 212: Distribución espacial de concentraciones 6 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	242
Figura 213: Distribución espacial de concentraciones 12 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	243
Figura 214: Distribución espacial de concentraciones 18 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	244
Figura 215: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Enero 2024.....	245
Figura 216: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 20 de enero 2024	246
Figura 217: Isoconcentraciones del mes de enero de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	246
Figura 218: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Marzo 2024	247
Figura 219: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 3 de marzo 2024	248
Figura 220: Isoconcentraciones del mes de febrero de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	249
Figura 221: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Abril 2024	250
Figura 222: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 25 de abril 2024	250

Figura 223 Isoconcentraciones del mes de marzo de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	251
Figura 224: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Mayo 2024	252
Figura 225: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 19 de mayo 2024.....	252
Figura 226 Isoconcentraciones del mes de abril de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	253
Figura 227: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Junio 2024.....	254
Figura 228: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 2 de junio 2024	254
Figura 229 Isoconcentraciones del mes de mayo de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	255
Figura 230: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Julio 2024.....	256
Figura 231: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 22 de julio 2024.....	256
Figura 232: Isoconcentraciones del mes de junio de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	257
Figura 233: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Agosto 2024	258
Figura 234: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 9 de agosto 2024.....	258
Figura 235: Isoconcentraciones del mes de julio de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	259
Figura 236: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Septiembre 2024.....	260
Figura 237: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 27 de septiembre 2024.....	260
Figura 238: Isoconcentraciones del mes de agosto de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	261
Figura 239: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Octubre 2024	262
Figura 240: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 21 de octubre 2024	262

Figura 241: Isoconcentraciones del mes de setiembre de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	263
Figura 242: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Noviembre 2024.....	264
Figura 243: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 26 de noviembre 2024	264
Figura 244 Isoconcentraciones del mes de octubre de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	265
Figura 245: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Diciembre 2024.....	266
Figura 246: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 12 de diciembre 2024	267
Figura 247: Isoconcentraciones del mes de noviembre de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	267
Figura 248: Isoconcentraciones del mes de diciembre de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	268
Figura 249: Mapa de concentración anual de Cloro (Cl_2) – Modelamiento AERMOD 8.9.0.	269
Figura250: Mapa de concentración máxima 24 horas de Cloro (Cl_2) – Modelamiento AERMOD 8.9.0, valor horario más alto.	269
Figura 251: Distribución espacial de concentraciones 6 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	270
Figura 252: Distribución espacial de concentraciones 12 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	271
Figura 253: Distribución espacial de concentraciones 18 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	272
Figura254: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Enero 2024	273
Figura255: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 01 de enero 2024.....	274

Figura256 <i>Isoconcentraciones del mes de enero de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	274
Figura257: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Febrero 2024</i>	
.....	275
Figura258: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 27 de febrero 2024.....</i>	276
Figura 259 <i>Isoconcentraciones del mes de febrero de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	277
Figura260: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Marzo 2024</i>	
.....	278
Figura261: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 07 de marzo 2024.....</i>	278
Figura 262 <i>Isoconcentraciones del mes de marzo de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	279
Figura 263: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Abril 2024</i>	
.....	280
Figura 264: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 12 de abril 2024.....</i>	280
Figura 265 <i>Isoconcentraciones del mes de abril de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	281
Figura 266: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Mayo 2024</i>	
.....	282
Figura 267: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 08 de mayo 2024.....</i>	282
Figura 268: <i>Isoconcentraciones del mes de mayo de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	283
Figura 269: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Junio 2024</i>	
.....	284
Figura 270: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 19 de junio 2024</i>	284

Figura 271: <i>Isoconcentraciones del mes de junio de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	285
Figura 272: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Julio 2024</i>	286
Figura 273: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 27 de julio 2024</i>	286
Figura 274 <i>Isoconcentraciones del mes de julio de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	287
Figura 275: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — agosto 2024</i>	
.....	288
Figura 276: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 27 de agosto 2024</i>	288
Figura 277: <i>Isoconcentraciones del mes de agosto de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	289
Figura 278: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — septiembre</i>	
2024.....	290
Figura 279: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 01 de septiembre 2024</i>	290
Figura 280: <i>Isoconcentraciones del mes de setiembre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con</i>	
<i>AERMOD 8.9.0 2024.</i>	291
Figura 281: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Octubre 2024</i>	
.....	292
Figura 282: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 26 de octubre 2024</i>	292
Figura 283: <i>Isoconcentraciones del mes de octubre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD</i>	
8.9.0 2024.....	293
Figura 284: <i>Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Noviembre</i>	
2024.....	294
Figura 285: <i>Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 20 de noviembre 2024.</i>	294

Figura 286 Isoconcentraciones del mes de noviembre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	295
Figura 287: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — diciembre 2024.....	296
Figura288: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 09 de diciembre 2024...	296
Figura 289: Isoconcentraciones del mes de diciembre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.	297
Figura 290: Concentración máxima 24 horas simulada de CO en el área de estudio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	298
Figura 291: Distribución espacial de concentraciones 6 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	298
Figura 292: Distribución espacial de concentraciones 12 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	299
Figura 293: Distribución espacial de concentraciones 18 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco	300
Figura 294: Tendencia mensual del dióxido de azufre (SO_2) en horas de 6:00, año 2024 ..	304
Figura 295: Tendencia mensual del dióxido de azufre (SO_2) en horas de 12:00, Año 2024	305
Figura 296: Tendencia mensual del dióxido de azufre (SO_2) en horas de 18:00, Año 2024	306
Figura 297: Tendencia mensual del dióxido de nitrógeno (NO_2) en horas de 6:00, 2024 ...	306
Figura 298: Tendencia mensual del dióxido de nitrógeno (NO_2) en horas de 12:00, 2024.	307
Figura 299: Tendencia mensual del dióxido de nitrógeno (NO_2) en horas de 18:00, 2024.	308
Figura 300: Tendencia mensual del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en horas de 6:00, 2024 ...	308
Figura 301: Tendencia mensual del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en horas de 12:00, 2024.	309
Figura 302: Tendencia mensual del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en horas de 18:00, 2024.	310
Figura 303: Tendencia mensual del ozono troposférico (O_3) en horas de 6:00–2024.....	311

Figura 304: <i>Tendencia mensual del ozono troposférico (O_3) en horas de 12:00, 2024</i>	312
Figura 305: <i>Tendencia mensual del ozono troposférico (O_3) en horas de 18:00, 2024</i>	312
Figura 306: <i>Tendencia mensual del amoníaco (NH_3) en horas de 6:00 – Año 2024</i>	313
Figura 307: <i>Tendencia mensual del amoníaco (NH_3) en horas de 12:00 – Año 2024</i>	314
Figura 308: <i>Tendencia mensual del amoníaco (NH_3) en horas de 18:00 – Año 2024</i>	314
Figura 309: <i>Tendencia mensual del cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 6:00 – Año 2024</i>	315
Figura 310: <i>Tendencia mensual del cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 12:00– Año 2024</i>	316
Figura 311: <i>Tendencia mensual del cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 18:00– Año 2024</i>	316
Figura 312: <i>Tendencia mensual del monóxido de carbono (CO) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024</i>	317
Figura 313: <i>Tendencia mensual del monóxido de carbono (CO) en horarios de 12:00– Año 2024</i>	318
Figura 314: <i>Tendencia mensual del monóxido de carbono (CO) en horarios de 18:00– Año 2024</i>	319
Figura 315: <i>Gráfica de series de tiempo de SO_2 -SO_2_1</i>	330
Figura 316: <i>Gráfico de Caja y Bigotes para la concentración de SO_2 – Campo vs. Modelado (2024)</i>	332
Figura 317: <i>Gráfica de series de tiempo de NO_2</i>	334
Figura 318: <i>Gráfico de caja y bigotes para la concentración de NO_2</i>	336
Figura 319: <i>Gráfica de series de tiempo de H_2S</i>	338
Figura 320: <i>Gráfico de caja y bigotes de la concentración de H_2S</i>	340
Figura 321: <i>Gráfica de series de tiempo de O_3</i>	341
Figura 322: <i>Gráfico Caja y Bigotes de concentración de O_3 – Campo vs. Modelado (2024)</i>	343
Figura 323: <i>Gráfica de series de tiempo de NH_3</i>	345

Figura 324: <i>Gráfico Caja y Bigotes para concentraciones de NH₃</i>	347
Figura 325: <i>Gráfica de series de tiempo de Cl₂</i>	349
Figura 326: <i>Gráfico Caja y Bigotes de la concentración de Cl₂</i>	351
Figura 327: <i>Gráfica de series de tiempo de CO; CO₁</i>	352
Figura 328: <i>Gráfico Caja y Bigotes% para la concentración de CO</i>	354
Figura 329: <i>Carta formal de solicitud dirigida al director Zonal del SENAMHI Cusco, facilidades para la obtención de datos hidrometeorológicos para el estudio de modelamiento aerodinámico.</i>	376
Figura 330: <i>Carta institucional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, solicitando facilidades para el desarrollo de tesis</i>	377
Figura 331: <i>Visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de káyra – Distrito de San Jerónimo -Cusco.</i>	378
Figura 332: <i>Punto de monitoreo 01: Identificación del lugar de estudio en las inmediaciones de la planta San Jerónimo, con cartel de registro para tesis.</i>	378
Figura 333: <i>Punto de monitoreo 02 (vista lejana): Validación del punto de evaluación con visibilidad del entorno ambiental inmediato.</i>	378
Figura 334: <i>Punto de monitoreo 03: Registro fotográfico de la ubicación para medición de gases en zona de obras – perímetro externo.</i>	378
Figura 335: <i>Punto de monitoreo 02: Sector con malla de contención y presencia de vegetación seca, donde se realizó recolección de datos.</i>	379
Figura 336: <i>Punto de monitoreo 03: Registro de muestra en campo por integrante del equipo, con cartel de identificación.</i>	379
Figura 337: <i>Punto de monitoreo 03: Actividad de toma de datos en zona vegetada, con visibilidad de cartel de tesis en base de piedra.</i>	379

Figura 338 : <i>Registro de identificación en punto de monitoreo N° 01. Verificación del área de influencia directa en inmediaciones de la planta San Jerónimo.</i>	379
Figura 339: <i>Punto de monitoreo N° 04: Levantamiento de datos en zona verde colindante al cauce del río, en el entorno de la planta.</i>	380
Figura 340: <i>Verificación del sitio de muestreo N° 01 en la zona externa de la planta, con participantes del estudio de campo.....</i>	380
Figura 341: <i>Punto de monitoreo N° 03: Recolección de datos en área vegetada, correspondiente al estudio de sustancias odoríferas.</i>	380
Figura 342: <i>Solicitud de datos meteorológicos</i>	380
Figura 343: <i>Convenio de autorización entre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Jerónimo y Tesistas de la Universidad.</i>	381
Figura 344: <i>Carta de presentación del Decano de la Facultad ante la PTAR San Jerónimo.</i>	382

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: <i>Plano de Localización del Lugar de Estudio</i>	384
Plano 2: <i>Plano general de la PTAR – San Jerónimo</i>	385
Plano 3: <i>Plano de delimitación de área de estudio</i>	386
Plano 4: <i>Plano de diagrama de flujo</i>	387
Plano 5: <i>Plano de Información meteorológica: vientos – dirección y velocidad</i>	388

RESUMEN

El estudio evaluó la relación entre el modelamiento de dispersión atmosférica y las concentraciones reales de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo (Cusco, 2024). Bajo un enfoque cuantitativo correlacional no experimental, se aplicó el esquema AERMET–AERMOD 8.9.0 para procesar la meteorología local y simular SO₂, NO₂, H₂S, NH₃, O₃, Cl₂ y CO. Las isoconcentraciones horarias evidenciaron que SO₂, NO₂, O₃ y Cl₂ permanecieron dentro del ECA nacional, mientras que H₂S (593 µg m⁻³) y CO (12 666 µg m⁻³) superaron los valores guía internacionales y nacionales, respectivamente. El NH₃ alcanzó 118 µg m⁻³, nivel moderado, pero ambientalmente relevante. Las concentraciones máximas se registraron al mediodía, asociadas a mayor radiación y estabilidad atmosférica. Los coeficientes de determinación ($R^2 \approx 1,0$) entre valores modelados y medidos confirman la alta precisión predictiva de AERMOD, validando su aplicabilidad en entornos urbanos andinos. Se concluye que el modelo constituye una herramienta robusta para anticipar impactos y zonas de riesgo, recomendándose la instalación de monitoreo continuo, la modernización de sistemas de desodorización y la inclusión normativa de compuestos odoríferos. Los resultados fortalecen la gestión ambiental y sanitaria de las PTAR, contribuyendo a la protección de la calidad del aire y la salud pública.

Palabras clave: Modelamiento; Dispersión; Odoríferos; Aermod.

ABSTRACT

This study evaluated the relationship between atmospheric dispersion modeling and the actual concentrations of odorous substances emitted by the San Jerónimo Wastewater Treatment Plant (Cusco, 2024). Using a non-experimental, correlational quantitative approach, the AERMET–AERMOD 8.9.0 scheme was applied to process local meteorological data and simulate SO₂, NO₂, H₂S, NH₃, O₃, Cl₂, and CO. Hourly isoconcentrations showed that SO₂, NO₂, O₃, and Cl₂ remained within the national Environmental Quality Standard (EQS), while H₂S (593 µg m⁻³) and CO (12,666 µg m⁻³) exceeded the international and national guideline values, respectively. NH₃ reached 118 µg m⁻³, a moderate but environmentally relevant level. Peak concentrations were recorded at midday, associated with higher radiation and atmospheric stability. The coefficients of determination ($R^2 \approx 1.0$) between modeled and measured values confirm the high predictive accuracy of AERMOD, validating its applicability in Andean urban environments. It is concluded that the model constitutes a robust tool for anticipating impacts and risk zones, and the installation of continuous monitoring, the modernization of deodorization systems, and the regulatory inclusion of odorous compounds are recommended. The results strengthen the environmental and sanitary management of wastewater treatment plants, contributing to the protection of air quality and public health.

Keywords: Modeling; Dispersion; Odoriferous; Aermod.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento de Problema

La planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, ubicada en la cuenca del río Huatanay, sector granja Kayra en Cusco, enfrenta un desafío significativo debido a la emisión de sustancias odoríferas. Estas sustancias, conocidas por su carácter tóxico y olor penetrante, son subproductos inevitables desde hace mucho tiempo del proceso de tratamiento de aguas residuales. La falta de control adecuado sobre la dispersión de estos gases causa un deterioro en la calidad del aire en la zona circundante, lo que genera problemas tanto para la planta como para las instituciones y población circundante. Sin un conocimiento de la dispersión de dichas sustancias en el aire, la planta corre el riesgo latente de ser señalada por incumplir normativas ambientales, lo que deriva en sanciones, demandas o la necesidad de implementar costosas medidas correctivas.

Si la planta de tratamiento continúa emitiendo las sustancias odoríferas sin un control adecuado, se enfrenta a un peligro latente como deterioro de la salud de la población, además de un escrutinio más estricto por parte de las autoridades ambientales. Las consecuencias van desde el incremento del aumento del coeficiente irracional de la población hasta una posible necesidad de reubicar la planta.

Para mitigar estos riesgos, es crucial conocer el mapeo de concentraciones de las sustancias emitidas que serán simuladas en el modelo ISC AERMOD 8.9.0 a base de sus componentes AERMET y AERMAP que sirve para el tratamiento de condiciones meteorológicas y topográficas respectivamente. Los resultados del modelo sirven para predecir y gestionar las concentraciones de dichas sustancias en la cuenca del río Huatanay, Además determinando la relación de los resultados obtenidos del modelo ISC AERMOD 8.9.0 con la medición en las estaciones de monitores fuera de la PTAR San Jerónimo servirá como. Esta

información base para los funcionarios de la planta y a las entidades competentes para tomar acciones sobre los niveles de contaminación antes de que alcancen umbrales peligrosos, garantizando el cumplimiento de las normativas ambientales.

1.2. Formulación del problema

El presente trabajo de grado abarca los siguientes problemas mencionados a continuación de acuerdo a los planteado en el apartado anterior.

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la relación entre los resultados del modelo de dispersión atmosférica y la concentración de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?

1.2.2. Problemas específicos

PE1: ¿Cómo es la dispersión de las sustancias odoríferas en el aire emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?

PE2: ¿Como es la concentración de las sustancias odoríferas dentro de la zona de K'ayra emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?

PE3: ¿Cuál es el grado de correlación entre los resultados del modelo de dispersión atmosférica y la concentración en el terreno de las sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar la relación entre los resultados del modelo de dispersión atmosférica y la concentración de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

OE1: Modelar la dispersión de las sustancias odoríferas en el aire emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024

OE2: Determinar la concentración de las sustancias odoríferas dentro de la zona de K'ayra emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024

OE3: Determinar el grado de correlación entre los resultados del modelo de dispersión atmosférica y la concentración en el terreno de las sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.

1.3. *Justificación de la investigación*

Esta investigación es esencial para comprender la dispersión de las sustancias odoríferas emitidas por la planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, ubicada en la cuenca del río Huatanay, sector granja Kayra-Cusco. Debido a las emisiones de dichas sustancias, la calidad del aire en esta región se ve comprometida, afectando tanto el medio ambiente como la salud de los habitantes. El estudio proporciona datos cruciales que serán la base para un monitoreo y control posterior, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades y la comunidad local.

1.3.1. *Conveniencia.*

La investigación es altamente conveniente porque proporciona información crítica sobre la calidad del aire en la cuenca del río Huatanay, particularmente en el sector granja Kayra-Cusco, donde la planta de tratamiento de aguas residuales de Kayra es una fuente importante de sustancias odoríferas. Esta información es fundamental para el monitoreo y control efectivo de las emisiones de las sustancias odoríferas, que de manera latente afectan

tanto al medio ambiente como a la salud pública. Además, la esta investigación sirve como base para la formulación de políticas ambientales y estrategias de mitigación futuras.

1.3.2. Relevancia social.

La trascendencia de esta investigación para la sociedad es significativa, ya que los resultados benefician directamente a los habitantes de la cuenca del río Huatanay, quienes están expuestos a las emisiones de la planta de tratamiento. Al comprender mejor la dispersión y concentración de las sustancias odoríferas, se podrán tomar decisiones informadas para proteger la salud pública y mejorar la calidad de aire en la región.

1.3.3. Implicancias prácticas.

El estudio ayuda a resolver problemas reales relacionados con la contaminación del aire en la cuenca del río Huatanay. Aunque no se plantea mitigar directamente las emisiones, los datos obtenidos son esenciales para la implementación de futuros sistemas de monitoreo y control. Estas implicancias prácticas son trascendentales, ya que permiten a las autoridades y a la comunidad implementar medidas basadas en evidencia científica para reducir los riesgos asociados a la exposición prolongada a sustancias odoríferas.

1.3.4. Valor teórico

La investigación llena un vacío de conocimiento sobre la relación entre la calidad del aire y las concentraciones de sustancias odoríferas en un contexto específico como la cuenca del río Huatanay. Los resultados obtenidos se generalizan en principios más amplios sobre la dispersión de contaminantes en ambientes similares, y contribuyen al desarrollo de teorías relacionadas con la dinámica de dispersión de sustancias odoríferas en áreas urbanas y rurales. Se espera que esta investigación proporcione una comprensión más profunda de cómo los

factores meteorológicos y topográficos influyen en la concentración de estos contaminantes, lo que podría ser utilizado en estudios futuros.

1.3.5. Utilidad metodológica

La investigación ayuda a desarrollar nuevos instrumentos y metodologías para el monitoreo de la calidad del aire, especialmente en relación con sustancias odoríferas emitidas por plantas de tratamiento de aguas residuales. Además, contribuye a la definición de conceptos clave y variables críticas en el estudio de la contaminación del aire, y sugiere sugerir mejoras en las técnicas de medición y análisis de datos. Los métodos desarrollados podrán ser aplicables a otras regiones con problemas similares, ofreciendo una guía para estudios futuros y para la implementación de estrategias de control más efectivas.

1.5. Delimitación de la investigación.

1.5.1. Delimitación espacial

La investigación se lleva a cabo en la cuenca del río Huatanay, específicamente en el sector granja Kayra, ubicado en la región de Cusco, Perú. Este sector ha sido identificado como un área crítica debido a la presencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, que es la principal fuente de emisión de sustancias odoríferas.

1.5.2. Delimitación temporal

El estudio abarca el análisis de datos correspondientes al año 2024, con un enfoque particular en la evaluación de los registros de emisión y concentración históricos a escala diaria de las sustancias odoríferas en la planta de tratamiento de aguas residuales, así como períodos de condiciones meteorológicas variables que podrían influir en la dispersión de las sustancias odoríferas. Los registros históricos diarios son cruciales para capturar variaciones estacionales y su variación de la calidad del aire.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedente nacional

Antecedente Nacional 1°

Como antecedente nacional de la presente investigación se tiene la tesis “MODELAMIENTO DE LA DISPERSIÓN GEOGRÁFICA DE PM10 PRODUCIDO POR EL SECTOR LADRILLERO UTILIZANDO EL SOFTWARE AERMOD 8.9.0 VIEW EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO 2018”, dicho estudio artículo lo presentó el bachiller Edwin Harol Quispe Chávez. Las conclusiones a la que se arriba son:

Respecto a los mapas de dispersión generados por el programa AERMOD 8.9.0 View, posibilitaron la visualización de las concentraciones de Material Particulado PM10 a través de isolíneas colorimétricas durante un periodo de 24 horas. Se detectó un valor de 133.17 ug/m³ en la fuente de emisión CA-SJ-01 y se detectó una concentración de 85.52 ug/m³ a una distancia media de 2 km, en relación al punto de emisión CA-SJ-01.

La metodología que se utilizó en la presente investigación es de enfoque cuantitativo, descriptiva que plasma toda la teoría a la realidad tal y como se encuentra en un determinado tiempo y espacio, de tipo aplicativo, y de Diseño no experimental.

Se llegó a la Conclusión de que Los mapas de dispersión creados por el programa Aermod View mostraron las concentraciones de Material Particulado PM-10. Esto se hizo a través de isolíneas colorimétricas y incluso puede abarcar periodo de 24 horas. la dispersión de sustancias emitidas en el sector ladrillero se ve influenciado por los parámetros meteorológicos, tales como: temperatura, velocidad y dirección de viento; realizando la comparación de la dispersión de sustancias con la rosa de viento.

Antecedente Nacional 2º

Como antecedente nacional de la presente investigación se tiene la tesis “IMPACTO DE LAS SUSTANCIAS ODORANTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) SAN JERÓNIMO EN LA CALIDAD AMBIENTAL PARA EL TRABAJO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO 2020”, dicho estudio fue realizado por (Mtra. Gutierrez Acuña). en resumen, de dicho antecedente, se tiene:

En relación con las sustancias olfativas que provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR de San Jerónimo, estas llegan desde la percepción del olor hasta los edificios de la Universidad Andina del Cusco, situados en Ccollana San Jerónimo. Esto sugiere que las partículas que se dispersan desde la PTAR de San Jerónimo se encuentran en gran cantidad en el aire.

La metodología que se utilizó en la presente investigación es de Alcance descriptiva, de diseño es no experimental, y de tipo transversal.

En conclusión, La simulación de concentraciones con AERMOD mostró que el sulfuro de hidrógeno (H_2S) es la sustancia con olor más fuerte. Las concentraciones modeladas son cercanas o menores a los límites permitidos, pero pueden causar molestias y efectos notables en las personas expuestas.

Antecedente Nacional 3º

Como antecedente nacional de la presente investigación se tiene la tesis “MODELAMIENTO DE LA DISPERSIÓN DE GASES UTILIZANDO EL AERMOD VERSIÓN 8.9 Y SU RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS DEL CENTRO POBLADO SANTA MARIA DE HUACHIPA, 2019”, dicha investigación fue

realizado por Neyra Rosario Huaynatis Inga para optar al título profesional de ingeniero ambiental, en la facultad de ingeniería:

El estudio se centró en identificar las fuentes de emisión y modelar la dispersión de gases que pueden afectar el medio ambiente. Se analizaron gases como el dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) en diferentes períodos de tiempo, como horario, diario y anualmente. Usando el software AERMOD View, se simuló la concentración de estos gases en lugares específicos. Luego, se compararon estas concentraciones con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para el aire en Perú.

Dicha investigación fue de Diseño No experimental Según Hernández, Fernández y Bautista (2005), de tipo aplicada Según Rodríguez (s.f.) porque a través de la investigación brinda respuestas aplicadas, Enfoque Cuantitativo, y de nivel descriptivo- relacional.

El estudio evidenció que el modelamiento de dispersión atmosférica mediante AERMOD permite relacionar la distribución de contaminantes con los parámetros meteorológicos, principalmente la dirección y velocidad del viento. Asimismo, el modelamiento permitió identificar zonas de influencia y evaluar concentraciones máximas en distintos periodos. Este antecedente respalda el uso del modelamiento como herramienta técnica para analizar la concentración de sustancias odoríferas emitidas por una PTAR.

2.1.2. Antecedente internacional

Antecedente internacional 1º:

Como antecedente internacional de la presente investigación se tiene la tesis “SIMULACIÓN DE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD) DE LA FASE PRELIMINAR DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

DE UDLAPARK” dicha investigación fue desarrollado en la universidad de la salle - BOGOTÁ D.C.

La simulación CFD demostró ser una herramienta eficaz para evaluar y optimizar la fase preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales. Permitió visualizar la dinámica del flujo de aire y su interacción con los componentes de la planta, lo cual facilitó la identificación de posibles mejoras en el diseño.

La metodología se basó en el modelamiento computacional mediante etapas de preprocesamiento, procesamiento y postprocesamiento. Se definió la geometría, el mallado y las condiciones de borde, se ejecutaron las simulaciones numéricas y se analizaron los resultados obtenidos.

Se empleó modelamiento computacional para analizar unidades de una planta de tratamiento, La geometría y las condiciones de borde se definieron según parámetros de diseño reales. Las simulaciones alcanzaron convergencia y permitieron estimar la distribución de velocidades. Los resultados evidenciaron variaciones del flujo dentro de las unidades evaluadas. El estudio respalda el uso del modelamiento en investigaciones ambientales aplicadas a PTAR.

Antecedente internacional 2º:

Como antecedente internacional de la presente investigación también se tiene la tesis “MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO COMO RESULTADO DE LA OPERACIÓN DE MOTORES, TRATADORES, TEA Y SEPARADORES BIFÁSICOS EN UN CAMPO PETROLERO”, dicha investigación fue desarrollado por Pérez Peña, María Paula en la universidad de la Salle - BOGOTÁ D.C.:

Una simulación de un escenario extremo indica que es posible que los empleados de la región experimenten sensaciones de las concentraciones de ácido sulfúrico establecidas por

AERMOD 8.9.0, aunque los niveles sugeridos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales (ACGIH, EPA) no sean excedidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos o la Administración de Salud y Seguridad Laboral para reducir el peligro de repercusiones para la salud de los trabajadores.

La metodología de la presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y aplicado, utilizando el modelamiento de dispersión atmosférica para evaluar la concentración de ácido sulfhídrico (H_2S)

Las concentraciones mostradas por el modelo AERMOD 8.9.0 en el suelo en las comunidades próximas a las fuentes de emisión, después de modelar el caso extremo de liberación de contaminante, no superan las regulaciones. No obstante, es posible que se detecte el ácido sulfhídrico en intervalos de una hora. El Caserío 3 tiene las concentraciones más altas, siendo el Hospital el que sigue con valores de 12.89 y 5.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Antecedente internacional 3º:

Como antecedente internacional de la presente investigación también se tiene la tesis “APLICACIÓN DEL MODELO ISC- AERMOD 8.9.0 PARA LA ESTIMACIÓN DE DISPERSIÓN DE OLORES. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS LA FARFANA”, dicha investigación fue desarrollado en la universidad de Chile, presentado por MARITZA CAROLINA BARRERA CURIHUENTRO.

El estudio evaluó las emisiones de sustancias odoríferas generadas por una PTAR mediante modelamiento de dispersión atmosférica. Se aplicó un modelo gaussiano considerando variables meteorológicas, topográficas y características de las fuentes. Las tasas de emisión de olor fueron estimadas mediante técnicas de medición sensorial. Los resultados del modelamiento fueron validados con mediciones en campo. Se concluyó que el

modelamiento de dispersión permite estimar la concentración de sustancias odoríferas en el entorno.

La metodología de la presente investigación se desarrolló un enfoque cuantitativo y aplicado, utilizando el modelo de dispersión atmosférica ISC-AERMOD para simular la dispersión de olores generados por la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana.

Los resultados del modelo mostraron una correlación significativa con las mediciones en campo, confirmando la utilidad del enfoque para generar mapas de concentración de olores y predecir su impacto en puntos receptores clave. Además, se concluyó que las condiciones meteorológicas, como la velocidad y dirección del viento, tienen un efecto importante en la dispersión de olores, y que es necesario realizar estudios más amplios para ajustar normativas locales con base en estándares internacionales.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

El proceso de tratamiento de aguas residuales es un procedimiento de purificación que implica filtrar las aguas residuales tanto domésticas como municipales en diversas fases con el fin de reaprovecharlas en el entorno. Estas aguas son las que la población ha usado y posteriormente han sido combinadas con diversos residuos, ya sean orgánicos (sanitarios) o químicos (industriales), con el fin de que su filtración tenga el menor impacto en su reutilización y uso. (Mtra. Gutierrez Acuña)

2.2.1.1. El proceso de tratamiento de aguas tiene tres fases principales:

Tratamiento primario. El tratamiento primario de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es la fase inicial del proceso de depuración, cuya finalidad es la remoción física de contaminantes presentes en el agua residual mediante operaciones mecánicas y de

sedimentación. En esta etapa se eliminan sólidos gruesos, arenas, grasas y sólidos sedimentables, así como una fracción de la materia orgánica particulada, reduciendo la carga contaminante que ingresa a las etapas posteriores. (AMBIENTE, s.f.)

Tratamiento secundario. El tratamiento secundario se basa en la incorporación de procesos biológicos que están dominados por reacciones bioquímicas que producen microorganismos capaces de obtener resultados efectivos al eliminar entre el 50% y el 95% de la DBO. Los sistemas más utilizados son: (AMBIENTE, s.f.)

- Filtración biológica o biofiltros, filtros rotatorios o biodiscos y filtros percoladores.
- Lodos activados, que incluyen tanto los tradicionales como los de aireación extendida.
- Lagunas de estabilización facultativas y aireadas

Tratamiento terciario. La finalidad del tratamiento terciario es, principalmente, la eliminación de nutrientes como fósforo y nitrógeno. Con frecuencia, el objetivo del tratamiento de nivel terciario es prevenir que la descarga del agua residual, que ha sido tratada previamente, cause eutroficación o una proliferación excesiva de algas en lagunas, lagos o cuerpos de agua con escasa circulación. Esto se debe a que la eutroficación provoca que el oxígeno disuelto sea consumido y esto tiene efectos negativos sobre la vida acuática del cuerpo de agua receptor. Las actividades productivas, como la cría de peces o el riego en zonas agrícolas, pueden beneficiarse del empleo de efluentes de plantas de tratamiento terciarias. (AMBIENTE, s.f.)

2.2.1.2. Componentes del proceso de funcionamiento de la PTAR k'ayra, San Jerónimo cusco

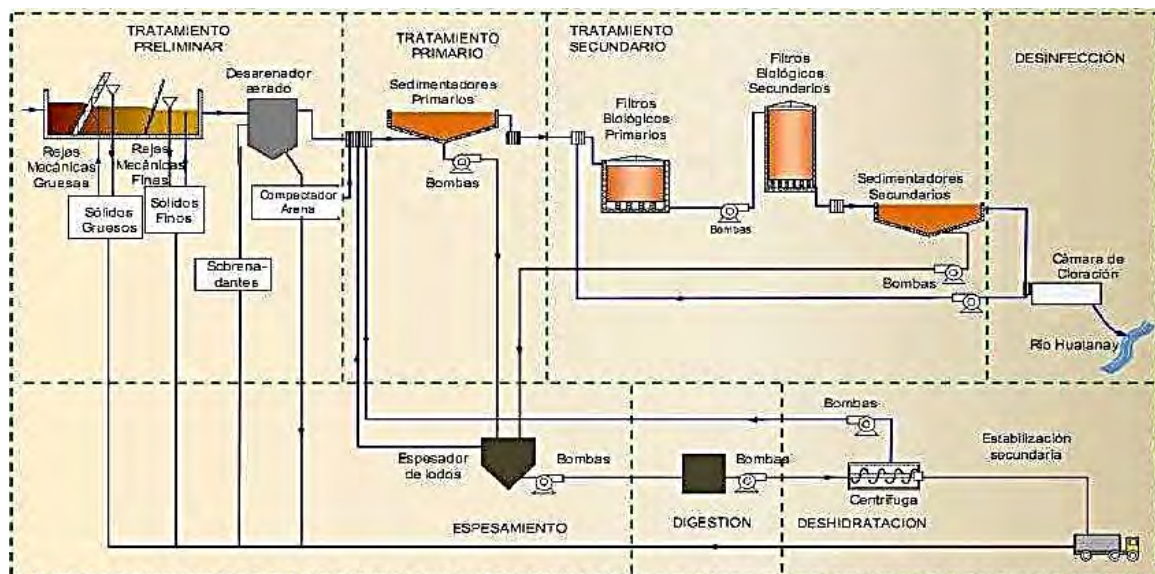
Se consideran los elementos fundamentales de la PTAR Kayra: la cámara de rejillas; el tratamiento primario y el secundario anaeróbico; el tanque de sedimentación, la laguna de estabilización, el sedimentador y la desinfección.

Figura 1: Puntos de emisión de sustancias odoríferas de la PTAR san jerónimo cusco



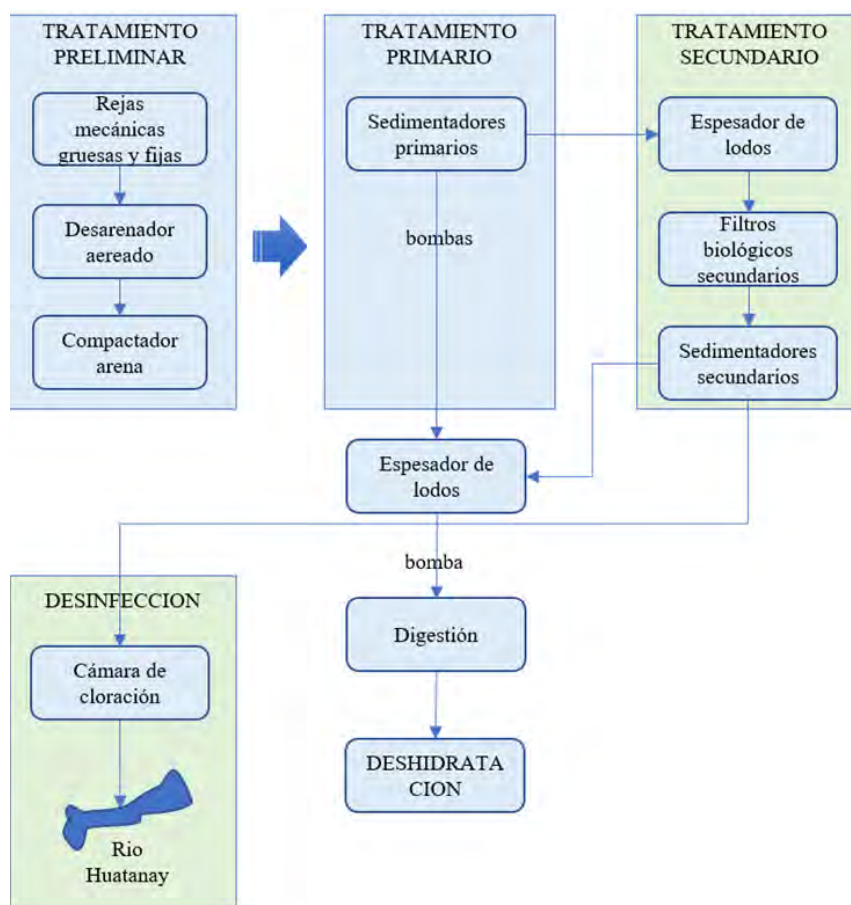
Fuente: Google Earth

Figura 2: Diagrama de flujo PTAR San Jerónimo.



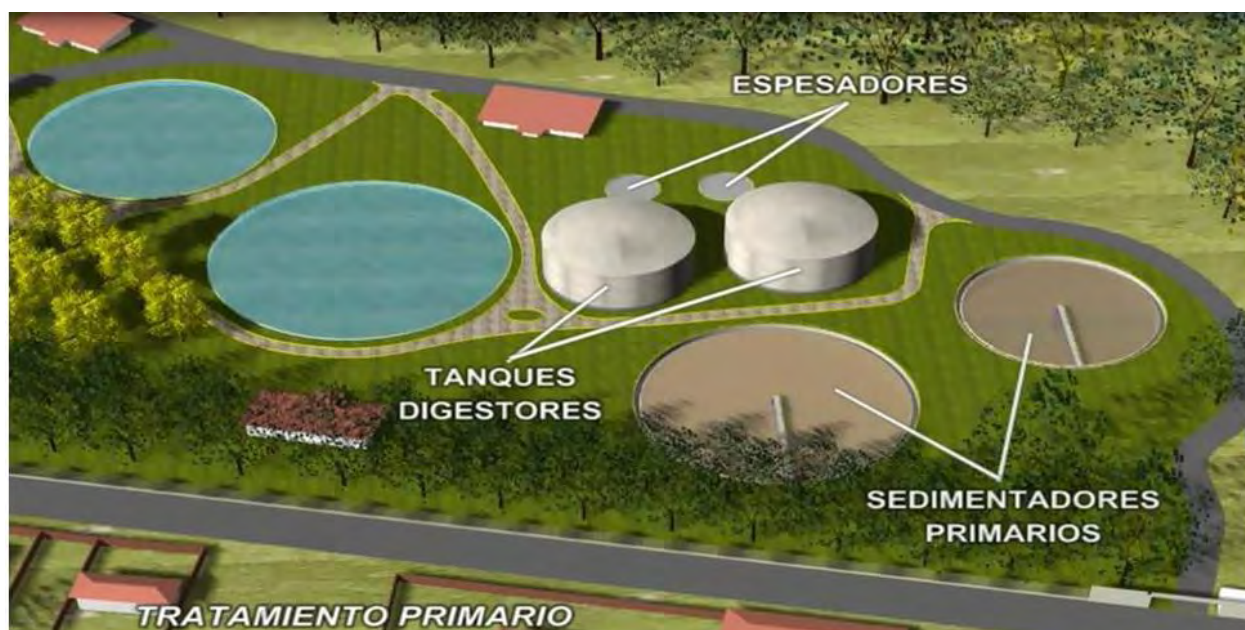
Fuente: Seda Cusco.

Figura 3: *Flujograma de sub tratamientos – PTAR de San Jerónimo cusco*



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 4: *Descripción de tratamiento primario y sub procesos.*



Fuente: *Seda Cusco*

Sedimentadores primarios. Unidades donde se separan por gravedad los sólidos suspendidos más pesados presentes en el agua residual.

Tanques digestores. Unidad cerrada en la que los lodos orgánicos se descomponen biológicamente mediante la acción de microorganismos (en ausencia o presencia de oxígeno), transformando la materia orgánica inestable en compuestos más simples, estables y menos olorosos, y generando biogás en el proceso. En este tanque los lodos concentrados se estabilizan biológicamente, reduciendo su contenido de materia orgánica, olores y microorganismos patógenos.

Espesadores. Unidad de tratamiento cuyo objetivo es aumentar la concentración de sólidos suspendidos en los lodos provenientes de procesos como la sedimentación primaria, mediante la separación por gravedad o mecanismos mecánicos, logrando una reducción del volumen total de lodos que debe ser tratado o dispuesto posteriormente. En este proceso se concentran los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario, reduciendo su contenido de agua y volumen.

Figura 5: Descripción de tratamiento secundario y sub procesos



Fuente: Seda Cusco

Filtros percoladores. Unidades de tratamiento biológico aerobio donde el agua residual se rocía sobre un medio filtrante (como piedra o material plástico).

Sedimentadores secundarios. Unidades destinadas a separar los lodos biológicos generados en el tratamiento biológico (como los filtros percoladores o lodos activados).

Figura 6: Descripción de desinfección y sub procesos

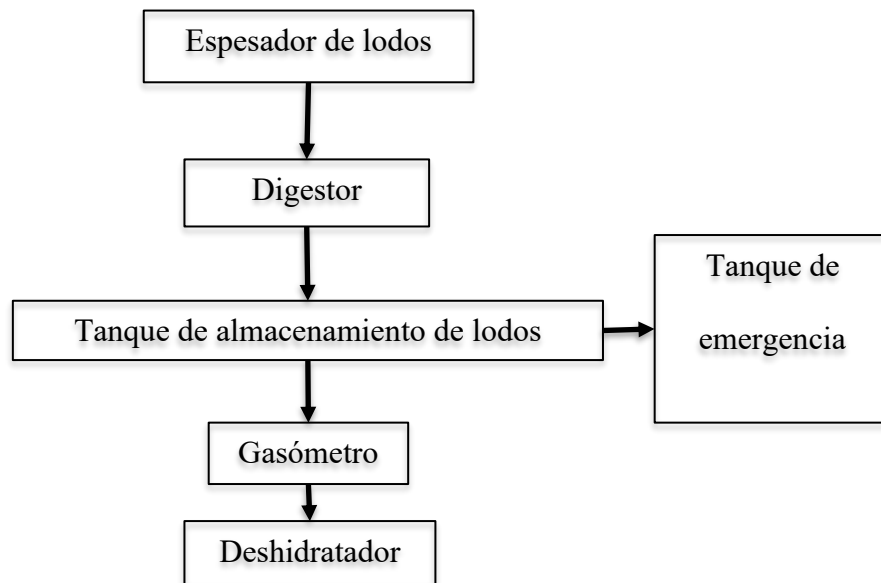


Fuente: Seda Cusco

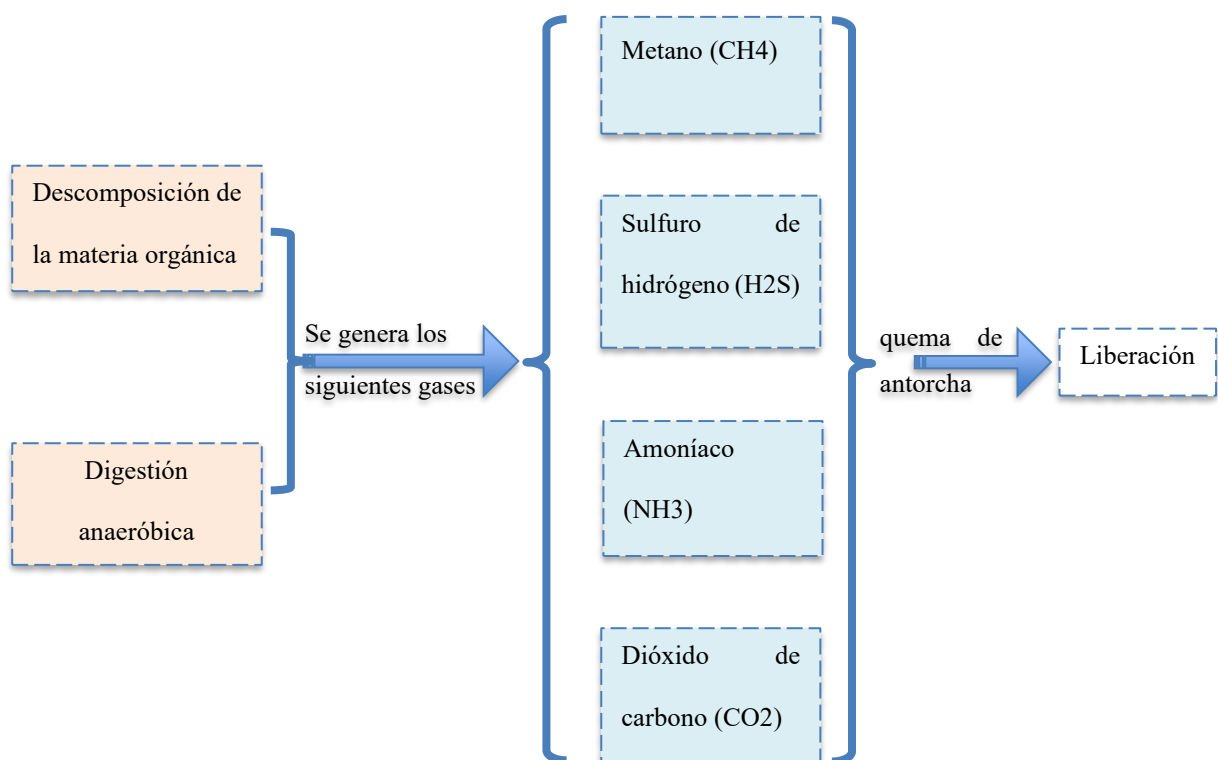
Tanque de contacto. Unidad donde se realiza la desinfección final del efluente tratado, generalmente mediante la adición de cloro u otro desinfectante. En este tanque, el agua se mantiene durante un tiempo suficiente para que el desinfectante elimine los microorganismos patógenos, asegurando que el efluente cumpla con los límites sanitarios y ambientales antes de su descarga.

Cámara de cloración. Unidad donde se aplica y mezcla el cloro con el agua tratada para lograr su desinfección. En esta etapa se busca una distribución uniforme del desinfectante y un tiempo de contacto adecuado para eliminar microorganismos patógenos antes de la descarga del efluente.

Línea de lodos



Línea de gases



Fuente: Seda Cusco

2.2.2. Bacterias en el Tratamiento de Aguas Residuales

La materia orgánica en las aguas residuales se descompone naturalmente por bacterias. Estas bacterias son utilizadas en el tratamiento biológico después de que se eliminan los sedimentos grandes como arena y grasas. Para que las bacterias realicen su trabajo, el agua debe ser oxigenada y agitada. Las bacterias aerobias y filamentosas trabajan juntas para descomponer la materia orgánica, produciendo lodo que puede reutilizarse o transformarse en abono si es excesivo. (Mtra. Gutierrez Acuña)

2.2.3. Áreas de difusión de olores de la Planta de Tratamiento

Una planta de tratamiento incorrectamente diseñada generará contaminantes biológicos y olores desagradables a causa del metabolismo de las bacterias anaerobias, particularmente en aguas residuales con elevados niveles de sulfatos y sulfuros. Las razones que provocan la producción de olores comprenden: Un diseño insuficiente en las funciones de la PTAR, las turbulencias en las estructuras de entrada y las áreas halladas, pueden generar áreas de dispersión de olores, La acumulación de materia orgánica, almacenamiento inadecuado de lodos y la acidificación de reactores, contribuyen a la generación de malos olores y Debido a las condiciones de pH y la turbulencia que puede surgir al descargarlo, es posible que se libere H₂S que se ha disuelto en el agua tratada en el efluente de una planta de tratamiento anaerobio. (Mtra. Gutierrez Acuña)

2.2.4. La causa de los malos olores en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Los olores desagradables surgen en las diferentes fases del tratamiento. Durante la descomposición anaerobia, se genera un elevado volumen de materia orgánica que incluye azufre y nitrógeno, compuestos que son volátiles y de bajo peso molecular. Los olores desagradables se producen en diversas fases del tratamiento, a causa de la fermentación anaerobia de sustancias orgánicas que poseen azufre y nitrógeno. Además, este compuesto es visto como un gas tóxico, explosivo e incierto. (Mtra. Gutierrez Acuña).

2.2.4.1. Tipos de componentes causantes de olor

Agrupaciones orgánicas: El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es el compuesto principal causante del olor desagradable durante la etapa de la laguna de oxidación. Este gas es muy corrosivo y tóxico, necesitando oxígeno para convertirse en ácido sulfúrico. Sus niveles que superan las 500 ppm pueden resultar mortíferos para las personas. Adicionalmente (Silva Barros, 2019, 29) señala que los olores desagradables se originan de la degradación anaerobia de una materia orgánica que alberga azufre y nitrógeno. Los compuestos volátiles de escaso peso molecular, tales como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el amoníaco (NH_3), se producen en procesos de fermentación y descomposición aerobia y anaerobia, en particular en lagunas oxidativas. Estos compuestos causan los aromas. (Mtra. Gutierrez Acuña)

2.2.5. Emisiones de sustancias odoríferas en las PTARs

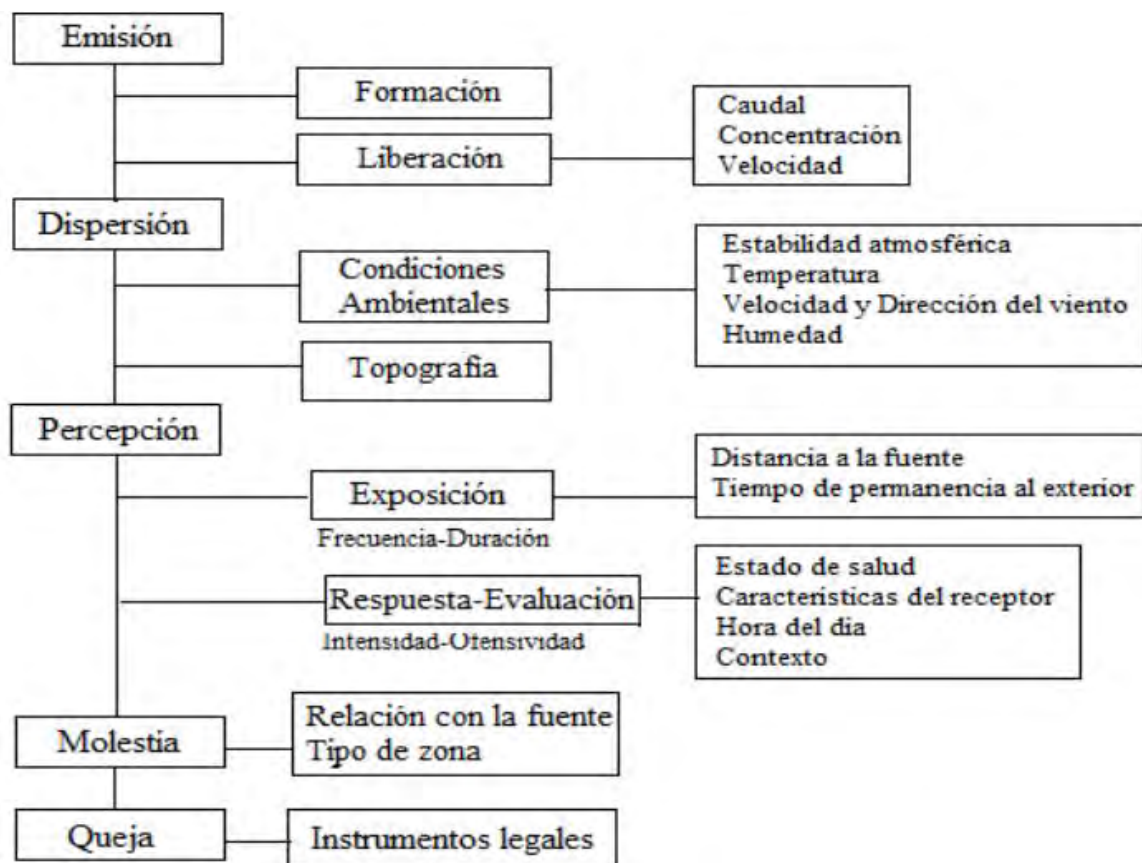
- Se considera una fuente difusa la emisión de olores en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), dado que el área de emisión está directamente vinculada al entorno.
- Las unidades de aireación, los desarenadores y los sistemas de tratamiento de lodos activados son elementos que facilitan la transferencia de sustancias olfativas ya generadas.
- Las fuentes que promueven la formación de estas sustancias son la sedimentación primaria y secundaria, así como los tanques de espesamiento de lodos.

En condiciones de pH ácido, se facilita la formación de sulfuro de hidrógeno (H_2S), mientras que un pH alcalino favorece la producción de amoníaco (NH_3), como resultado del equilibrio químico y la disociación de los compuestos. (Calvo Gutierrez & Hernández Parra, 2016, 13)

2.2.6. Contaminación Olorífera

La polución olfativa es un asunto complicado que demanda el estudio de varios elementos, tales como el proceso de creación de los compuestos odorantes, su transferencia en la atmósfera, las condiciones del agua, clima, clima y la topografía del sitio, que inciden en la propagación de los olores. Además, la visión de la comunidad es vital, pues se basa en la exposición y la reacción personal frente a los olores, lo que puede conducir a percibir estos olores como incómodos y a interponer denuncias. (Calvo Gutierrez & Hernández Parra, 2016).

Figura 7: *Proceso global de la contaminación odorífera*



fuentes: (Calvo Gutierrez & Hernández Parra, 2016, 12)

2.2.7. Estándares de índices de calidad atmosférica (ECA) del Ministerio del medio ambiente del Perú.

Tabla 1: Estándares de índices de calidad atmosférica (ECA) del (MINAM).

Parámetros	Periodo	Valor [ug/m3]	Criterios de Evaluación	Metodología de Análisis
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras PM _{2.5}	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercia/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material particulado con diámetro menor a 10 micras PM ₁₀	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercia/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
				Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o
Mercurio gaseoso total (Hg) ^[2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) (Método automático)
Monóxido de carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀
	Anual	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	(Espectrometría de absorción atómica)
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No exceder

µg/m3: Microgramos por metro cubico a condiciones estándares

Nota: ECA-Perú

2.2.8. Fuentes de emisión

Una fuente emisora es cualquier estructura que libera gases contaminantes a la atmósfera. Estas se clasifican en:

2.2.8.1. Fuentes estables

Son fuentes industriales ubicadas que liberan contaminantes desde lugares concretos, como las chimeneas. En ella se contempla la liberación de compuestos odoríferos. de la planta de tratamiento de K'ayra.

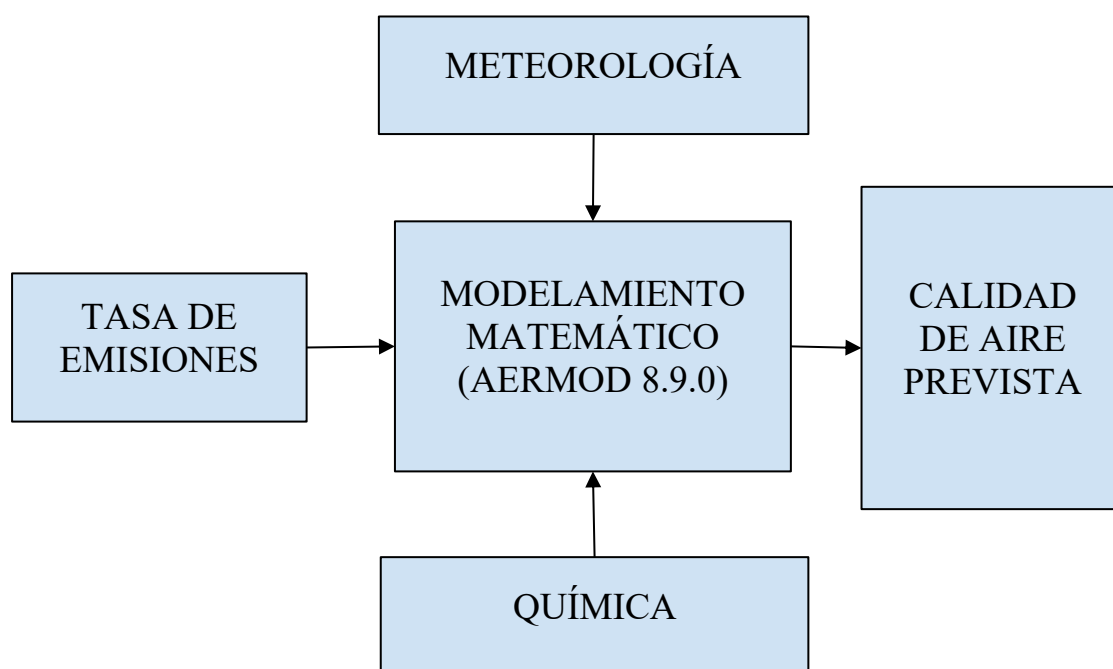
2.2.8.2. Fuentes móviles

Se refiere a vehículos motorizados que generan emisiones contaminantes.

2.2.9. Dispersión Atmosférica

De acuerdo con (Huaynatis Inga, 2019), en su estudio señala que el modelo ISC AERMOD 8.9.0 puede predecir la contaminación atmosférica; donde el sistema determina la calidad del aire a través de los componentes que se detallan a continuación.

Figura 8: Componentes de proceso de la calidad del aire



Fuente: Elaboración Propia

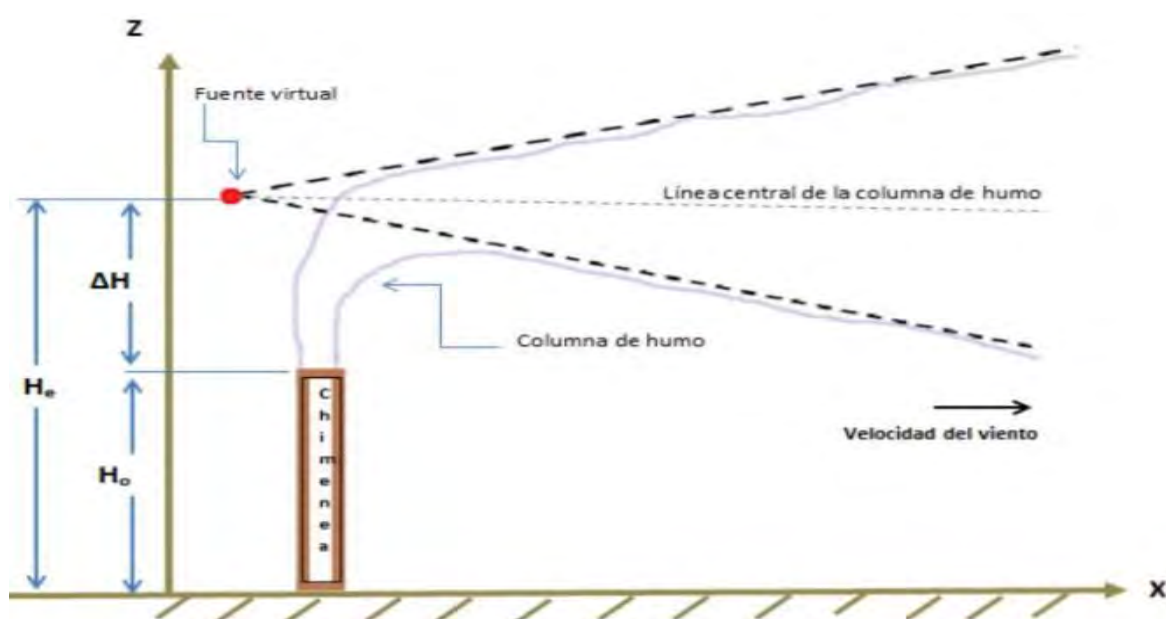
2.2.10. Tipos de modelos de dispersión atmosférica

Los modelos gaussianos de estado estacionario asumen que las concentraciones del penacho se distribuyen de manera gaussiana en las direcciones perpendiculares al viento y que las condiciones atmosféricas permanecen constantes dentro del área de modelización. (Quispe Chavez, 2021).

2.2.11. Transporte de contaminantes

El transporte de contaminantes hace referencia a la manera en que un penacho es impactado por elementos de emisión de la fuente, tales como la velocidad de expulsión, la temperatura del gas y su altura máxima en el aire, además de las condiciones climáticas y la topografía de la zona. (Quispe Chavez, 2021)

Figura 9: *Dispersión de contaminante de aire*



Fuente: (Quispe Chavez, 2021, 34)

2.2.12. Ecuación de transporte

2.2.12.1. Modelo de transporte

Este modelo describe cómo los contaminantes se mueven en la atmósfera a través de la advección (transporte por el viento), difusión (mezcla por turbulencia) y otros procesos.

Las ecuaciones de transporte son fundamentales para modelar cómo se comportan los contaminantes en la atmósfera. En este contexto, se utilizan para modelar la dispersión de los gases.

La ecuación general de transporte de contaminantes es:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{u}C) = \nabla \cdot (K \nabla C) + S \dots\dots\dots(1)$$

C : es la concentración de contaminantes.

t : es el tiempo

μ : es el vector de velocidad del viento.

K : es el coeficiente de difusión turbulenta.

S : es el término fuente (tasa de emisión de la PTAR)

Esta ecuación modela el comportamiento del contaminante y la forma en que las concentraciones cambian debido al transporte (advección) y difusión.

2.2.13. Esquema de las ecuaciones de advección; difusión y sedimentación

Las ecuaciones de advección y difusión describen cómo las sustancias emitidas por la PTAR se mueven en el aire. Específicamente, la advección transporta los contaminantes en la dirección del viento, mientras que la difusión turbulenta los dispersa en varias direcciones.

2.2.13.1. Ecuación de Advección

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla C = 0 \dots\dots\dots(2)$$

Esta ecuación muestra cómo el viento transporta el contaminante a lo largo del flujo de aire.

2.2.13.2. Ecuación de Difusión:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K \nabla^2 C \dots\dots\dots(3)$$

Donde K es el coeficiente de difusión turbulenta, que describe cómo las sustancias se mezclan en la atmósfera.

2.2.13.3. Sedimentación

Aunque el estudio se centra en gases, la sedimentación sería relevante si se incluyen partículas pesadas. La sedimentación describe el asentamiento de estas partículas en el aire, y se modela con un término de velocidad de caída.

2.2.14. Modelos de conservación de masa

El modelo de conservación de masa es un principio fundamental de la física que indica que la masa total de un sistema cerrado permanece constante. Para la dispersión de H₂S y NH₃, esto significa que la masa total de los contaminantes no cambia a menos que se eliminen o transforman mediante procesos químicos o deposición.

2.2.14.1. Ecuación de conservación de masa

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV = \int_S \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} + \int_V \dot{m} dV \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

ρ : es la densidad del contaminante.

V : es el volumen de control.

S : es la superficie que rodea el volumen.

m : es la tasa de emisión o absorción de masa.

Este modelo asegura que la cantidad de contaminante emitido, transportado y depositado se mantiene constante.

2.2.15. Perfiles de emisión y radiación

2.2.15.1. Altura de mezcla

Se refiere a la altura máxima que puede alcanzar un cuerpo de aire. En un diagrama adiabático, se puede representar como la intersección entre la gradiente vertical adiabática y la gradiente vertical ambiental. Esta altura es directamente proporcional a la dilución de los contaminantes y también se puede considerar como la parte más profunda de la atmósfera, conocida como la capa de mezcla; la parte superior de esta capa se denomina altura de mezcla. (Quispe Chavez, 2021)

2.2.15.2. Albedo

Se refiere a la propiedad de la iluminación de una superficie particular y su atmósfera, que es fundamental para definir la relación entre la radiación solar reflejada por esa superficie (integrada a lo largo de las longitudes de onda de la luz solar) y la radiación solar que incide sobre ella. El albedo cambia según el tipo de cobertura terrestre. (Quispe Chavez, 2021)

2.2.15.3. Ratio de Bowen

Se emplea para describir el tipo de transferencia de calor de una superficie con humedad. Esta relación fue nombrada por Harald Sverdrup en honor a Ira Sprague Bowen, un

astrofísico que teóricamente estudió la evaporación en el aire de los cuerpos de agua y la utilizó por primera vez. (Quispe Chavez, 2021)

2.2.16. Absorción de radiación y la ley de beer - lambert

La radiación solar interactúa con los gases en la atmósfera, afectando su dispersión y transformación.

2.2.16.1. Ley de Beer-Lambert

Esta ley describe cómo la luz se atenúa a medida que atraviesa una sustancia. Para la dispersión de contaminantes, es clave entender cómo la radiación solar puede reducir la concentración de los gases mediante fotólisis.

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

I_0 : es la intensidad inicial de la radiación.

α : es el coeficiente de absorción del gas.

x : es la distancia recorrida.

2.2.17. Transferencia radiactiva y la ley de rayleigh

2.2.17.1. Transferencia radiactiva

Describe el intercambio de energía en la atmósfera, lo que afecta el comportamiento de los contaminantes. Para tu investigación, es relevante entender cómo la radiación interactúa con los gases y su influencia en la dispersión.

2.2.17.2. Ley de Rayleigh

Explica la dispersión de la luz por partículas pequeñas en la atmósfera. Afecta la visibilidad y puede influir en cómo se dispersan los gases odoríferos. Este fenómeno ocurre con moléculas de aire y es responsable de la dispersión de la luz azul en la atmósfera. En nuestra investigación, este fenómeno puede influir en cómo la radiación solar interactúa con los gases odoríferos, afectando su dispersión.

La intensidad de la luz dispersada se puede calcular con la fórmula:

$$I = I_0 \left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right) \frac{1}{\lambda^4} \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

I_0 : es la intensidad inicial de la luz.

θ : es el ángulo de dispersión.

λ : es la longitud de onda de la luz.

2.2.18. Constante de fotólisis y reacciones fotoquímicas

2.2.18.1. Constante de fotólisis

La fotólisis es la descomposición de moléculas por la radiación solar. Es importante que el modelo AERMOD 8.9.0, calcule la constante de fotólisis para diferentes gases, ya que la luz solar puede descomponer estos gases en productos secundarios menos dañinos.

En el caso del H₂S, la fotólisis puede generar compuestos como SO₂ y otros productos de sulfuro. Para el NH₃, la fotólisis es menos relevante debido a su baja tasa de descomposición

por radiación solar directa, pero sigue siendo un factor a considerar en presencia de radiación UV intensa.

2.2.18.2. Mecanismos fotoquímicos

Incluyen las reacciones que los contaminantes sufren debido a la radiación solar. Estos mecanismos serán modelados en el software AERMOD 8.9.0 para predecir cómo cambian las concentraciones de las sustancias odoríferas a lo largo del tiempo. En la atmósfera, estas reacciones pueden convertir contaminantes primarios en otros compuestos. Por ejemplo:

- ❖ H₂S puede oxidarse en presencia de luz UV para formar SO₂ y otros compuestos sulfurados.
- ❖ NH₃, aunque es menos reactivo en fotólisis directa, puede participar en reacciones fotoquímicas cuando está presente en áreas con alta radiación UV, generando óxidos de nitrógeno (NO_x).

2.2.19. Cinética química

La cinética química describe cómo reaccionan los contaminantes en la atmósfera. Para modelar las reacciones de las sustancias odoríferas, se utilizan modelos que describen cómo estos gases reaccionan con otros compuestos en el aire. Esto puede afectar las concentraciones predichas en tu modelo AERMOD 8.9.0.

2.2.20. Solución numérica de la dispersión

El MODELO AERMOD 8.9.0 está implementado por sistemas de ecuaciones que describen la dispersión y transformación de los contaminantes, como los de diferencias finitas o volúmenes finitos.

2.2.21. Modelos de dispersión (EPISODE, ODEPARK) y ascenso de plumas

2.2.21.1. Modelos EPISODE y ODEPARK

Estos modelos pueden servir para comparar los resultados obtenidos con AERMOD 8.9.0. Cada uno tiene sus particularidades, pero también utilizan ecuaciones de transporte similares para modelar la dispersión de contaminantes.

Ecuación de ascenso de plumas (Briggs): Para modelar el ascenso de los gases emitidos por la PTAR, es necesario utilizar la ecuación de Briggs, que predice cómo las plumas de gases se elevan y dispersan en la atmósfera. Este modelo es clave para entender cómo los gases alcanzan diferentes alturas y se dispersan lateralmente.

2.2.21.2. La ecuación toma en cuenta

- ❖ Velocidad de escape de la pluma.
- ❖ Diferencia de temperatura entre la pluma y el aire circundante (ascenso por flotación).
- ❖ Velocidad del viento a la altura de la chimenea.

La fórmula para el ascenso es:

$$\Delta h = \frac{F}{u} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

Δh : es el ascenso de la pluma.

F : es el parámetro de flotación o energía térmica.

u : es la velocidad del viento.

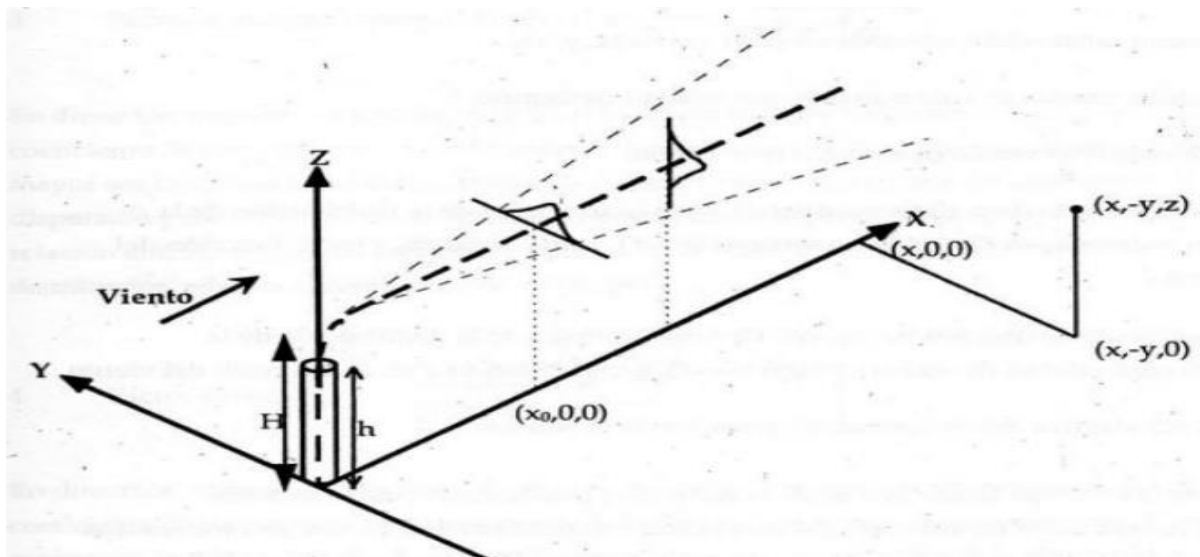
La ecuación de Briggs será clave que esté incorporado en el MODELO AERMOD 8.9.0 para predecir a qué altura la pluma se estabiliza y comienza a dispersarse horizontalmente.

2.2.22. Modelo AERMOD 8.9.0:

2.2.22.1. Modelo de penacho gaussiano de estado estacionario

- ❖ Son fáciles de usar y tienen pocos requisitos de datos de entrada.
- ❖ Son especialmente útiles en estudios de dispersión muy localizados, en zonas planas donde las condiciones meteorológicas no varían en espacio y tiempo.

Figura 10: *Modelo de Penacho Gaussiano*



Fuente: (Huaynatis Inga, 2019, 23)

La inmisión, según el modelo de penacho gaussiano, se refiere a la concentración de un contaminante que llega a un receptor a cierta distancia de la fuente de emisión. Este modelo asume que el contaminante se dispersa en el aire y calcula la concentración en función de parámetros como la velocidad del viento, la altura de la fuente, la tasa de emisión y las condiciones atmosféricas. (Huaynatis Inga, 2019, 23)

$$\chi(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \dots\dots\dots(8)$$

X: Concentración del contaminante en el punto (x, y, z)

Q: Emisión másica del contaminante por unidad de tiempo

u: velocidad en el punto de emisión

σ_y : coeficiente de dispersión transversal

σ_z : coeficiente de dispersión vertical

H: Altura efectiva del eje central del penacho = h+ΔH

h: Altura de la fuente.

Es un modelo de dispersión atmosférica desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en conjunto con la American Meteorological Society (AMS). Está diseñado para evaluar la dispersión de contaminantes en la atmósfera, tomando en cuenta la influencia de factores meteorológicos y geográficos.

2.2.23. Características principales del modelo AERMOD 8.9.0:

2.2.23.1. Simulación de la dispersión de contaminantes:

AERMOD 8.9.0 se utiliza para simular cómo los contaminantes se dispersan en el aire a partir de fuentes puntuales, lineales, volumétricas o superficiales, como plantas industriales, chimeneas o carreteras.

2.2.23.2. Modelo basado en la física atmosférica

Incluye factores como la estabilidad atmosférica, las condiciones meteorológicas, la topografía y las características del terreno para predecir concentraciones de contaminantes.

2.2.23.3. Componentes del Software AERMOD 8.9.0

AERMET: Procesador meteorológico que prepara los datos atmosféricos.

Este componente se encarga de procesar los datos meteorológicos, como la velocidad del viento, la temperatura y la turbulencia atmosférica. AERMET convierte estos datos en un formato que puede ser utilizado por el modelo de dispersión principal.

AERMAP se utiliza para calcular la elevación del terreno y las alturas de las fuentes emisoras (como chimeneas) en relación con el terreno circundante. Este módulo también analiza cómo la topografía afecta la dispersión de contaminantes. (Centro de soporte para el modelado atmosférico regulatorio (SCRAM)).

2.2.24. Funciones del Software AERMOD 8.9.0:

2.2.24.1. Predicción de la dispersión de contaminantes

AERMOD 8.9.0 modela cómo los contaminantes emitidos por fuentes fijas o móviles se dispersan en la atmósfera.

2.2.24.2. Evaluación del impacto de emisiones:

Es utilizado para evaluar el impacto ambiental de fuentes industriales, agrícolas o urbanas en la calidad del aire, facilitando la creación de mapas de dispersión y la identificación de zonas afectadas.

2.2.25. Selección del modelo de dispersión

En la PTAR de San Jerónimo Cusco por la complejidad del clima y la topografía del área a estudiar, así como la cantidad y precisión de datos de emisión, meteorológicas y de calidad del aire disponible.

El estudio se utilizará en el modelo AERMOD 8.9.0 View versión 9.6.1 desarrollado por Lakes Environmental, aprobado por la EPA, para evaluaciones ambientales de proyectos

desde 2005. El modelo consta de tres módulos originales: AERMET para el procesamiento de información meteorológica, AERMAP para el procesamiento de información terrestre y AERMOD 8.9.0, el modelo de dispersión. Este modelo es adecuado para evaluaciones ambientales de proyectos desde 2005.

2.2.26. Datos meteorológicos

Uno de los datos esenciales para elaborar un modelo de dispersión es tener conocimiento de los datos climáticos del área de estudio. En nuestro caso, se emplearon datos meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, provenientes de la estación de K'ayra situada en el campus de la facultad de agronomía y zootecnia de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, correspondientes a los años 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. Dirección del viento, Velocidad del viento, Temperatura, Precipitación, Humedad Relativa, Radiación solar y Presión Atmosférica, todos ellos aplicados a la región de estudio.

2.3. Definición de términos básicos

a) Aermod:

El AERMOD de Gauss es el más utilizado empleado para fines propósitos regulatorios y también es propuesto sugerido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (García).

b) Modelo gaussiano:

Es una herramienta matemáticas utilizada para prever la presencia de contaminantes en el aire, basada en la distribución normal o la campana de Gauss. Describe cómo los contaminantes se dispersan de forma uniforme desde un origen emisor, influenciados por factores como la velocidad del viento, la altura del origen y las condiciones de aire. (García)

c) Humedad relativa

La humedad relativa es un indicador que señala la presencia de vapor de agua en el aire en relación con la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede albergar a una temperatura determinada, representada en términos porcentuales. En resumen, representa el porcentaje en el que el aire está saturado con vapor de agua. (Universidad de Colima).

d) Dispersión:

La dispersión es el proceso por el cual las partículas, moléculas o sustancias se distribuyen o se separan a lo largo de un medio, ya sea un gas, un líquido o un sólido, alejándose del punto de origen. (Universidad de Colima).

e) Topografía:

La topografía es la disciplina que establece las dimensiones y contornos (propiedades tridimensionales) de la superficie terrestre a través de la medición de distancias, direcciones y altitudes. Esta disciplina también establece las líneas y niveles requeridos para la edificación de edificios, vías, presas y otras estructuras, abarcando el cálculo de áreas, volúmenes y cuantificaciones, además de la creación de esquemas y planos. (Universidad de Colima).

f) Ácido Sulfhídrico (H₂S):

El ácido sulfhídrico es un gas inflamable e inflamable con olor a huevos podridos, que se olvida en niveles bajos en el aire entre 0,0005 y 0,3 partes por millón (ppm). Se produce naturalmente en petróleo crudo, gas natural, gases volcánicos y aguas termales. Esto puede ser producido por bacterias en la boca y el tubo digestivo durante la digestión de alimentos con proteínas vegetales o animales. Se puede formar ácido sulfhídrico como consecuencia de actividades industriales como el procesamiento de alimentos, hornos de coque, molinos de papel, plantas de curtido y refinerías de petróleo. (Universidad de Colima)

g) Amoníaco (NH₃):

El amoníaco, que es un gas formado por nitrógeno e hidrógeno, posee un aroma intenso y puede causar irritaciones en la piel, ojos, nariz, garganta y pulmones. Es lo que las bacterias y las plantas generan al descomponerse. Está presente en agua, tierra y aire. Cuando las proteínas se degradan, el organismo también produce amoníaco. En el laboratorio, se convierte en un líquido y se emplea en diversos productos. (Definición de amoníaco - Diccionario de cáncer del NCI - NCI).

h) Gases de cloro (Cl₂):

Son compuestos gaseosos formados por el elemento químico cloro (Cl), con la fórmula química Cl₂. Tienen un olor fuerte y picante, son tóxicos y altamente reactivos. (Universidad de Colima).

i) Dióxido de carbono (CO₂):

Gas transparente y sin olor compuesto por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno. Es un elemento esencial de la atmósfera y ocurre durante el proceso de respiración de los organismos vivos y la quema de combustibles fósiles. (Universidad de Colima).

j) Concentración del H₂S:

La "concentración de H₂S" se refiere a la cantidad de sulfuro de hidrógeno (H₂S) presente en una mezcla de gases o en el aire. El H₂S es un gas tóxico y corrosivo, comúnmente encontrado en procesos industriales, en ambientes naturales como pantanos, y en actividades relacionadas con la descomposición de materia orgánica. (Universidad de Colima)

k) Concentración del amoníaco (NH₃):

La concentración de NH₃ hace referencia a la presencia de amoníaco (NH₃) en el aire o en una disolución líquida. El amoníaco es un gas transparente con un aroma intenso y penetrante, liberado en procesos industriales, agrícolas (principalmente en el sector ganadero) y naturales. (Universidad de Colima).

l) Altimetría:

Elemento de la topografía que se ocupa de la determinación de las altitudes. Se ocupa de analizar la separación vertical entre dos ubicaciones, o sea, la diferencia entre los puntos ubicados en el suelo y un plano horizontal de comparación arbitrario. (Universidad de Sevilla).

m) Dirección de viento:

La dirección del viento se refiere al punto cardinal o trayectoria desde donde surge el viento. Convencionalmente, la orientación del viento se manifiesta en grados, calculados en la dirección de las agujas del reloj desde el norte (0° o 360°). Por ejemplo, un viento proveniente del norte mostrará una dirección de 0° o 360° , en cambio, un viento venidero se anotaría como 90° , oriental como 180° , y occidental como 270° . (Universidad de Sevilla).

n) Efluente final

Se trata de un fluido que proviene de una planta de tratamiento de aguas servidas. plantas de tratamiento de aguas residuales. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

o) Emisor

Tubería o conducto que transporta las aguas residuales de un sistema de drenaje a una planta de tratamiento o de dicha planta hasta un lugar de disposición final. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

p) Filtro percolador:

Sistema donde el agua residual sedimentada se utiliza sobre un medio de filtrado de piedra gruesa o material artificial. El desarrollo de la película de microorganismos. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

q) Interceptor:

Tubería o conducto que capta el flujo de aguas residuales provenientes de descargas transversales y las lleva a una instalación de tratamiento. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

r) Anaerobio:

Condiciones donde no existe aire o oxígeno libre. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

s) Digestión biológica:

El proceso biológico de descomposición del material orgánico del lodo genera una mineralización, licuefacción y gasificación parcial. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

t) Digestión aerobia:

La degradación biológica de la sustancia orgánica del lodo, en ausencia de oxígeno. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

u) Digestión anaerobia:

La desintegración biológica de la materia orgánica del lodo, en falta de oxígeno. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

v) Planimetría:

La definición de planímetro se refiere a la herramienta que permite la medición de áreas de figuras planas. La planimetría tiene como objetivo medir estas zonas y plasmarlas en planos. (Universidad de Sevilla)

w) Fuente puntual:

Cualquier origen establecido que puede o descargas contaminantes. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

x) Lodo activado:

Durante el procedimiento de tratamiento con lodos activados, el lodo, que se compone principalmente de biomasa y algunos sólidos inorgánicos, se revierte del fondo del sedimentador secundario al depósito de aireado. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

y) Desarenadores:

Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y simplificar la remoción de minerales sólidos (como la arena), a través de la sedimentación. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

z) Deshidratación de lodos:

Procedimiento para eliminar el agua acumulada en los lodos. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

aa) Laguna de lodos:

Estanque destinado a guardar, tratar u obtener el líquido de lodo. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

bb) Pretratamiento:

Procedimientos que almacenan las aguas residuales para su tratamiento futuro. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

cc) Tratamiento anaerobio:

Estabilización de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. (Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

dd) Espesamiento:

El proceso de espesamiento tiene como objetivo aumentar el contenido de sólidos en cada unidad de volumen para eliminar una porción del líquido. Se realiza a través de las

siguientes técnicas: Espesamiento por gravedad, Espesamiento por flotación y Espesamiento por centrifugación (ZUÑIGA, 2016)

ee) Estabilización:

Los lodos producidos durante el tratamiento biológico y primario de aguas residuales necesitan ser espesados, estabilizados y desinfectados antes de que sean eliminados o reutilizados. Las líneas de tratamiento de lodos residuales se centran principalmente en disminuir la cantidad de lodo producido y el poder de fermentación, lo que lleva a una reducción o eliminación del potencial de putrefacción y, por lo tanto, de los olores desagradables. La selección del método de tratamiento para la estabilización de lodos residuales depende de su número, calidad y disposición final. Dentro de los procedimientos para estabilizar lodos residuales se encuentran: Digestión anaerobia, Digestión aerobia, Adicionamiento químico e Incineración. (ZUÑIGA, 2016)

ff) Desinfección

La desinfección es un procedimiento adicional que ha cobrado gran relevancia a raíz de las regulaciones que limitan el uso de lodos en el suelo, pues la salvaguarda de la salud pública exige controlar el posible contacto con organismos patógenos. Esto se debe a que los métodos de estabilización de lodos, como la digestión anaerobia y aerobia, posibilitan una sustancial disminución de la concentración de patógenos, pero no logran eliminar completamente los gérmenes. La pasteurización y el almacenamiento a largo plazo son los procedimientos más apropiados para desinfectar. (ZUÑIGA, 2016)

gg) Tratamiento primario:

El tratamiento primario comprende los procedimientos físicos y mecánicos destinados a remover sólidos sedimentables, grasas y aceites, preparando el agua residual para procesos biológicos posteriores. Esta etapa se centra en consolidar, acondicionar y facilitar la separación de sólidos gruesos y flotantes (Ministerio de Vivienda, 2018; Pérez et al., 2021).

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis general*

La relación es significativa entre el los resultados del modelo de dispersión atmosférica y la concentración de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.

2.4.2. *Hipótesis específicas*

HE1: La dispersión de las sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo se distribuye de manera no homogénea.

HE2: La concentración de las sustancias odoríferas es menor con respecto a los milites permisibles de calidad dentro de la zona de K'ayra emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.

HE3: El grado de correlación es significativa entre los resultados del modelo de dispersión atmosférica y la concentración en el terreno de las sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.

2.4.3. *Operacionalización de variables*

Título de Investigación “RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO, 202

Tabla 2: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
V1: DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA	Es el proceso de simular el movimiento de contaminantes o sustancias en la atmósfera, utilizando modelos matemáticos y computacionales como AERMOD 8.9.0, para predecir la concentración y distribución espacial de los gases.	Se evalúa mediante la aplicación del modelo AERMOD, utilizando datos meteorológicos del SENAMHI y parámetros de emisión de la PTAR San Jerónimo, para estimar la dispersión de sustancias odoríferas.	Condiciones meteorológicas Dirección del viento Velocidad del viento Temperatura Precipitación Humedad Relativa Radiación solar Presión Atmosférica Estabilidad atmosférica Altura de Mezcla Altura efectiva Tasa de emisión Días y horas de mayor Concentración
V2: CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS	Es la cantidad de compuestos químicos responsables del olor presentes en el aire, los cuales pueden generar molestias y afectar la calidad ambiental.	Se mide mediante el monitoreo ambiental y la estimación de concentraciones de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	Sustancias odoríferas Distribución temporal Límites Máximos Permisibles Concentración de H ₂ S Concentración de NH ₃ Concentración de NO ₂ Concentración de SO ₂ Concentración de CO Concentración de Cl ₂ Concentración de O ₃ Días y horas de mayor Concentración Comparación con estándares de Calidad

Nota: Elaboración propia

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Alcance de estudio:

Según (Hernández Sampieri, 2014) una investigación **descriptivo** es aquella donde se pretende conocer la relación que exista entre dos o más variables en una contexto en particular; la presente investigación mide las emisiones reales dentro de la planta de tratamiento de K'ayra y describe la dispersión de sustancias odoríferas en el aire por influencia de diferentes factores meteorológicas y topográficas utilizando modelo sofisticado, que para la presente investigación se empleó el modelo ISC AERMOD 8.9.0.

3.2. Diseño de investigación

De acuerdo a lo indicado por (Hernández Sampieri, 2014), el diseño **no experimental**, se trata de observar y medir las variables tal como se dan en el contexto natural. Para desarrollar la presente investigación se midió las condiciones meteorológicas; topográficas y emisiones de 7 sustancias gaseosas (SO_2 , NO_2 , H_2S , NH_3 , O_3 , Cl_2 y CO) de la PTAR K'ayra en su contexto natural; Además las mediciones para esta investigación se realizan en un tiempo corto por lo que se clasifica **transeccional**, así como determina (Hernández Sampieri, 2014).

3.3. Población de estudio

Según Hernández Sampieri (2014), la población es el conjunto de todos los casos que cumplen con una serie de especificaciones. En este estudio, la población está conformada por el conjunto total de concentraciones y la dispersión atmosférica de las sustancias odoríferas (H_2S , NH_3 , O_3 , NO_2 , SO_2 , Cl_2 y CO) emitidas por la PTAR San Jerónimo, en su área de influencia utilizando información exclusivamente del año 2024, con datos horarios, diarios y mensuales para reflejar las variaciones temporales, ofreciendo así una visión más precisa de las concentraciones de sustancias odoríferas y su dispersión espacial.

3.4. Tamaño de muestra

La muestra de esta investigación es **no probabilística** y fue determinada por juicio del investigador. Los registros horarios de concentración y los resultados del modelamiento de dispersión atmosférica de las siguientes sustancias odoríferas: ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), gases de cloro (Cl_2) y monóxido de carbono (CO).

Se utilizaron datos horarios, diarios y mensuales obtenidos de estaciones meteorológicas y puntos de monitoreo dentro y fuera de la PTAR K'ayra, lo que permitió identificar patrones de concentración durante horas críticas, días y meses de mayor impacto. Este enfoque asegura un análisis detallado y demuestra que el tamaño de muestra es variable en función de las fluctuaciones horarias y estacionales de las emisiones, más que una constante anual.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. *Estimación de emisiones*

Se recopilaron registros horarios de emisiones de contaminantes provenientes de las fuentes puntuales y fijas de la PTAR K'ayra. La información incluye concentraciones en ppm y $\mu\text{g}/\text{m}^3$, obtenidas de monitoreos y modelaciones específicas del 2024. Estos datos permiten identificar variabilidad temporal significativa, descartando la idea de que las emisiones sean constantes todo el año.

3.5.2. *Fuentes Puntuales (fijas)*

Las fuentes puntuales corresponden a las unidades de tratamiento dentro de la PTAR de San Jerónimo. Aunque se contaba principalmente con datos anuales históricos, este estudio complementa esa información con registros horarios generados a partir de modelaciones con AERMOD y análisis de las horas y meses de mayor concentración, reforzando la

caracterización de los periodos críticos. Entre las unidades de tratamiento considerados como fuentes puntuales destacan:

Digestores anaeróbicos: principales emisores de gases odoríferos, tanques de sedimentación primario; percoladores, espesadores y tanque de almacenamiento de lodos: responsables de liberaciones controladas de gases. Además, se resalta el proceso de deshidratación y desinfección donde principalmente se registra gases de cloro.

3.5.3. Fuentes de área:

Según estudios de la (Medio Ambiente, 2020), se establece a fuentes de área a espacios como: comercios, servicios, casas habitación y vehículos automotores que no circulan por carreteras. En tal sentido las unidades de tratamiento se consideraron como fuentes de área circular y rectangular.

3.5.3.1. Puntos de emisión PTAR k'ayra

En la planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo Cusco, se tuvo como puntos para toma de datos de emisión a las siguientes unidades de tratamiento, dichos puntos según sus posiciones corresponden a:

Tabla 3: Inventario de emisiones (Fuentes de Área)

Punto	Descripción	Coordenadas (E; N)	Tipo de fuente	Sustancias odoríferas emitidas
1	<i>Sedimentador Primario 01</i>	(189418.30 m E; 8499969.43 m S)	Área Circular	- Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) - Amoniacó (NH ₃)
2	<i>Sedimentador Primario 02</i>	(189369.93 m E; 8499945.24 m S)	Área Circular	- Compuestos orgánicos volátiles (COV)
3	<i>Tanque de almacenamiento de lodos</i>	(189439.75 m E; 8499930.53 m S)	Área Circular	- Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) - Amoniacó (NH ₃) - Dióxido de carbono (CO ₂) - Compuestos orgánicos volátiles (COV)
4	<i>Digestor Anaeróbico</i>	(189406.39 m E; 8499925.79 m S)	Área Circular	- Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) - Amoniacó (NH ₃) - Compuestos volátiles malolientes (ácidos grasos)
5	<i>Espesador 01</i>	(189406.34 m E; 8499892.03 m S)	Área Circular	- Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) - Amoniacó (NH ₃)
6	<i>Espesador 02</i>	(189425.48 m E; 8499881.22 m S)	Área Circular	- Dióxido de carbono (CO ₂)
7	<i>Deshidratador</i>	(189473.33 m E; 8499883.07 m S)	Área Rectangular	- Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) - Amoniacó (NH ₃) - Dióxido de carbono (CO ₂)
8	<i>Percoladores Primario 01</i>	(189559.26 m E; 8499836.5 m S)	Área Circular	- Dióxido de carbono (CO ₂) - Compuestos volátiles malolientes (ácidos grasos)
9	<i>Percoladores Primario 02</i>	(189600.16 m E; 8499842 m S)	Área Circular	
10	<i>Percoladores Primario 03</i>	(189580.21 m E; 8499804.33 m S)	Área Circular	
11	<i>Desinfección</i>	(189858.37 m E; 8499870.86 m S)	Área Rectangular	- Gases de cloro (Cl ₂) - Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) - Amoniacó (NH ₃) - Compuestos volátiles

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Resumen valores máximos de las 06, 12 y 18 horas año 2024

Hora	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	O ₃	NH ₃	Cl ₂	CO
06:00	0.11	0	0	0	11.62	6.1	0
12:00	6.88	4.03	9.6	1.67	7.9	0.45	1,395.71
18:00	4.1	0	2.9	0	3.1	3.05	0

Nota: Elaboración propia

Tabla5: Tasas de emisión en *unidades de tratamiento del año 2024*

UNIDADES DE TRATAMIENTO	TASA DE EMISIÓN (g/s)						
	NH3	SO2	NO2	CL2	H2S	CO	O3
Tanque de sedimentación	0.25	0.10	0.02	0.02	0.50	50	0.15
Tanque de almacenamiento de lodos	0.60	0.12	0.03	0.03	0.65	60	0.20
Digestor Anaeróbico	1.20	0.20	0.04	0.05	2.00	90	0.40
Espesadores 01	0.40	0.05	0.01	0.01	0.35	30	0.08
Espesadores 02	0.40	0.05	0.01	0.01	0.35	30	0.08
Deshidratador	0.90	0.08	0.02	0.02	0.90	40	0.12
Percoladores 01	0.30	0.04	0.01	0.01	0.20	20	0.06
Percoladores 02	0.30	0.04	0.01	0.01	0.20	20	0.06
Percoladores 03	0.30	0.04	0.01	0.01	0.20	20	0.06
Desinfección	0.10	0.03	0.01	2.50	0.10	15	1.50

Nota: EPSs

3.5.4. *Parámetros meteorológicos*

Se identificó de la estación meteorológica de K'ayra administrada por la dirección Zonal 12 de Senamhi, para recolectar datos sobre Temperatura del aire, Humedad relativa, Precipitación, Velocidad y dirección del viento, Radiación solar y Presión atmosférica, en un periodo de 1 años (2024) a la escala horaria. Además, la velocidad y dirección del viento a escala horaria. Estos datos son cruciales para la simulación en el modelo ISC AERMOD 8.9.0.

Figura 11: *Certificación de datos meteorológicos brindados por la dirección zonal 12 SENAMI del 2024 a escala horaria.*



Fuente: Dirección zonal 12 de SENAMHI

Tabla 6: *Velocidad y Dirección del viento a la escala horaria del año 2024.*

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	1	1	C	N	C	1.3
2024	1	2	C	C	C	0
2024	1	3	C	SSE	C	1.3
2024	1	4	C	S	C	1.3
2024	1	5	C	NNE	NE	3.3
2024	1	6	C	S	C	1.3
2024	1	7	C	C	C	0
2024	1	8	C	SW	C	2.7
2024	1	9	C	SW	NE	2
2024	1	10	C	N	C	0.7
2024	1	11	C	C	C	0
2024	1	12	C	NE	N	3.3
2024	1	13	C	ENE	C	2
2024	1	14	C	NNE	C	2
2024	1	15	C	NNE	C	0.7
2024	1	16	C	SSW	C	1.3
2024	1	17	C	C	C	0
2024	1	18	C	SSW	SE	2.7
2024	1	19	SSW	WSW	WSW	3.3
2024	1	20	C	NNW	NW	1.3
2024	1	21	C	NW	C	1.3
2024	1	22	C	SW	C	1.3
2024	1	23	C	SSE	SW	4
2024	1	24	C	ESE	SSE	2
2024	1	25	C	SSE	C	2
2024	1	26	C	C	SW	0.7
2024	1	27	C	SE	SE	2
2024	1	28	C	SW	C	0.7
2024	1	29	W	C	C	0.7
2024	1	30	C	C	C	0
2024	1	31	C	C	C	0
2024	2	1	C	NNE	NE	3.3
2024	2	2	W	C	C	1.3
2024	2	3	C	NE	NNE	3.3
2024	2	4	C	ENE	NNE	3.3
2024	2	5	NE	NE	N	3.3
2024	2	6	C	C	ENE	0.7

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	2	7	C	SE	SE	2
2024	2	8	C	C	C	0
2024	2	9	C	SE	SW	2.7
2024	2	10	WSW	SW	C	2.7
2024	2	11	C	C	C	0
2024	2	12	C	SW	NW	2.7
2024	2	13	S	S	C	1.3
2024	2	14	C	SW	SW	2
2024	2	15	C	C	NW	0.7
2024	2	16	C	C	SE	1.3
2024	2	17	C	SW	S	2
2024	2	18	C	C	SE	1.3
2024	2	19	C	C	SW	0.7
2024	2	20	C	C	SSW	0.7
2024	2	21	C	SW	C	1.3
2024	2	22	C	C	C	0
2024	2	23	C	C	C	0
2024	2	24	C	C	SW	0.7
2024	2	25	C	C	S	0.7
2024	2	26	C	C	C	0
2024	2	27	C	C	C	0
2024	2	28	C	SE	C	0.7
2024	2	29	C	SE	C	1.3
2024	3	1	WSW	SW	WSW	5.3
2024	3	2	C	SW	S	3.3
2024	3	3	C	NNW	C	1.3
2024	3	4	C	NE	N	1.3
2024	3	5	C	NW	N	2
2024	3	6	C	C	NNE	0.7
2024	3	7	C	S	C	1.3
2024	3	8	C	C	C	0
2024	3	9	C	W	WNW	2.7
2024	3	10	C	S	C	2
2024	3	11	C	C	C	0
2024	3	12	C	N	C	1.3
2024	3	13	C	SW	SW	2.7
2024	3	14	C	NW	N	2
2024	3	15	C	NE	C	3.3
2024	3	16	C	NNW	NW	3.3

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	3	17	C	N	C	2
2024	3	18	C	N	N	2
2024	3	19	C	NW	N	3.3
2024	3	20	C	C	C	0
2024	3	21	C	NW	N	2
2024	3	22	C	NE	NW	2
2024	3	23	C	C	C	0
2024	3	24	C	NNW	C	1.3
2024	3	25	C	C	C	0
2024	3	26	C	N	N	2
2024	3	27	C	C	N	0.7
2024	3	28	C	C	C	0
2024	3	29	C	C	C	0
2024	3	30	C	NNW	NNE	1.3
2024	3	31	C	C	C	0
2024	4	1	C	NNE	C	0.7
2024	4	2	C	SE	NNE	1.3
2024	4	3	C	SE	SSE	3.3
2024	4	4	C	NNE	C	1.3
2024	4	5	C	NNE	NE	2
2024	4	6	C	NNE	WSW	2
2024	4	7	C	C	N	0.7
2024	4	8	C	NNE	C	0.7
2024	4	9	C	C	C	0
2024	4	10	C	NE	C	1.3
2024	4	11	C	C	C	0
2024	4	12	C	NNE	NNE	4
2024	4	13	C	WNW	C	1.3
2024	4	14	C	SW	C	2
2024	4	15	C	ENE	C	0.7
2024	4	16	C	C	C	0
2024	4	17	C	NNE	ENE	2
2024	4	18	C	C	NNE	0.7
2024	4	19	C	NNW	C	1.3
2024	4	20	C	NE	C	2
2024	4	21	C	SE	C	1.3
2024	4	22	C	WNW	NNE	2.7
2024	4	23	C	N	C	0.7
2024	4	24	C	NNW	NNE	2.7

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	4	25	C	NNE	NNE	4
2024	4	26	C	NNW	NNE	2.7
2024	4	27	C	NNE	NE	2
2024	4	28	C	NNE	C	0.7
2024	4	29	C	C	C	0
2024	4	30	C	C	C	0
2024	5	1	C	NE	C	2
2024	5	2	C	N	C	1.3
2024	5	3	C	C	C	0
2024	5	4	C	C	N	0.7
2024	5	5	C	NNE	C	1.3
2024	5	6	C	SSW	C	1.3
2024	5	7	C	N	C	1.3
2024	5	8	C	NE	C	3.7
2024	5	9	C	N	NNE	2
2024	5	10	C	C	C	0
2024	5	11	C	C	C	0
2024	5	12	C	C	C	0
2024	5	13	C	N	C	0.7
2024	5	14	C	ESE	C	1.3
2024	5	15	C	C	C	0
2024	5	16	C	NNE	C	1.3
2024	5	17	SW	S	C	2
2024	5	18	C	NNE	N	1.3
2024	5	19	C	NW	C	0.7
2024	5	20	C	NE	C	1.3
2024	5	21	C	N	C	0.7
2024	5	22	C	C	C	0
2024	5	23	C	N	C	0.7
2024	5	24	C	C	C	0
2024	5	25	C	NNE	C	2
2024	5	26	C	N	C	0.7
2024	5	27	C	SE	C	2
2024	5	28	C	C	C	0
2024	5	29	C	C	C	0
2024	5	30	C	C	C	0
2024	5	31	C	C	C	0
2024	6	1	C	C	C	0
2024	6	2	C	C	C	0

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	6	3	C	NE	C	2
2024	6	4	C	NW	C	0.7
2024	6	5	C	NW	C	0.7
2024	6	6	C	NW	C	2
2024	6	7	C	NNW	C	2
2024	6	8	C	C	C	0
2024	6	9	C	NNE	C	0.7
2024	6	10	C	NW	C	0.7
2024	6	11	C	C	C	0
2024	6	12	C	NNW	C	0.7
2024	6	13	C	NNW	C	1.3
2024	6	14	C	C	C	0
2024	6	15	C	C	C	0
2024	6	16	C	NNE	C	1.3
2024	6	17	C	C	C	0
2024	6	18	C	NNW	C	1.3
2024	6	19	C	C	NNE	0.7
2024	6	20	C	C	C	0
2024	6	21	C	C	C	0
2024	6	22	C	C	C	0
2024	6	23	C	C	C	0
2024	6	24	C	C	C	0
2024	6	25	C	C	C	0
2024	6	26	C	NW	C	1.3
2024	6	27	C	N	C	2
2024	6	28	C	N	C	0.7
2024	6	29	C	C	C	0
2024	6	30	C	NNE	NNE	2
2024	7	1	C	WSW	C	0.7
2024	7	2	C	NE	N	2
2024	7	3	C	C	C	0
2024	7	4	C	N	C	1.3
2024	7	5	C	N	C	0.7
2024	7	6	C	C	C	0
2024	7	7	C	C	C	0
2024	7	8	C	C	C	0
2024	7	9	C	C	C	0
2024	7	10	C	NE	C	2
2024	7	11	C	N	C	2

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	7	12	C	NNE	N	4
2024	7	13	N	NW	C	2.7
2024	7	14	C	NNW	NNW	2
2024	7	15	C	NW	C	1.3
2024	7	16	C	N	N	2
2024	7	17	C	S	S	3.3
2024	7	18	C	E	C	0.7
2024	7	19	C	SW	S	3.3
2024	7	20	C	ENE	S	2.7
2024	7	21	C	NNW	NNW	4
2024	7	22	C	SE	C	1.3
2024	7	23	C	SE	S	2
2024	7	24	C	SE	S	2.7
2024	7	25	C	E	C	1.3
2024	7	26	C	P	C	0
2024	7	27	C	SW	S	2.7
2024	7	28	C	C	C	0
2024	7	29	C	SE	C	2
2024	7	30	C	SE	C	0.7
2024	7	31	C	N	C	1.3
2024	8	1	C	ESE	W	2.7
2024	8	2	C	SE	S	1.3
2024	8	3	C	SW	NW	2
2024	8	4	C	NNW	C	2
2024	8	5	C	S	C	0.7
2024	8	6	C	S	C	2.7
2024	8	7	C	N	C	0.7
2024	8	8	C	ENE	S	4
2024	8	9	C	SSE	SE	2.7
2024	8	10	C	SSE	C	1.3
2024	8	11	S	SW	C	2
2024	8	12	C	SE	C	1.3
2024	8	13	C	SW	C	2
2024	8	14	C	S	SE	2.7
2024	8	15	C	NNE	N	2
2024	8	16	C	SE	C	2
2024	8	17	C	VV	S	4
2024	8	18	C	SW	C	2
2024	8	19	C	SSE	C	1.3

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	8	20	C	SW	C	2
2024	8	21	C	S	C	1.3
2024	8	22	C	SW	C	1.3
2024	8	23	C	N	N	2
2024	8	24	C	NNE	N	4
2024	8	25	C	N	C	1.3
2024	8	26	C	NW	C	1.3
2024	8	27	C	NNE	N	1.3
2024	8	28	C	C	C	0
2024	8	29	SSW	C	C	0.7
2024	8	30	C	N	NNE	2.7
2024	8	31	C	C	NNE	0.7
2024	9	1	C	SE	C	2
2024	9	2	NW	C	W	2
2024	9	3	C	C	W	1.3
2024	9	4	C	W	W	2
2024	9	5	C	NNW	C	1.3
2024	9	6	C	C	C	0
2024	9	7	C	SW	C	2
2024	9	8	C	S	C	0.7
2024	9	9	NNW	C	NW	2
2024	9	10	C	C	C	0
2024	9	11	C	N	NW	3.3
2024	9	12	C	C	C	0
2024	9	13	C	N	NNW	4
2024	9	14	C	N	C	1.3
2024	9	15	C	NE	NE	3.3
2024	9	16	C	NNE	N	3.3
2024	9	17	NW	N	SE	4.7
2024	9	18	C	C	C	0
2024	9	19	C	C	NW	1.3
2024	9	20	NW	SW	C	2.7
2024	9	21	C	NW	C	2
2024	9	22	NW	C	NW	2.7
2024	9	23	NNE	NE	NE	6
2024	9	24	C	SE	C	2
2024	9	25	C	C	E	0.7
2024	9	26	C	C	C	0
2024	9	27	C	N	N	4.7

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	9	28	C	C	N	0.7
2024	9	29	C	NE	C	1.3
2024	9	30	C	E	C	1.3
2024	10	1	N	N	NE	3.3
2024	10	2	C	NW	S	3.3
2024	10	3	C	W	SW	3.3
2024	10	4	C	W	C	1.3
2024	10	5	C	N	N	5.3
2024	10	6	C	SW	C	3.7
2024	10	7	C	NE	N	6
2024	10	8	C	N	N	5
2024	10	9	C	NW	W	6
2024	10	10	NW	NE	C	3.3
2024	10	11	N	NE	N	5
2024	10	12	W	N	N	
2024	10	13	C	NE	C	2
2024	10	14	C	C	C	0
2024	10	15	C	C	C	0
2024	10	16	C	NE	SW	4
2024	10	17	C	C	C	0
2024	10	18	NE	NE	N	
2024	10	19	C	C	NE	2
2024	10	20	N	NW	C	2.7
2024	10	21	C	NNE	C	1.3
2024	10	22	C	N	C	0.7
2024	10	23	C	NW	WNW	2.7
2024	10	24	C	NW	C	1.3
2024	10	25	N	N	SW	3.3
2024	10	26	C	C	S	1.3
2024	10	27	C	C	C	0
2024	10	28	C	C	C	0
2024	10	29	C	C	C	0
2024	10	30	C	C	C	0
2024	10	31	C	C	SW	1.3
2024	11	1	C	NW	S	4
2024	11	2	C	NW	C	1.3
2024	11	3	C	C	C	0
2024	11	4	WNW	WNW	C	2.7
2024	11	5	C	NNE	C	2.7

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	11	6	C	NW	C	2
2024	11	7	N	NE	C	4
2024	11	8	NE	NE	C	3.3
2024	11	9	C	C	C	0
2024	11	10	C	C	C	0
2024	11	11	C	C	C	0
2024	11	12	C	N	C	1.3
2024	11	13	C	C	C	0
2024	11	14	C	C	C	0
2024	11	15	NW	C	C	0.7
2024	11	16	NE	C	C	1.3
2024	11	17	C	NE	C	1.3
2024	11	18	C	NNE	C	1.3
2024	11	19	C	C	C	0
2024	11	20	C	C	C	0
2024	11	21	C	NNE	C	2
2024	11	22	C	N	C	1.3
2024	11	23	N	NNE	C	2
2024	11	24	C	ENE	N	3.3
2024	11	25	NE	NE	NNE	6.7
2024	11	26	N	NNE	C	2.7
2024	11	27	NW	C	C	0.7
2024	11	28	C	NNW	C	2
2024	11	29	C	C	C	0
2024	11	30	C	C	C	0
2024	12	1	C	C	C	0
2024	12	2	C	C	C	0
2024	12	3	C	NE	C	1.3
2024	12	4	C	ENE	C	1.3
2024	12	5	C	C	C	0
2024	12	6	C	C	C	0
2024	12	7	C	C	C	0
2024	12	8	C	C	C	0
2024	12	9	C	C	C	0
2024	12	10	C	C	C	0
2024	12	11	C	C	C	0
2024	12	12	C	NNE	C	1.3
2024	12	13	C	NNE	NNE	6.7
2024	12	14	C	C	C	0

<< Continuación de la Tabla 7 >>

Año	Mes	Día	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
2024	12	15	C	C	C	0
2024	12	16	C	C	C	0
2024	12	17	C	C	C	0
2024	12	18	C	C	C	0
2024	12	19	C	NW	C	1.3
2024	12	20	C	C	C	0
2024	12	21	C	C	NNE	2
2024	12	22	C	C	C	0
2024	12	23	C	NW	C	1.3
2024	12	24	NNE	C	N	4
2024	12	25	NNE	C	C	
2024	12	26	C	C	C	0
2024	12	27	C	C	C	0
2024	12	28	C	C	C	0
2024	12	29	C	NE	C	2.7
2024	12	30	NW	NNW	NNW	4
2024	12	31	C	C	C	0

Fuente: Dirección zonal 12 de SENAMHI

3.5.5. Recolección de datos topográficos

Levantamientos Topográficos. Se realizó levantamientos topográficos para obtener información detallada sobre la superficie y el relieve de la cuenca. Estos datos serán utilizados para simular la dispersión de los contaminantes.

El levantamiento topográfico de superficie y relieve se realiza con la herramienta Google Earth y se vincula al Software AERMET para tener mayor precisión en todos los puntos de la superficie y relieve. Se escoge este método ya que Google Earth maneja los puntos topográficos a resoluciones muy precisas y tiene una real representación de la superficie y relieve por donde se dispersan las sustancias odoríferas.

3.5.6. Modelo de dispersión atmosférica

Software AERMOD 8.9.0: Se utilizó el modelo de dispersión AERMOD 8.9.0 para simular la dispersión de las sustancias odoríferas en la cuenca del río Huatanay sector granja

K'ayra. El modelo AERMOD 8.9.0 integra datos meteorológicos, topográficos y de emisiones para generar un modelo predictivo de la dispersión de las sustancias odoríferas en la cuenca.

3.5.6.1. Aermet

Recolección y procesamiento de datos meteorológicos: AERMET toma datos de estaciones meteorológicas y registros meteorológicos dentro de la PTAR, que incluyen variables como:

- ❖ Temperatura del aire
- ❖ Humedad relativa
- ❖ precipitación
- ❖ Velocidad y dirección del viento
- ❖ Radiación solar.
- ❖ Presión atmosférica

División en capas atmosféricas: AERMET divide los datos en dos capas importantes:

- ❖ Capa superficial: Esta capa abarca desde el suelo hasta una cierta altura (normalmente la primera decena de metros), donde ocurren los principales intercambios de energía y masa.
- ❖ Capa límite planetaria: Incluye las capas superiores, donde se modela la dispersión de contaminantes en áreas más grandes.

Cálculo de parámetros meteorológicos clave: AERMET genera variables como:

- ❖ Altura de la capa de mezcla.
- ❖ Estabilidad atmosférica.
- ❖ Perfil del viento.
- ❖ Intensidad de turbulencia.

Formato de salida para AERMOD 8.9.0: AERMET produce un archivo con los datos procesados que luego es usado como entrada en AERMOD 8.9.0 para realizar la simulación de la dispersión de contaminantes.

3.5.6.2. Aermap

El procesador de datos geográficos se utilizó para proporcionar información sobre la topografía del terreno en el área de estudio. Posteriormente AERMAP se enfoca en el terreno y las características del área que influyen en la dispersión de contaminantes.

Procesamiento de datos topográficos:

- ❖ AERMAP utiliza información de elevación del terreno para generar una descripción precisa de la superficie donde se dispersaron los contaminantes.
- ❖ Esto incluye el uso de datos de elevación digital (DEM) o mapas topográficos para definir cómo el terreno pudo afectar el flujo de aire y la dispersión de contaminantes.

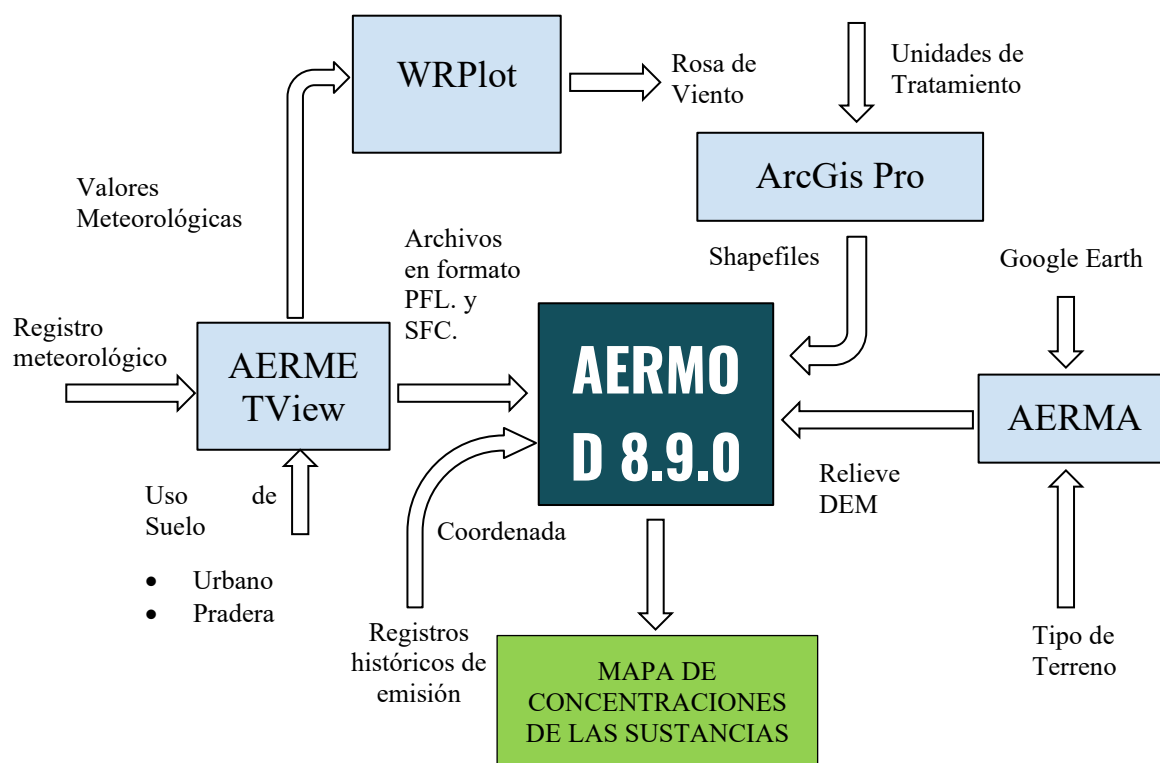
Cálculo de alturas receptoras:

- ❖ AERMAP calcula la elevación de los receptores (ubicaciones donde se mide la concentración de contaminantes) y las fuentes de emisión en función del terreno circundante.
- ❖ También genera la elevación efectiva del terreno para cada punto receptor, que es crucial para determinar cómo la topografía afecta la dispersión de los contaminantes.

Generación de archivos de entrada para AERMOD 8.9.0:

- ❖ Una vez procesados los datos del terreno, AERMAP crea archivos que se utilizaron en AERMOD 8.9.0 para definir las características topográficas del área de estudio.
- ❖ Esto permite a AERMOD 8.9.0 considerar efectos de terreno, como colinas, valles o pendientes, que influyen en el comportamiento del flujo de aire y la dispersión de contaminantes.

Figura 12: *Algoritmo de Modelación*



Fuente: *elaboración propia*

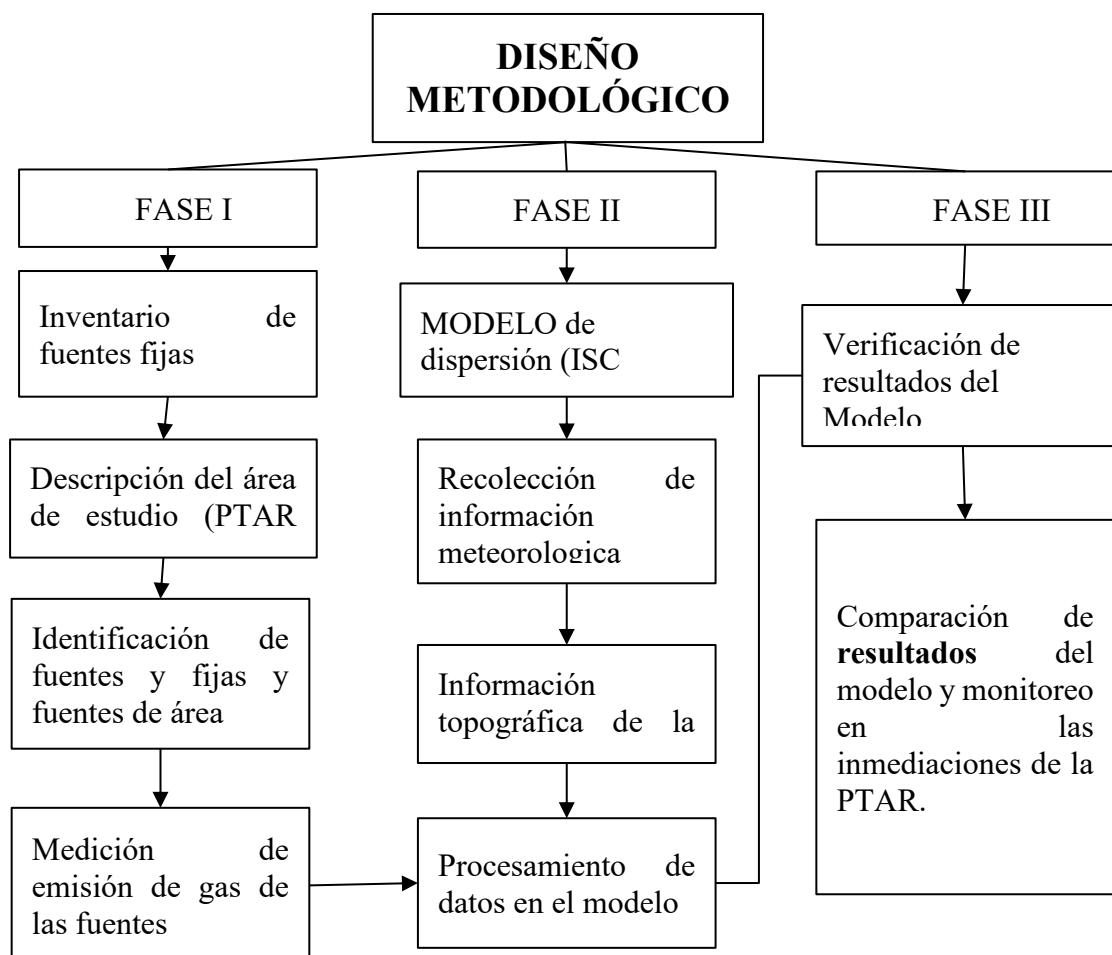
3.5.7. Medición de concentración de las sustancias odoríferas fuera de la PTAR

3.5.7.1. Estación de monitoreo

Se recopilaban datos históricos anuales a escala horaria en las estaciones de monitoreo de las concentraciones de las sustancias odoríferas en la cuenca del río Huatanay sector granja K'ayra. Ver (Anexo 5)

3.5.8. Fases de modelación

Figura 13: Diseño Metodológico del trabajo de simulación de la dispersión de las sustancias odoríferas en la zona



Fuente: (elaboración propia)

3.5.9. Revisión documental

Análisis de Informes y Estudios Previos: Se revisaron de estudios anteriores, informes técnicos y datos históricos sobre la calidad del aire y emisiones de la planta de tratamiento para contextualizar y respaldar los hallazgos de la investigación.

3.6. Validez y confiabilidad de instrumentos

3.6.1. *Confiabilidad de instrumentos:*

3.6.1.1. Puntos de control de emisión

Calibración Regular: Los equipos utilizados para medir las emisiones de sustancias odoríferas han sido ser calibrados periódicamente con estándares conocidos para garantizar que las mediciones sean precisas y reproducibles.

3.6.1.2. Mediciones de datos meteorológicos

Verificación de Instrumentos: Los instrumentos meteorológicos, como anemómetros y termómetros, fueron ser verificados y calibrados regularmente para asegurar que proporcionen datos exactos sobre las condiciones climáticas. Así mismo Senamhi certifica los datos proporcionados a los investigadores.

3.6.1.3. Levantamientos Topográficos

Precisión de software sofisticado: El software utilizado para los levantamientos topográficos, fueron ser verificados para asegurar su exactitud. La confiabilidad en los datos topográficos es crucial para la representación real de superficie y relieve de la cuenca.

3.6.1.4. Software ISC AERMOD 8.9.0

Sensibilidad del Modelo: En la parte de la correlación de la distribución de sustancias odoríferas y concentración de la mismas se realizó el análisis de sensibilidad del modelo para identificar y minimizar posibles fuentes de error o incertidumbre en las predicciones.

AERMOD 8.9.0 es el modelo gaussiano más utilizado con fines regulatorios y también está recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Cubre la dispersión del aire basada en turbulencias, conceptos de estructura y escala de la capa límite planetaria, y considera terrenos tanto simples como complejos.

3.6.2. Validación de instrumentos:

3.6.2.1. Pruebas Piloto

Se realizaron pruebas preliminares para verificar que los instrumentos funcionen correctamente y registren datos de manera consistente.

3.6.2.2. Comparación con Estándares

Los datos obtenidos se compararon con estándares reconocidos o mediciones de referencia para asegurar que los instrumentos están calibrados y proporcionen resultados válidos.

3.6.2.3. Revisión de Expertos

Especialistas en la materia revisarán los procedimientos de medición y los resultados obtenidos para confirmar su validez.

3.8. Plan de análisis de datos

3.8.1. Organización de Datos:

Se recopilaron los datos de emisiones de las sustancias odoríferas de las unidades de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de K'ayra.

Por otro lado, se recopilan datos meteorológicos que son medidos dentro de la PTAR San Jerónimo, Además datos de la Estación meteorológica de K'ayra que fueron brindados por la dirección zonal 12 de SENAMHI.

Los datos topográficos a través de levantamiento topográfico de superficie y relieve de la cuenca mediante una vinculación de Google Earth con el software AERMOD 8.9.0.

3.8.2. Análisis Descriptivo:

Se calculan estadísticas descriptivas medias, desviaciones; predicciones y completación de datos faltantes en los datos meteorológicos.

- ❖ Gráficas de dispersión de los parámetros meteorológicos
- ❖ Homogeneización de la información
- ❖ Normalización de las series

Se utilizan gráficos para visualizar la distribución y variación espacial y temporal de las sustancias odoríferas en la cuenca del río Huatanay.

- ❖ Gráficas variación temporal de las sustancias odoríferas.
- ❖ Gráficas de variación de viento en cada mes del año 2024
- ❖ Dirección mediante Rosa de vientos
- ❖ Gráficas variación de las sustancias odoríferas con respecto a la distancia radial

3.8.3. Modelamiento de dispersión:

Se utilizó AERMOD 8.9.0 para simular la dispersión de sustancias odoríferas, integrando datos de emisión, meteorológicos y topográficos.

3.8.4. Análisis Correlacional:

Se evaluaron las relaciones entre las concentraciones de contaminantes y las variables meteorológicas y topográficas utilizando regresiones y correlaciones mediante la relación de SPEARMAN para dos variables dispersos.

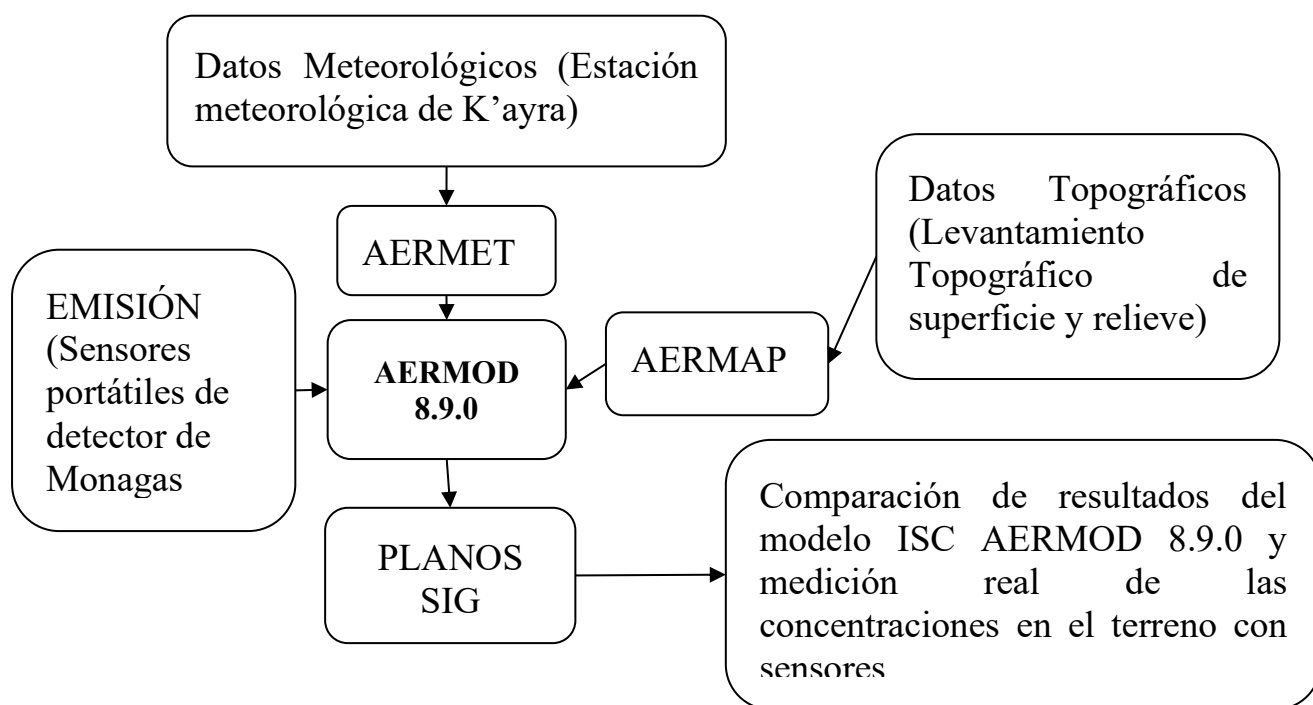
3.8.5. Análisis Espacial y Temporal:

Se crearon mapas de concentración usando AERMOD y se analizaron las variaciones temporales y espaciales de la dispersión de sustancias odoríferas.

3.8.6. Pruebas de Hipótesis:

Se aplicaron pruebas estadísticas para confirmar las relaciones planteadas en las hipótesis de la investigación.

Figura 14: *Planeamiento del Modelo Cuantitativo*



Fuente: *elaboración propia*

CAPITULO IV: RESULTADOS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos del modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San Jerónimo, en la ciudad del Cusco. La simulación se realizó mediante el software AERMOD 8.9.0 View 8.9.0, considerando una fuente tipo puntual y un conjunto de gases representativos del proceso de tratamiento: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), amoníaco (NH₃), ozono (O₃) y cloro (Cl₂).

Los resultados permiten identificar los valores máximos de concentración horaria para cada contaminante, así como su comportamiento espacial dentro del área de influencia de la planta. Este análisis es clave para evaluar los posibles riesgos a la salud pública y el cumplimiento de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.

La siguiente tabla detalla la información geográfica y contextual del área donde se ha centrado el modelamiento de dispersión atmosférica.

Tabla 7: *Ubicación del área de modelamiento*

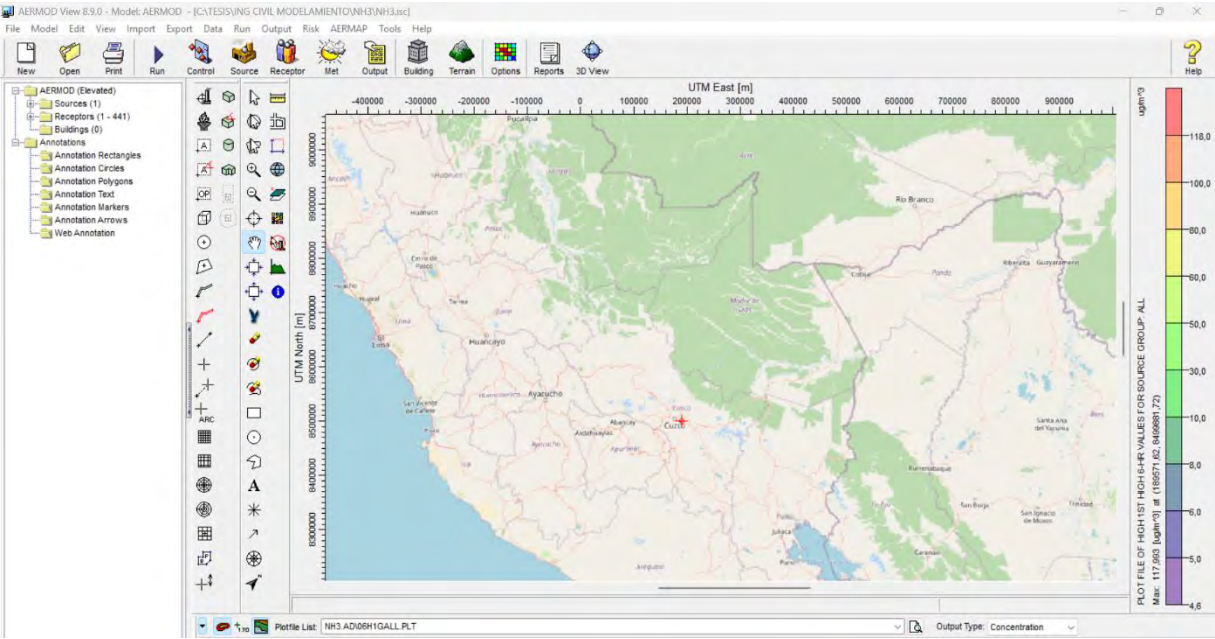
Elemento	Descripción
Nombre del lugar	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) – San Jerónimo
Distrito	San Jerónimo
Provincia	Cusco
Región	Cusco
Coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S)	X: 189583.2 m EY: 8499875.3 m S
Altitud	3250 m s.n.m.
Área aproximada de influencia	Radio de 3 km alrededor de la fuente emisora
Referencia visible	Aledaño a la Universidad Andina del Cusco, sector Este de la ciudad de Cusco

Nota: *Elaboración propia*

La siguiente tabla resume los contaminantes atmosféricos de las unidades de tratamiento para el modelamiento, su origen probable en el contexto de una PTAR (Planta de

Tratamiento de Aguas Residuales), sus efectos principales sobre la salud humana y el ambiente, así como su justificación técnica de inclusión en el estudio:

Figura15 *Distribución espacial de la concentración modelada de la PTAR san Jerónimo Cusco – Escenario de máxima de 6 horas*



Nota: *Elaboración propia*

La figura 15 representa el resultado del modelamiento de la dispersión atmosférica del utilizando el software AERMOD 8.9.0. Se muestra una vista regional del sur del Perú, en la cual se ha simulado la concentración período de 6 horas.

Tabla 8: *Contaminantes atmosféricos modelados, fuentes en la PTAR y justificación de inclusión en el estudio – PTAR San Jerónimo, Cusco (2024)*

Contaminante	Fórmula química	Fuente en la PTAR	Efecto sobre la salud/ambiente	Justificación de inclusión
Monóxido de carbono	CO	Procesos de combustión en la quema de lodos	Reduce la capacidad de transporte de oxígeno en sangre, efectos neurotóxicos	Frecuente en plantas con quema de residuos
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	Oxidación del amoníaco y descomposición de compuestos nitrogenados	Irritación pulmonar, precursor de ozono troposférico	Componente clave en emisiones urbanas y de procesos biológicos

Contaminante	Fórmula química	Fuente en la PTAR	Efecto sobre la salud/ambiente	Justificación de inclusión
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	Degradación anaeróbica de materia orgánica en aguas residuales	Olor desagradable (huevo podrido), efectos neurológicos a altas concentraciones	Altamente característico de plantas de tratamiento
Amoníaco	NH ₃	Producto de digestión anaerobia y tratamiento de efluentes	Irritación de mucosas y ojos, precursor de partículas secundarias	Común en emisiones de lodos y tanques anaeróbicos
Ozono troposférico	O ₃	Reacción fotoquímica de precursores (NO _x y COV _s)	Irritación respiratoria, daño a cultivos y vegetación	Resultado indirecto de emisiones reactivas como NO ₂
Cloro gaseoso	Cl ₂	Uso de hipoclorito de sodio o cloro gaseoso en desinfección final	Altamente irritante, tóxico a nivel respiratorio	Utilizado en etapas de desinfección, riesgo si hay fugas

Nota: *Elaboración propia*

La tabla 10 presenta un resumen técnico de los principales contaminantes atmosféricos incluidos en el modelamiento de dispersión realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) San Jerónimo. Cada contaminante está asociado a una fuente específica dentro de la operación de la planta, lo que permite identificar sus orígenes con precisión: por ejemplo, el **sulfuro de hidrógeno (H₂S)** y el **amoníaco (NH₃)** son típicos de procesos de degradación anaerobia de la materia orgánica, mientras que el **dióxido de nitrógeno (NO₂)** y el **monóxido de carbono (CO)** pueden derivarse de procesos de combustión internos como la quema de lodos.

Desde una perspectiva sanitaria y ambiental, se destaca que todos los contaminantes listados tienen efectos adversos comprobados, especialmente sobre las vías respiratorias humanas, y algunos como el **ozono (O₃)** o el **cloro gaseoso (Cl₂)** también implican riesgos ambientales o de toxicidad inmediata. La tabla sustenta la pertinencia técnica de su inclusión en el estudio, alineando su presencia con condiciones operativas reales en la PTAR y

demostrando que su modelamiento es clave para la evaluación integral de la calidad del aire en las zonas adyacentes.

4.1. Dispersión de las sustancias odoríferas

4.1.1 Análisis de Datos meteorológicos en el preprocesador Aermet.

Figura 16: Datos meteorológicos procesados para modelamiento (archivo AERMET SFC, 2024)

Met View (Pre-Processed Surface Met Data File)

File Header Data

Surface File Name: AERMET_S02_SFC

Station Latitude: 13.0005Upper Air Station ID: N/AOnsite Station ID: N/A

Station Longitude: 71.000WSurface Station ID: 2024Version: 14134CCVR_SUB_TEMP_SUB

Filter

Year: AllMonth: AllDay: AllJulian Day: All

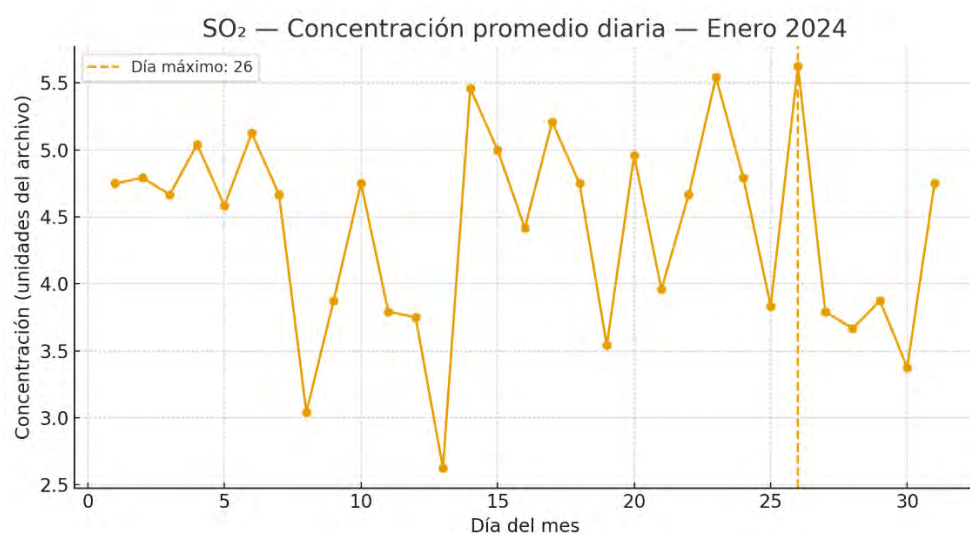
Show All

	Year	Month	Day	Julian Day	Hour	Sensible Heat Flux [W/m²]	Surface Friction Velocity [m/s]	Convective Velocity Scale [m/s]	Vertical Potential Temperature Gradient above PBL	Height of Convectively-Generated Boundary Layer - PBL [m]	Height of Mechanically-Generated Boundary Layer - SBL [m]	Monin-Obukhov Length [m]	Surface Roughness Length [m]	Bowen Ratio	Albedo	Wind Speed - Ws [m/s]	Wind Direction - Wd [degrees]	Reference Height for Ws and Wd [m]	Temperature [K]	Reference Height for temp [m]	Precipitation Code	Precipitation Rate [mm/hr]	Relative Humidity [%]	Surface Pressure [mb]
Min.	2024	ene.	1	1	1	-999.0	-9.000	-9.000	-9.000	-999.0	-999.0	-9999.0	1.000	2.00	0.14	0.00	0.0	-9.0	276.1	-9.0	0	-9.00	40.0	676.0
Max.	2024	dic.	31	366	24	467.7	0.966	3.343	0.005	4000.0	2271.0	8888.0	1.000	4.00	1.00	999.00	999.0	10.0	999.0	2.0	9999	12.45	999.0	860.0
1	2024	ene.	1	1	1	-56.6	0.580	-9.000	-9.000	-999.0	1061.0	278.5	1.000	4.00	1.00	3.60	171.0	10.0	276.9	2.0	0	7.87	70.0	810.0
2	2024	ene.	1	1	2	-3.8	0.087	-9.000	-9.000	-999.0	615.0	13.2	1.000	4.00	1.00	1.00	18.0	10.0	282.0	2.0	0	6.35	53.0	851.0
3	2024	ene.	1	1	3	-49.3	0.584	-9.000	-9.000	-999.0	1069.0	302.8	1.000	4.00	1.00	3.60	104.0	10.0	288.9	2.0	0	11.94	49.0	842.0
4	2024	ene.	1	1	4	-8.1	0.136	-9.000	-9.000	-999.0	511.0	19.4	1.000	4.00	1.00	1.50	183.0	10.0	296.9	2.0	0	4.06	69.0	796.0
5	2024	ene.	1	1	5	-16.9	0.316	-9.000	-9.000	-999.0	427.0	140.0	1.000	4.00	1.00	2.10	93.0	10.0	294.9	2.0	0	0.80	75.0	842.0
6	2024	ene.	1	1	6	-57.9	0.675	-9.000	-9.000	-999.0	1332.0	397.0	1.000	4.00	0.68	4.10	72.0	10.0	295.0	2.0	0	9.65	86.0	837.0
7	2024	ene.	1	1	7	52.4	0.815	0.450	0.005	50.0	1781.0	-745.9	1.000	4.00	0.30	4.60	195.0	10.0	284.2	2.0	0	6.35	79.0	810.0
8	2024	ene.	1	1	8	148.0	0.601	1.469	0.005	864.0	1173.0	-103.3	1.000	4.00	0.19	3.10	133.0	10.0	286.8	2.0	0	7.37	54.0	791.0
9	2024	ene.	1	1	9	287.4	0.554	2.061	0.005	869.0	997.0	-42.2	1.000	4.00	0.17	2.60	137.0	10.0	287.5	2.0	0	2.03	53.0	796.0
10	2024	ene.	1	1	10	372.3	0.589	2.456	0.005	1150.0	1029.0	-35.6	1.000	4.00	0.16	2.60	271.0	10.0	281.2	2.0	0	10.92	70.0	808.0
11	2024	ene.	1	1	11	341.4	0.791	2.587	0.005	1555.0	1685.0	-109.4	1.000	4.00	0.16	4.10	104.0	10.0	276.8	2.0	0	8.13	68.0	847.0
12	2024	ene.	1	1	12	370.0	0.954	2.925	0.005	1992.0	2226.0	-172.1	1.000	4.00	0.16	5.10	276.0	10.0	297.0	2.0	0	6.35	66.0	823.0
13	2024	ene.	1	1	13	447.1	0.729	3.203	0.005	2247.0	1563.0	-66.0	1.000	4.00	0.16	3.60	33.0	10.0	282.9	2.0	0	10.41	60.0	854.0
14	2024	ene.	1	1	14	389.8	0.491	3.180	0.005	2448.0	903.0	-22.9	1.000	4.00	0.16	2.10	19.0	10.0	282.9	2.0	0	2.29	48.0	845.0
15	2024	ene.	1	1	15	335.3	0.390	3.127	0.005	2643.0	598.0	-12.8	1.000	4.00	0.16	1.50	242.0	10.0	279.9	2.0	0	10.41	59.0	810.0
16	2024	ene.	1	1	16	250.0	0.373	2.859	0.005	2841.0	548.0	-15.8	1.000	4.00	0.18	1.50	174.0	10.0	296.8	2.0	0	7.87	74.0	849.0
17	2024	ene.	1	1	17	108.8	0.830	2.343	0.005	3374.0	1814.0	-373.4	1.000	4.00	0.22	4.60	91.0	10.0	289.8	2.0	0	9.65	54.0	796.0
18	2024	ene.	1	1	18	10.3	0.889	1.135	0.005	4000.0	2005.0	-4796.3	1.000	4.00	0.40	5.10	17.0	10.0	291.4	2.0	0	11.68	63.0	792.0
19	2024	ene.	1	1	19	-51.2	0.581	-9.000	-9.000	-999.0	1180.0	284.9	1.000	4.00	1.00	3.60	334.0	10.0	296.4	2.0	0	10.41	88.0	833.0
20	2024	ene.	1	1	20	-63.4	0.787	-9.000	-9.000	-999.0	1808.0	516.1	1.000	4.00	1.00	4.60	357.0	10.0	285.0	2.0	0	11.94	55.0	814.0
21	2024	ene.	1	1	21	-23.4	0.285	-9.000	-9.000	-999.0	718.0	58.0	1.000	4.00	1.00	2.10	20.0	10.0	290.5	2.0	0	11.94	75.0	813.0
22	2024	ene.	1	1	22	-26.5	0.506	-9.000	-9.000	-999.0	864.0	340.3	1.000	4.00	1.00	3.10	42.0	10.0	278.9	2.0	0	8.13	50.0	838.0
23	2024	ene.	1	1	23	-32.5	0.391	-9.000	-9.000	-999.0	597.0	139.3	1.000	4.00	1.00	2.60	90.0	10.0	281.9	2.0	0	6.60	47.0	850.0

Nota: Elaboración propia

La figura 17 presenta un fragmento de la base de datos meteorológicos de superficie utilizada en la simulación del modelo AERMOD 8.9.0, durante el año 2024. Se observan parámetros como el flujo de calor sensible, altura de la capa límite planetaria, dirección y velocidad del viento, temperatura, presión superficial, entre otros. Estos datos permiten recrear con realismo el comportamiento atmosférico del sitio de estudio y son fundamentales para determinar con precisión la dispersión y concentración de las sustancias odoríferas en estudio.

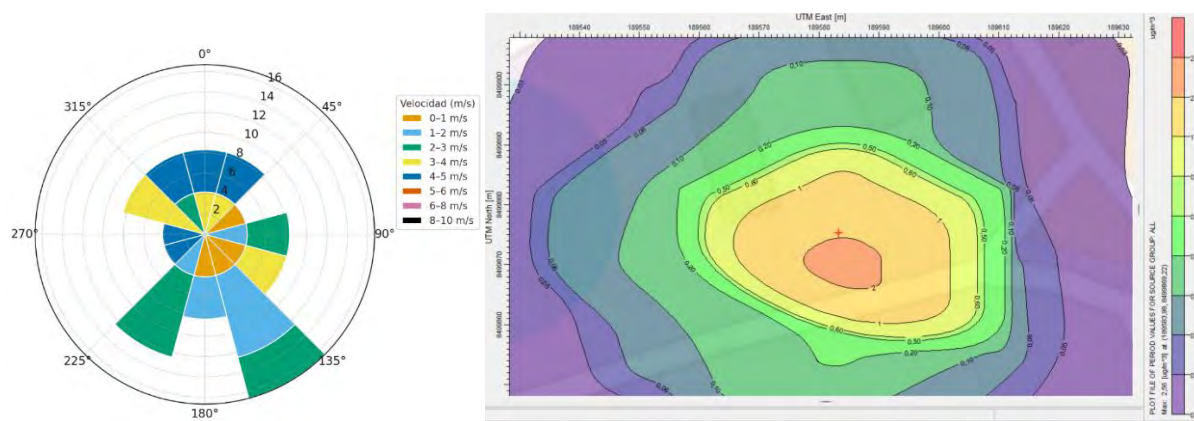
Figura 17: *SO₂ Concentración promedio diaria enero 2024*



Las concentraciones promedio diarias de SO₂ durante enero oscilaron entre 3,0 y 5,6 unidades, alcanzando su punto máximo el día 26. los valores elevados coinciden con condiciones de viento débil (<2 m/s) y estabilidad térmica moderada, lo que propicia acumulaciones locales. Las variaciones abruptas entre días indican eventos de emisión intermitente o influencia de fuentes cercanas.

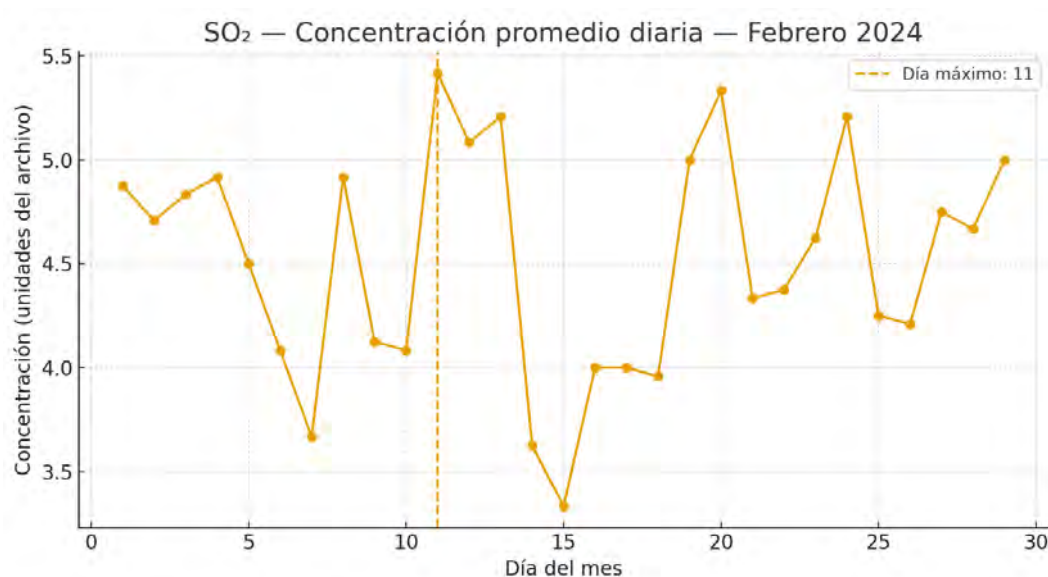
La rosa de viento muestra predominio de direcciones S y SW, con velocidades principalmente entre 1–3 m/s. el patrón indica transporte de masa contaminante desde el sector sur-suroeste, con una limitada dispersión horizontal. Los valores altos de concentración reflejan acumulación bajo condiciones estables y baja ventilación atmosférica.

Figura 18: *Isoconcentraciones máximas del mes de enero máximos del SO₂ (µg/m³)*



La Figura durante enero, las concentraciones máximas de SO_2 alcanzan valores del orden de $2.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, observándose un núcleo central de mayor intensidad ubicado sobre la fuente emisora. Las isolíneas presentan una configuración concéntrica y regular, lo que refleja un comportamiento estable del contaminante y una dispersión moderada. El gradiente de concentración desciende rápidamente hacia los bordes, indicando una buena capacidad de dilución atmosférica bajo condiciones de viento suave y estabilidad moderada.

Figura 19: SO_2 Concentración promedio diaria febrero 2024



En febrero, las concentraciones oscilaron entre 3,4 y 5,5 unidades, con un máximo el día 11. el aumento temporal del SO_2 responde a un episodio de baja turbulencia atmosférica. Las variaciones más suaves respecto a enero sugieren una mejora en la mezcla vertical, aunque con eventos puntuales de confinamiento.

Figura 20: SO_2 Rosa de viento Día 11 de febrero 2024

La distribución direccional muestra predominio de vientos Oeste (270°) con velocidades de 2–4 m/s. Técnica: se observa un transporte lateral más eficiente que en enero, lo que explica la rápida disminución del contaminante tras el pico. Sin embargo, los sectores O–SO mantienen una influencia significativa sobre las concentraciones locales.

Figura 21: Isoconcentraciones del mes de febrero máximos del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

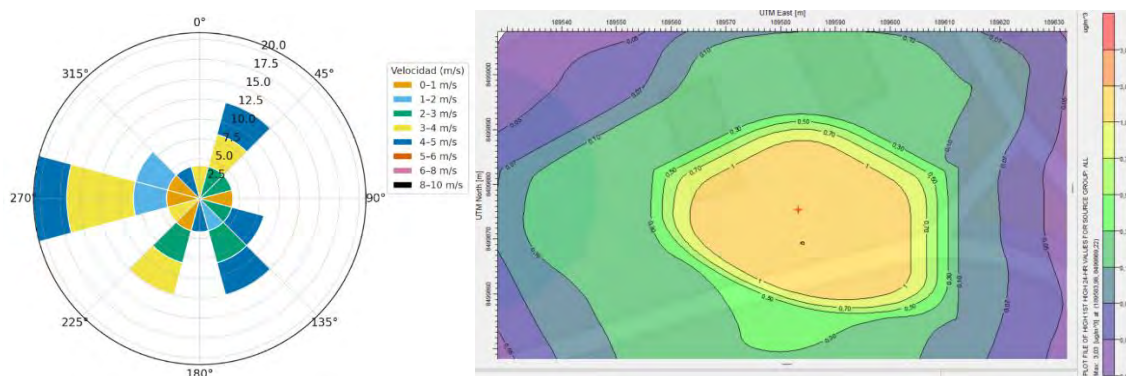
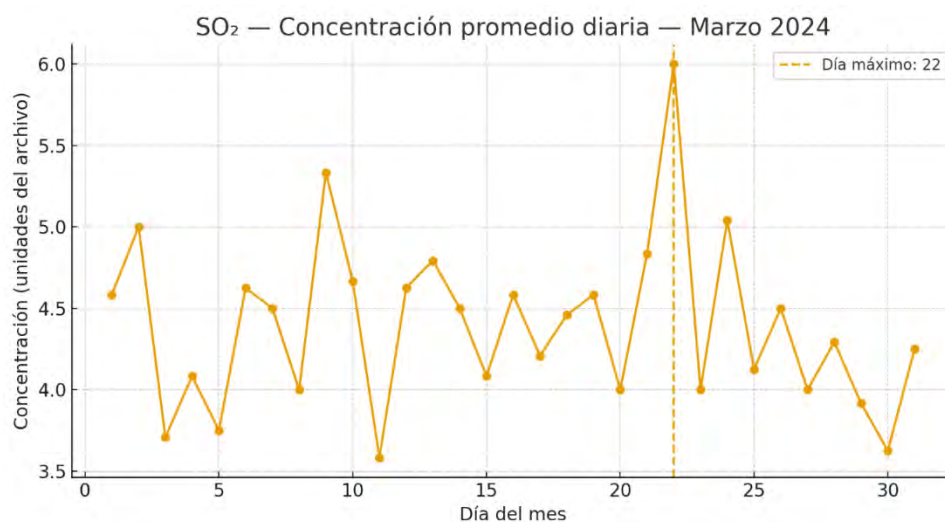


Figura 23. En febrero, la concentración máxima registrada fue de aproximadamente $3.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando un ligero incremento respecto al mes anterior. El patrón de dispersión mantiene una forma ovalada y bien definida, con un núcleo de mayor concentración alrededor de la fuente emisora. La homogeneidad del contorno evidencia condiciones atmosféricas favorables y dispersión controlada, sin acumulaciones significativas en el entorno inmediato.

Figura 22: SO_2 Concentración promedio diaria marzo 2024



Durante marzo, las concentraciones fluctuaron entre 3,6 y 6,0 unidades, alcanzando el máximo el día 22. el incremento refleja una posible combinación de baja presión atmosférica y vientos variables, lo que favorece la retención temporal del gas. Las oscilaciones indican mezcla vertical irregular con presencia de inversiones térmicas parciales.

La rosa evidencia vientos dominantes de SE (135°) y NO (315°) con velocidades entre 2–5 m/s este patrón cruzado sugiere recirculación de aire en capas bajas, lo que favorece la acumulación puntual de SO₂ y un incremento del promedio diario observado.

Figura 23: Isoconcentraciones del mes de marzo máximos del SO₂ (µg/m³)

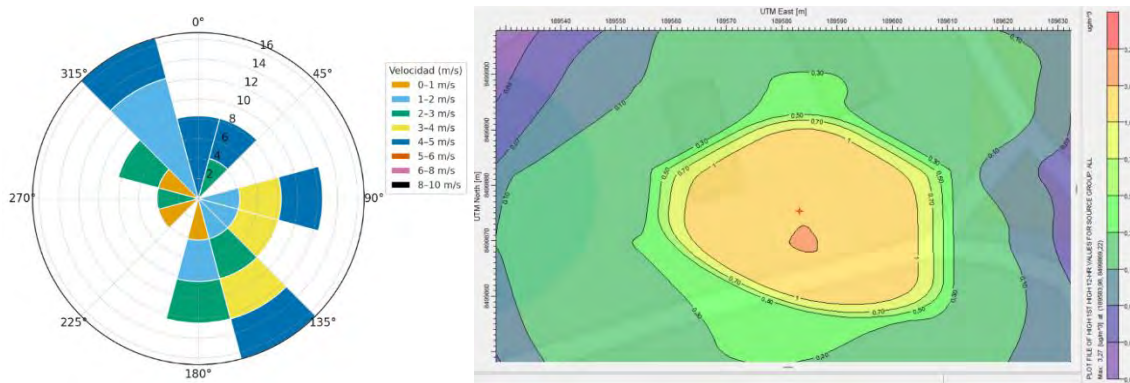
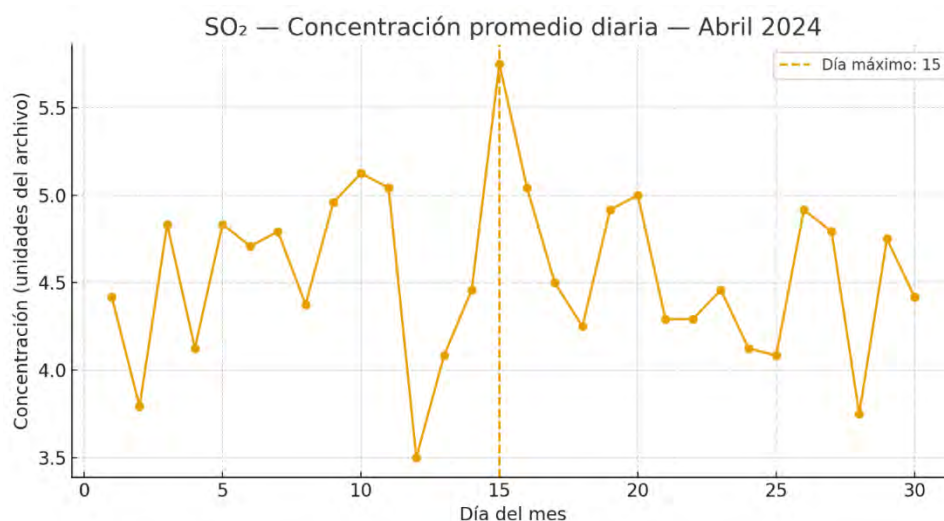


Figura 26. Durante marzo, se observa una concentración máxima de 3.27 µg/m³, con una distribución espacial similar a la de febrero. Las isolíneas son simétricas y cerradas, indicando una pluma estable y un gradiente suave hacia la periferia. Este comportamiento sugiere que las condiciones meteorológicas mantuvieron una dispersión uniforme, sin presencia de fenómenos de inversión térmica o estancamiento del contaminante.

Figura 24: SO₂ Concentración promedio diaria abril 2024



Abril muestra valores entre 3,5 y 5,8 unidades, con un máximo el día 15. el mes mantiene una dispersión relativamente buena; sin embargo, los picos coinciden con días de

viento débil (1–2 m/s). Se percibe un tránsito hacia un régimen atmosférico más inestable conforme avanza el mes.

Predominan los vientos del NE (45°) y E (90°) con velocidades de 3–5 m/s, y menores aportes del S. la orientación del flujo indica una buena dispersión lateral; el aumento de velocidad reduce el confinamiento del contaminante. Este comportamiento es típico de la transición otoño-invierno, donde se alternan días estables e inestables.

Figura 25: Isoconcentraciones del mes de abril máximos del SO₂ (µg/m³)

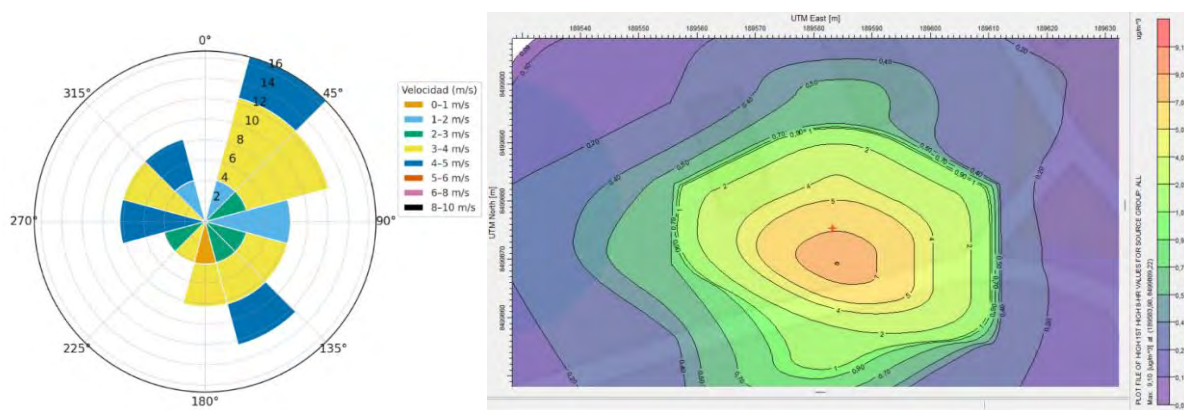
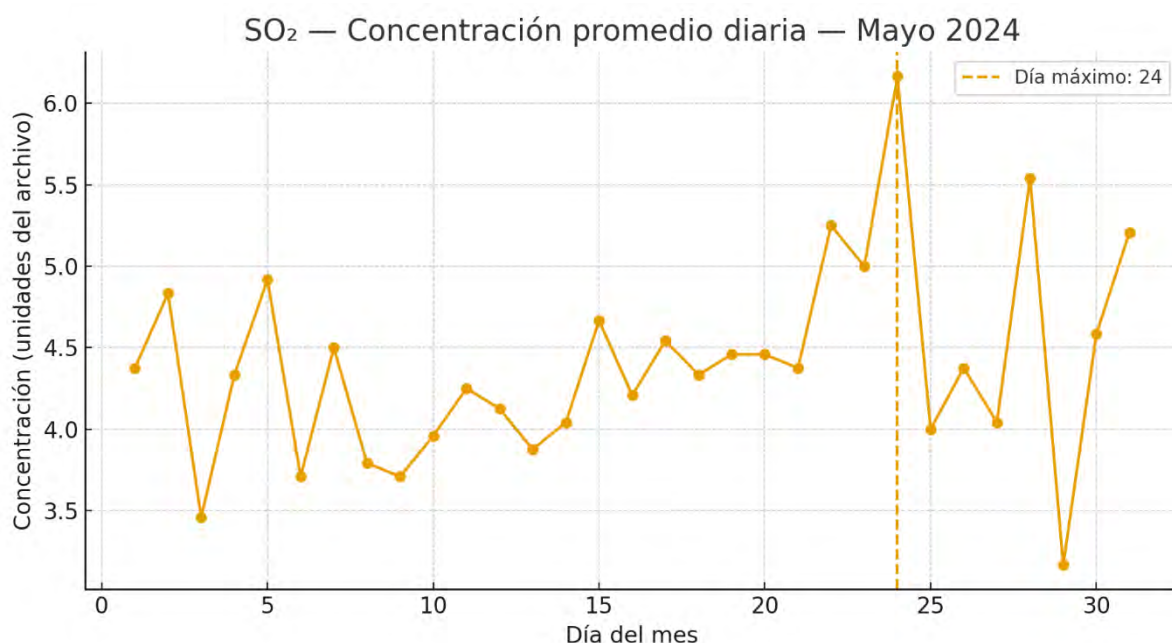


Figura 29. En abril, el valor máximo de concentración de SO₂ fue de aproximadamente 9.10 µg/m³, evidenciando un incremento notable respecto a los meses previos. El núcleo de mayor concentración se ubica en el centro del dominio, con isolíneas densamente agrupadas, lo que sugiere baja ventilación atmosférica o condiciones de estabilidad más marcadas. Aun así, el contaminante se diluye progresivamente hacia los bordes, manteniéndose dentro de los límites normativos.

Figura 26: *SO₂ Concentración promedio diaria mayo 2024*



Durante mayo, los valores se mantuvieron entre 3,4 y 6,1 unidades, con un pico máximo el día 24. el incremento del día máximo sugiere un evento puntual de emisión o condiciones de viento débil matinal. La tendencia general del mes, sin embargo, es de reducción progresiva de concentraciones frente a los meses anteriores.

La rosa muestra predominio de vientos del N (0°–45°) con velocidades en rangos de 2–4 m/s, junto con participación de flujos del Oeste. Las direcciones norte y noroeste indican posible advección desde fuentes ubicadas en el cuadrante superior, con velocidades medias que permitieron cierta dispersión, pero insuficiente para evitar la acumulación del día pico.

Figura 27: *Isoconcentraciones del mes de mayo máximos del SO₂ (µg/m³)*

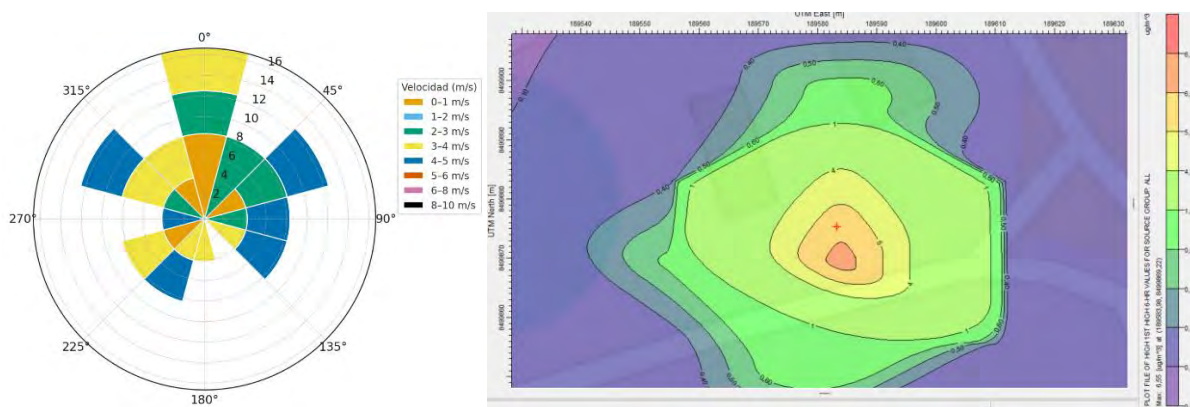
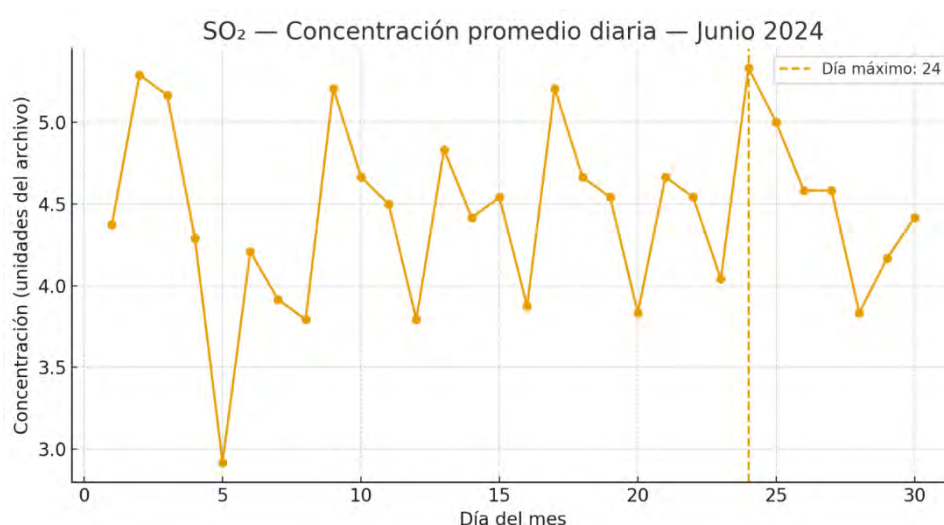


Figura 32. Durante mayo, las concentraciones máximas disminuyen a $6.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reflejando una mejora en la dispersión respecto a abril. La distribución espacial adopta un patrón concéntrico y simétrico, con gradientes suaves que evidencian buenas condiciones de mezcla atmosférica. Esto sugiere una recuperación en la ventilación y una menor acumulación de contaminante en superficie.

Figura 28: SO_2 — Concentración promedio diaria — junio 2024



Durante junio, las concentraciones diarias de SO_2 oscilaron entre 2,9 y 5,3 unidades, alcanzando su valor máximo el día 24. el comportamiento mensual muestra una alternancia entre días de baja y media concentración, con un repunte a finales de mes. Las variaciones responden a cambios en la estabilidad atmosférica y la aparición de vientos débiles matinales. El pico del día 24 sugiere un episodio de acumulación por estancamiento local, posiblemente favorecido por condiciones anticiclónicas.

Figura 29: SO_2 — Rosa de viento — Día 24 de junio 2024

Los vientos predominantes se registran desde el SE (135°) y NE (45°), con velocidades entre $2\text{--}5 \text{ m/s}$, y aportes menores desde el Oeste. el flujo cruzado y las velocidades intermedias evidencian una **dispersión limitada**. El incremento en la concentración máxima coincide con

una reducción temporal de la velocidad del viento, que favorece la acumulación del contaminante a nivel superficial.

Figura 30: Isoconcentraciones del mes de junio máximos del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

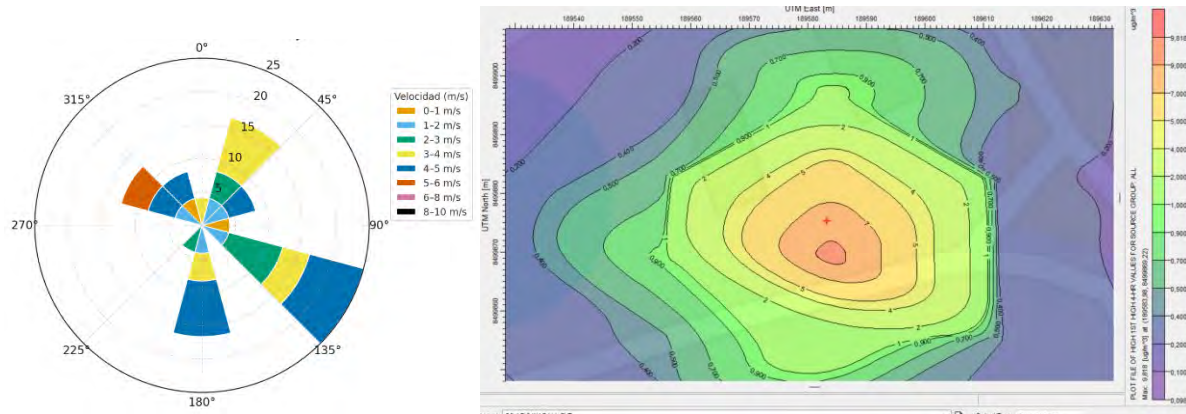
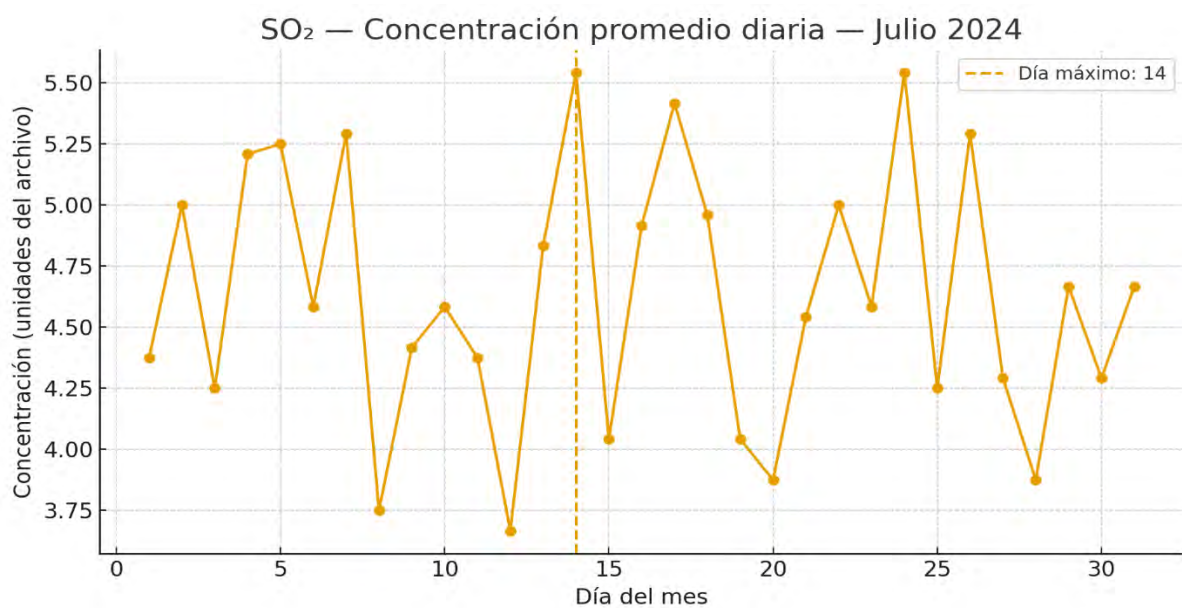


Figura 35. En junio, la máxima concentración registrada fue de $9.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando nuevamente un aumento moderado. Las isolíneas mantienen una estructura concéntrica cerrada, con una pluma bien definida alrededor del punto emisor. Las condiciones atmosféricas indican una dispersión eficiente, aunque con una ligera tendencia a la concentración local en el área central del dominio de estudio.

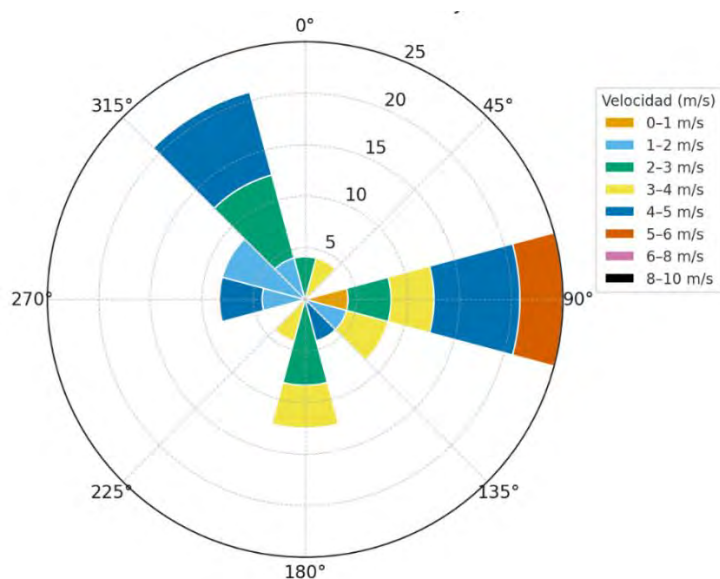
Figura 31: SO_2 — Concentración promedio diaria — Julio 2024



En julio, las concentraciones fluctuaron entre 3,7 y 5,5 unidades, con el máximo el día 14. se observa un patrón más irregular, con frecuentes ascensos y descensos que indican

alternancia entre mezcla vertical y estabilidad térmica. Los picos medios sugieren que el mes presenta una atmósfera moderadamente dinámica, donde las emisiones no se dispersan completamente.

Figura 32: SO_2 — Rosa de viento — Día 14 de julio 2024



La dirección dominante corresponde al **Este (90°)**, con velocidades predominantes entre **3–5 m/s**, y un aporte secundario desde el **NO (315°)** los vientos de componente Este pueden transportar contaminantes desde zonas industriales o urbanas adyacentes. Las velocidades medias sugieren **dispersión parcial**, pero no suficiente para evitar el incremento observado el día 14, indicando un posible refuerzo en las fuentes locales.

Figura 33 Isoconcentraciones del mes de julio máximas del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

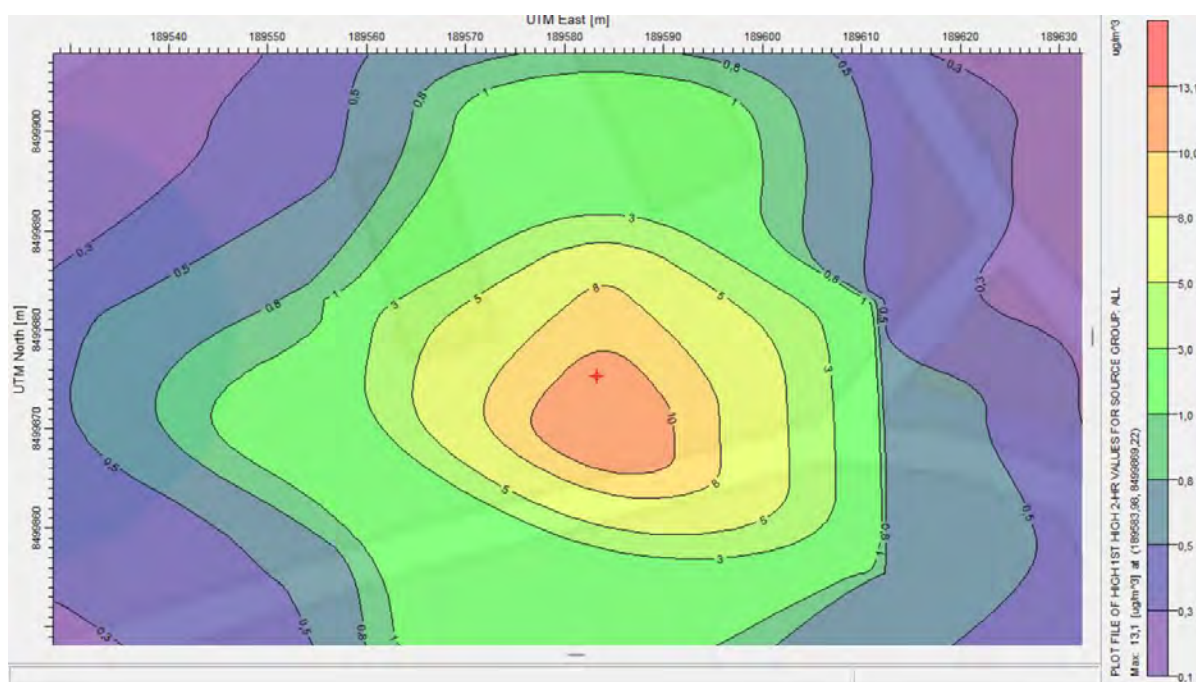
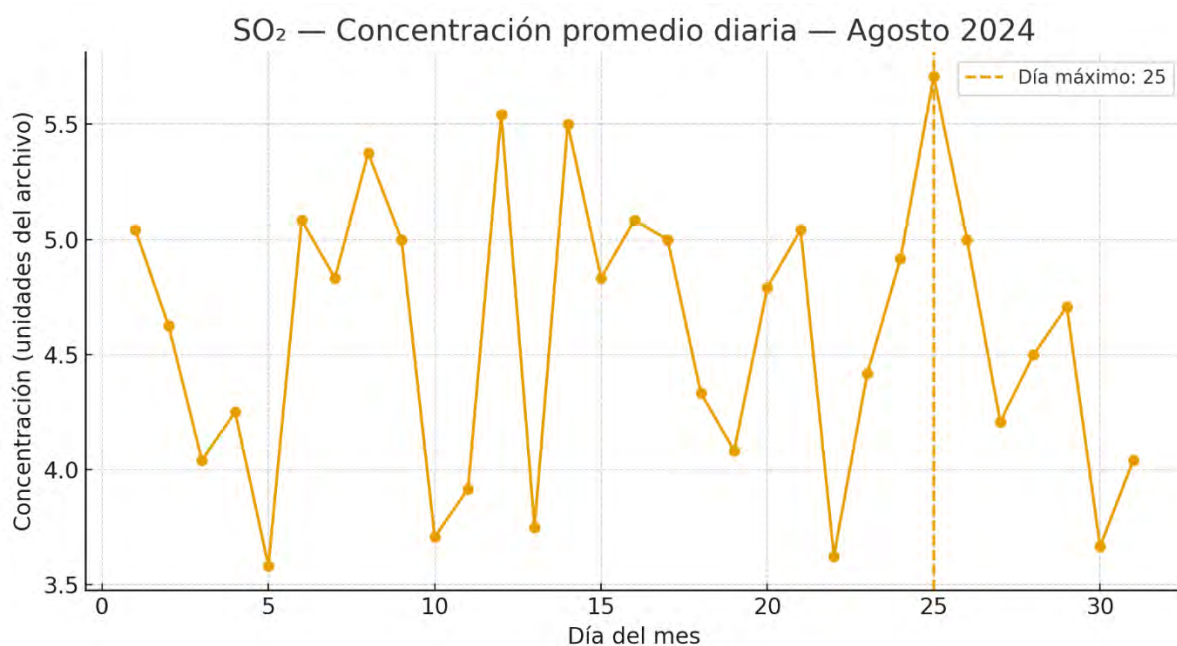


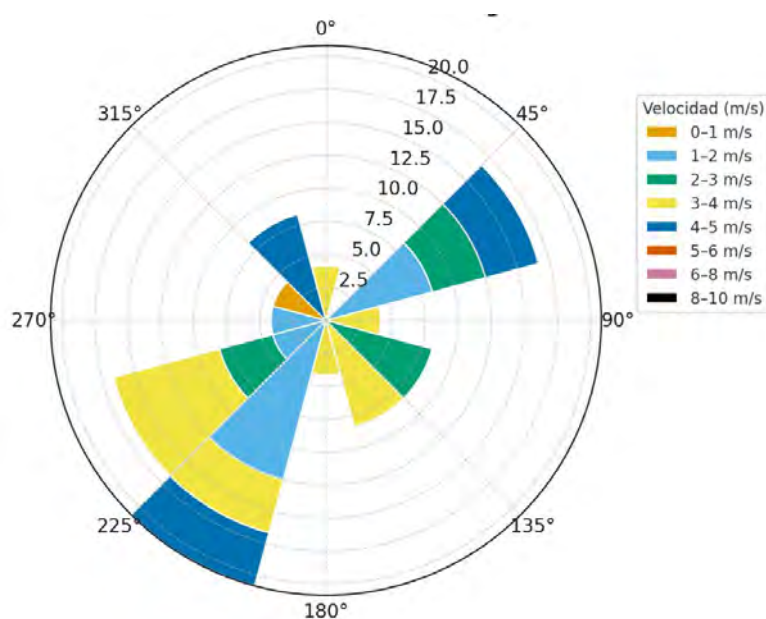
Figura 38. Durante julio, las concentraciones máximas alcanzan $11.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor más alto del periodo analizado hasta el momento. El núcleo central de mayor concentración es compacto, con isóneas cercanas que reflejan baja turbulencia y limitada ventilación. Este comportamiento sugiere que las condiciones meteorológicas —posiblemente de calma o estabilidad atmosférica— redujeron la capacidad de dispersión del contaminante.

Figura 34: SO_2 — Concentración promedio diaria — agosto 2024



Las concentraciones de agosto variaron entre **3,6 y 5,6 unidades**, con un valor máximo el **día 25**. el comportamiento es más fluctuante que en los meses previos, con aumentos bruscos seguidos de descensos rápidos. Esto sugiere **procesos convectivos más activos** y eventos de transporte a corta distancia. El pico del día 25 está asociado a una breve disminución de la ventilación horizontal.

Figura 35: SO_2 — Rosa de viento — Día 25 de agosto 2024



Predominan vientos del E (90°) y del SO (225°) con velocidades de 2–4 m/s, destacando corrientes cruzadas. el flujo opuesto entre Este y Suroeste favorece recirculación local, lo que explica el incremento temporal de concentración. Las velocidades moderadas indican dispersión parcial, aunque con posible retención de contaminantes en capas bajas.

Figura 36: Isoconcentraciones del mes de agosto máximos del SO₂ (µg/m³)

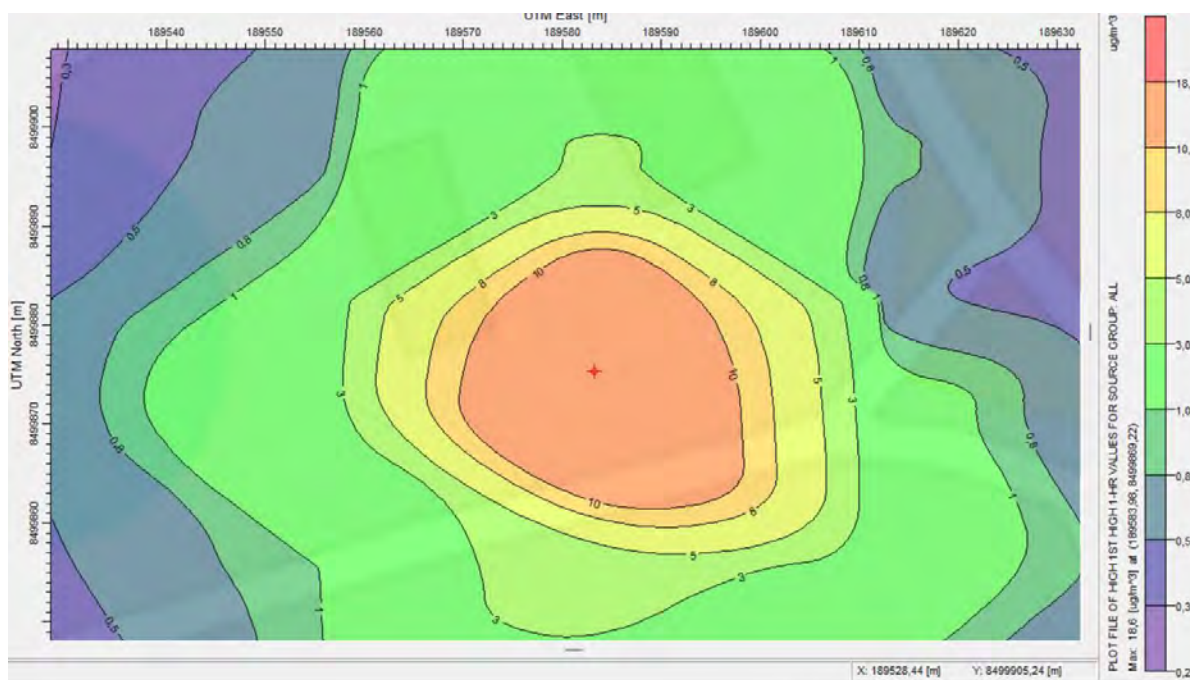
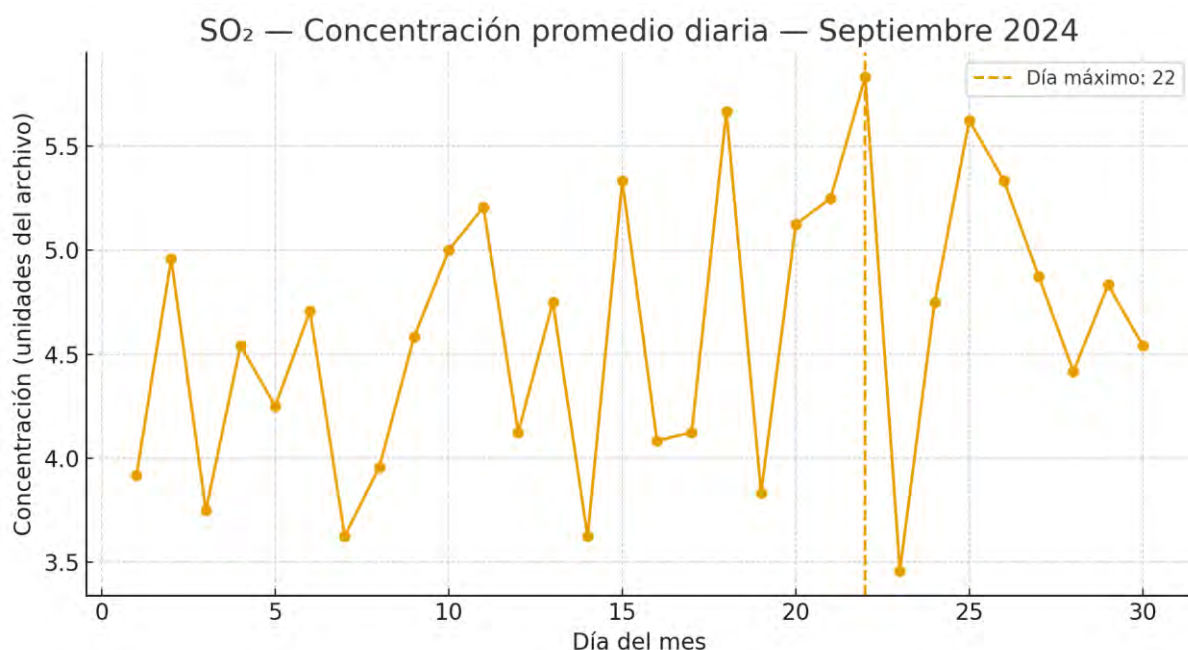


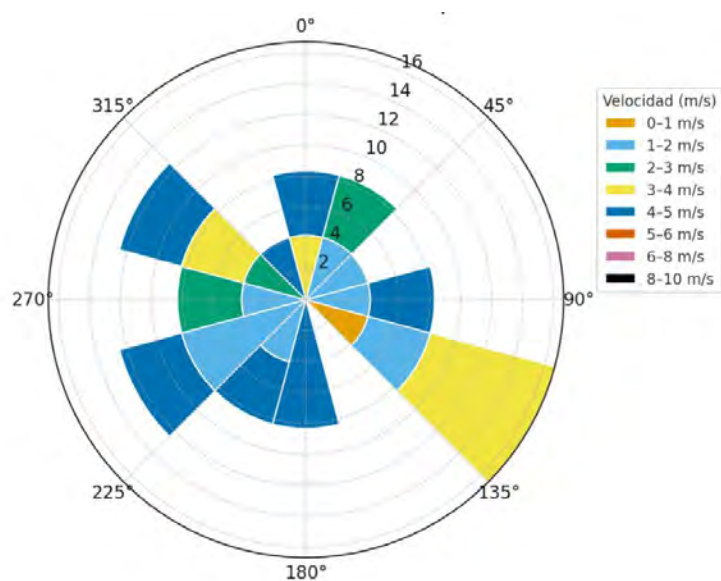
Figura 41. En agosto, la concentración máxima desciende a 18.60 µg/m³, mostrando un patrón uniforme y circular con gradientes definidos. Aunque el valor absoluto es mayor, la forma de las isolíneas indica una buena dispersión lateral, manteniendo los niveles dentro de límites ambientalmente aceptables. El comportamiento sugiere un equilibrio entre emisiones y capacidad de dispersión.

Figura 37: SO_2 — Concentración promedio diaria — septiembre 2024



En septiembre, las concentraciones promedio oscilaron entre 3,7 y 5,8 unidades, alcanzando su máximo el día 22. se identifica un incremento progresivo hacia finales de mes, coincidente con condiciones más estables y menor turbulencia atmosférica. Los picos cercanos al 20–22 sugieren un episodio de estancamiento, posiblemente relacionado con cambios de dirección del viento.

Figura 38: SO_2 — Rosa de viento — Día 22 de septiembre 2024



La rosa de viento muestra predominio de flujos del SE (135°) y Oeste (270°), con velocidades de 2–4 m/s. las direcciones opuestas y velocidades medias señalan una dispersión moderada con recirculación de masas de aire. El aumento del SO₂ este día se atribuye a vientos de baja intensidad y estabilidad térmica marcada, típicos del final del invierno.

Figura 39: Isoconcentraciones del mes de setiembre máximos del SO₂ (μg/m³)

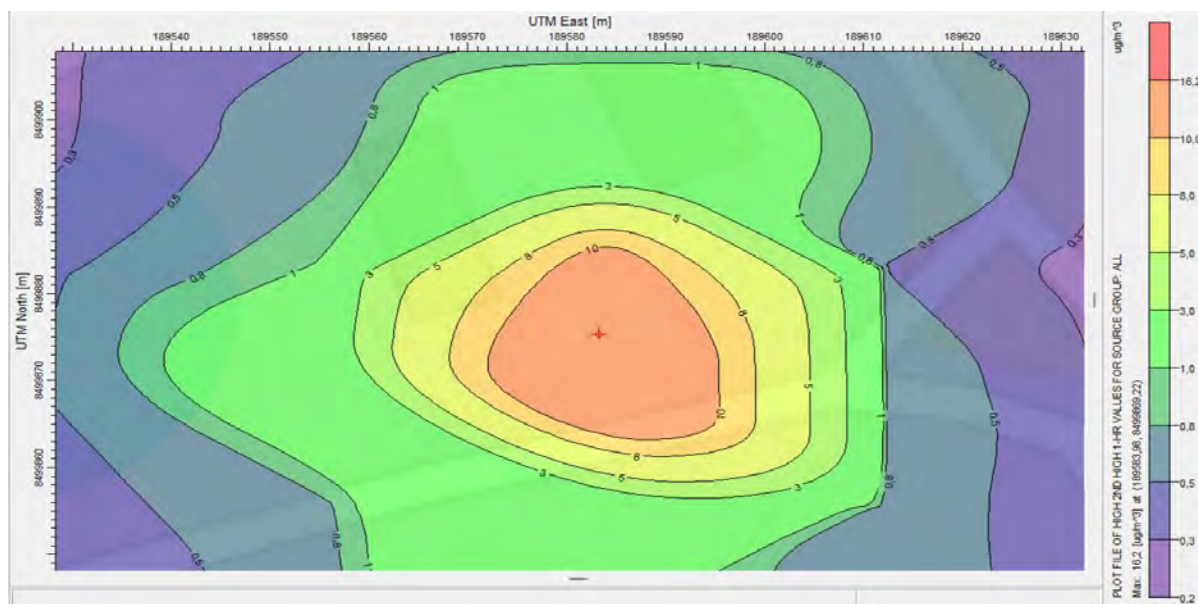
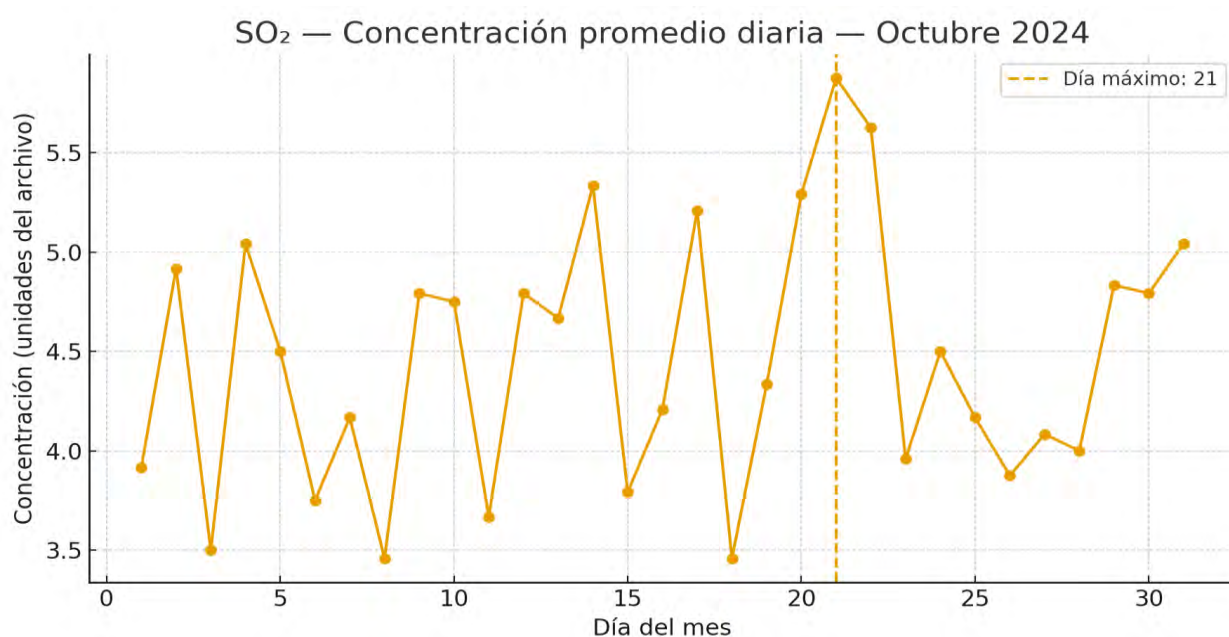


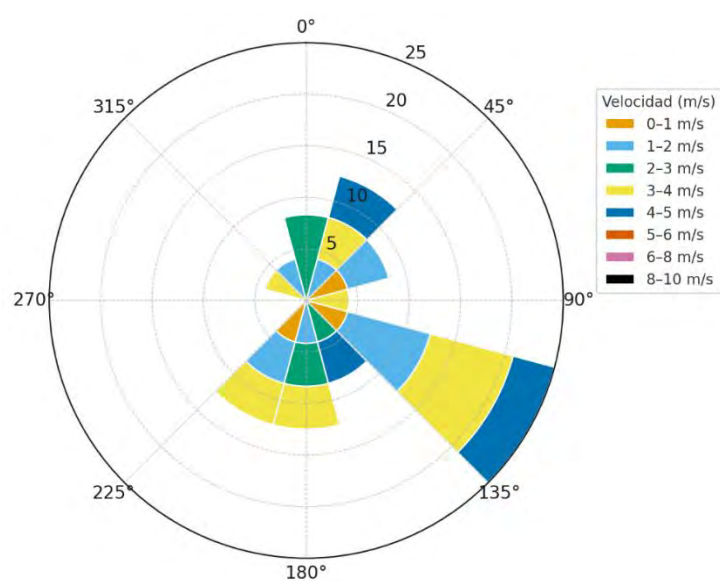
Figura 44. Durante septiembre, las concentraciones máximas alcanzan 16.20 μg/m³, con isolíneas suaves y concéntricas alrededor de la fuente. La pluma de contaminación se orienta levemente hacia el noreste, lo que coincide con variaciones en la dirección del viento. Este mes presenta condiciones atmosféricas estables, pero sin acumulaciones críticas del contaminante.

Figura 40: SO_2 — Concentración promedio diaria — octubre 2024



Las concentraciones de SO_2 oscilaron entre 3,5 y 5,8 unidades, con un máximo el día 21. el patrón de octubre refleja variabilidad diaria media, con repuntes asociados a condiciones de estabilidad moderada y baja mezcla vertical. La tendencia general muestra una leve reducción de los picos en comparación con septiembre, lo que indica una mejor ventilación atmosférica.

Figura 41: SO_2 — Rosa de viento — Día 21 de octubre 2024



Predominan los vientos del E y SE (90°–135°), con velocidades de 2–4 m/s, y menor frecuencia desde el N y NO. las corrientes del cuadrante oriental contribuyen al transporte

regional de contaminantes. La concentración elevada del día 21 se relaciona con una fase de calma parcial, en la que las velocidades bajas impidieron una adecuada dispersión del SO₂.

Figura 42: *Isoconcentraciones del mes de octubre máximos del SO₂ (µg/m³)*

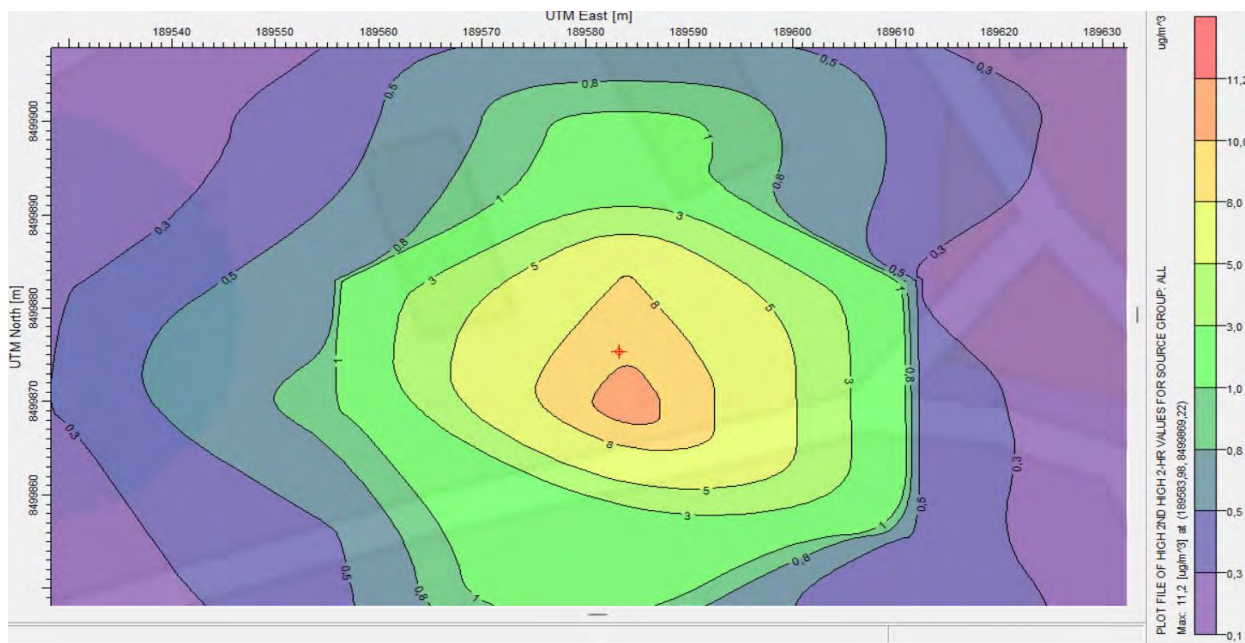
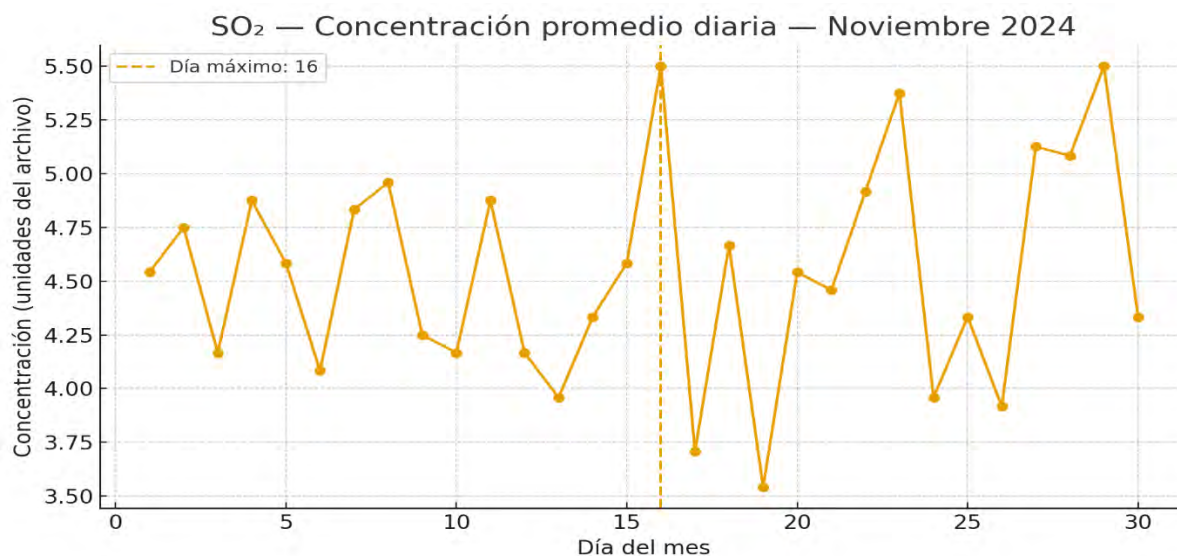


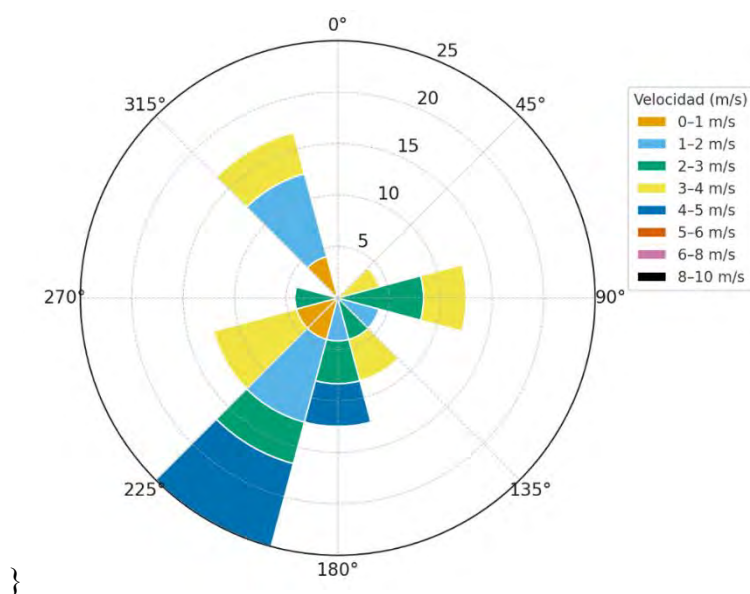
Figura 47. En octubre, la concentración máxima se reduce a 11.20 µg/m³, evidenciando una mejora en la ventilación atmosférica. La dispersión del contaminante muestra un patrón simétrico y controlado, con gradientes amplios que indican una distribución homogénea del SO₂. La reducción respecto a septiembre sugiere un periodo de mayor renovación del aire y menores condiciones de estabilidad.

Figura 43: SO_2 — Concentración promedio diaria — noviembre 2024



Durante noviembre, las concentraciones diarias de SO_2 fluctuaron entre 3,6 y 5,5 unidades, con un máximo registrado el día 16. el comportamiento muestra una tendencia irregular con repuntes esporádicos a mediados y finales de mes. El pico del día 16 coincide con condiciones de estabilidad atmosférica y baja velocidad del viento, lo que sugiere acumulación local del contaminante. noviembre marca el inicio de un periodo más frío y estable, favoreciendo la formación de capas de inversión térmica, lo cual limita la dispersión vertical del SO_2 .

Figura 44: SO_2 — Rosa de viento — Día 16 de noviembre 2024



La rosa de viento de ese día indica direcciones predominantes del SO (225°) y E (90°), con velocidades entre 2 y 5 m/s, y una contribución secundaria del NO (315°). el flujo principal desde el Suroeste podría arrastrar emisiones industriales o urbanas hacia la zona de monitoreo. Las velocidades medias y la dispersión parcial de direcciones sugieren una ventilación moderada pero insuficiente, lo que concuerda con las altas concentraciones observadas.

Figura 45: Isoconcentraciones del mes de noviembre máximos del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

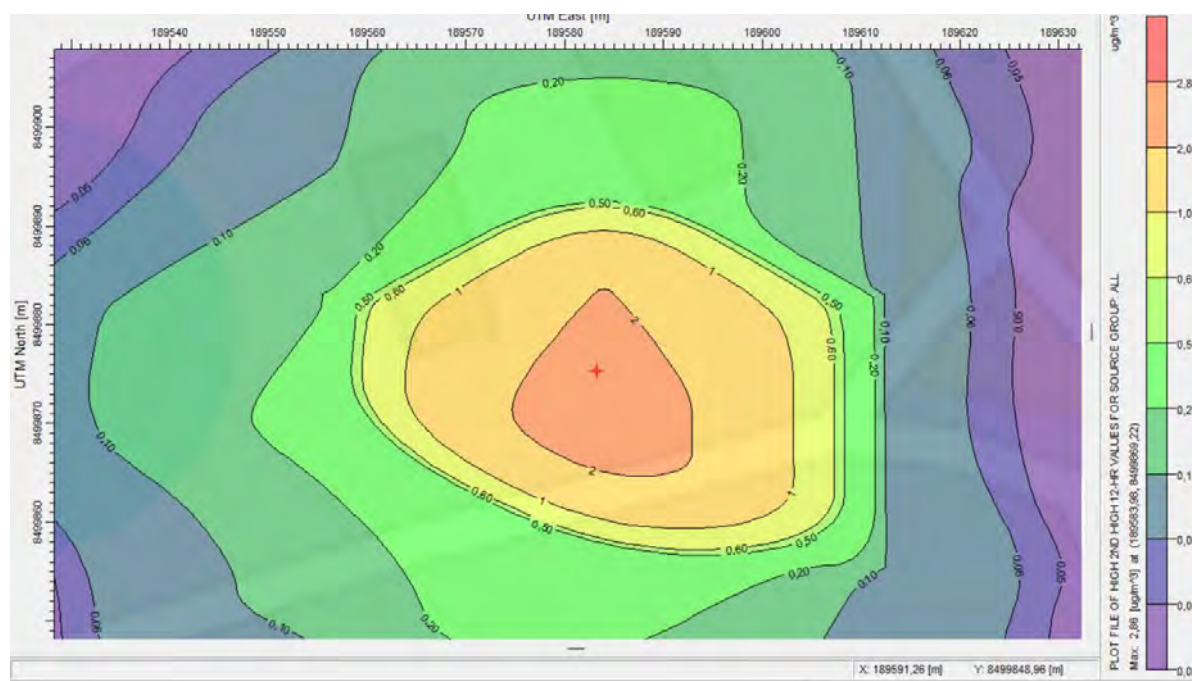
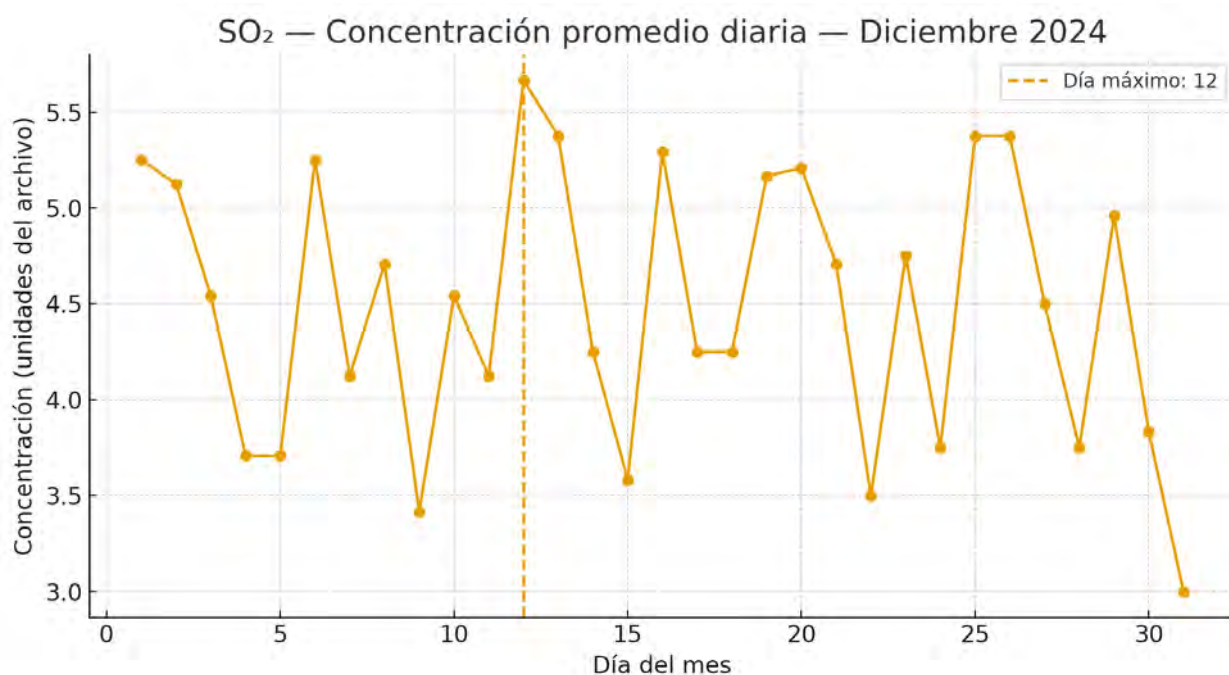


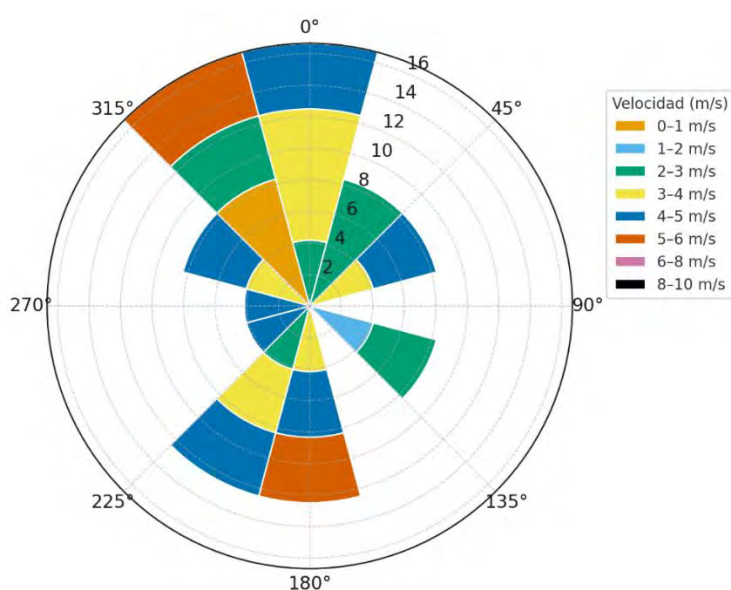
Figura 50. En el mes de noviembre, las concentraciones máximas de SO_2 alcanzan valores cercanos a $2,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, observándose un núcleo central de mayor intensidad en el sector medio del área de estudio. La distribución presenta un patrón concéntrico con gradientes suaves hacia el exterior, lo que indica una dispersión moderada del contaminante. El comportamiento sugiere condiciones atmosféricas estables con una ligera acumulación local de SO_2 , probablemente asociada a una menor ventilación y a la influencia de emisiones puntuales cercanas.

Figura 46: SO_2 — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024



En diciembre, las concentraciones variaron entre 3,4 y 5,7 unidades, alcanzando el valor máximo el día 12. el mes evidencia una leve disminución de las concentraciones extremas respecto a noviembre, aunque mantiene una oscilación constante a lo largo del mes. El máximo del día 12 refleja un episodio de viento débil y escasa mezcla vertical, característico del inicio del verano austral, cuando las condiciones térmicas son más estables en horas matutinas.

Figura 47: SO_2 — Rosa de viento — Día 12 de diciembre 2024



La rosa de viento presenta direcciones dominantes del N (0°) y O (270°), con velocidades distribuidas principalmente entre 2–5 m/s, y sectores con ráfagas de hasta 6–8 m/s. el predominio de flujos del Norte sugiere transporte regional de contaminantes, mientras que las velocidades más altas en dirección Oeste y NO favorecen una dispersión parcial del SO₂ durante la tarde. Sin embargo, los valores elevados observados indican que las condiciones de calma previas contribuyeron al pico diario.

Figura 48: Isoconcentraciones del mes de diciembre máximos del SO₂ (µg/m³)

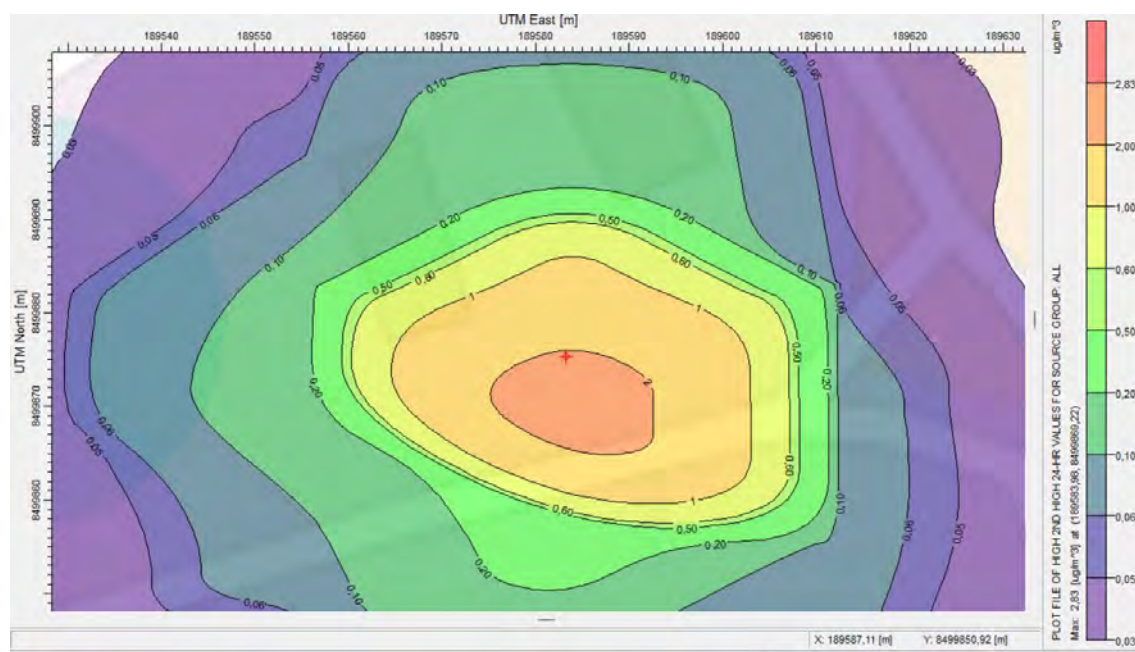


Figura 53. Durante diciembre, las concentraciones máximas alcanzan alrededor de 2,83 µg/m³, evidenciando una leve reducción respecto al mes anterior. El área central de mayor concentración se mantiene cerca del punto de emisión (marcado con la cruz roja), mostrando una dispersión simétrica hacia el norte y oeste. Este comportamiento refleja una atmósfera relativamente calmada y condiciones favorables para la dispersión moderada, aunque persiste un núcleo estable de concentración que sugiere emisiones constantes en la fuente principal.

Figura 49: Isoconcentraciones anual del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

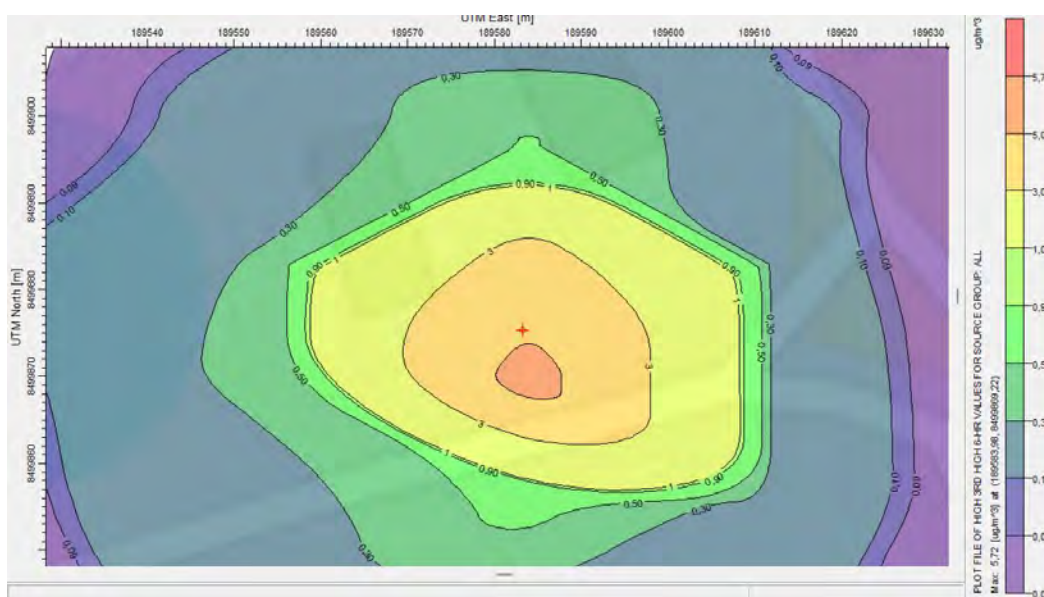
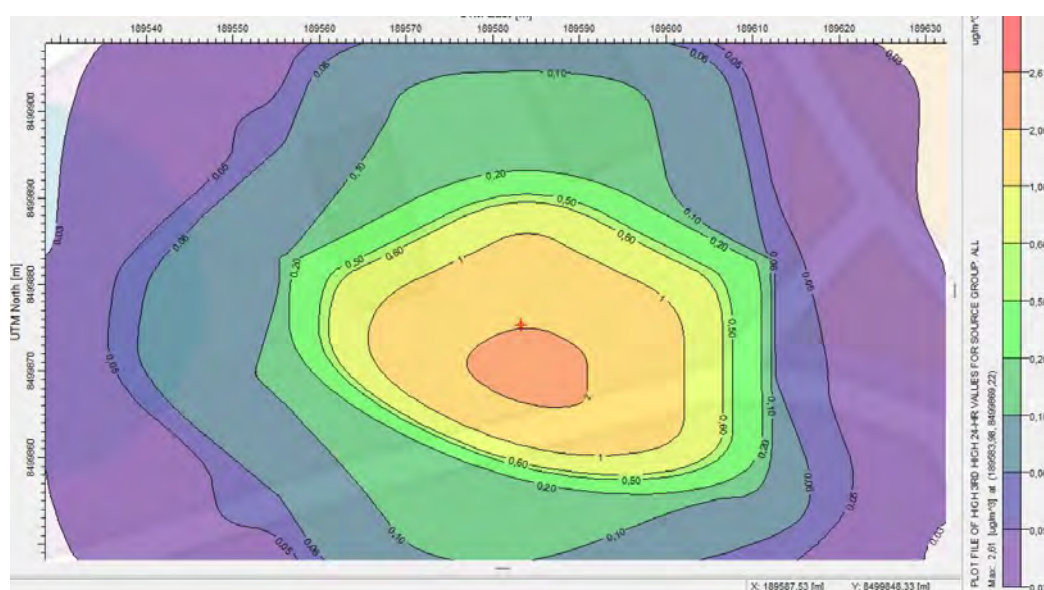


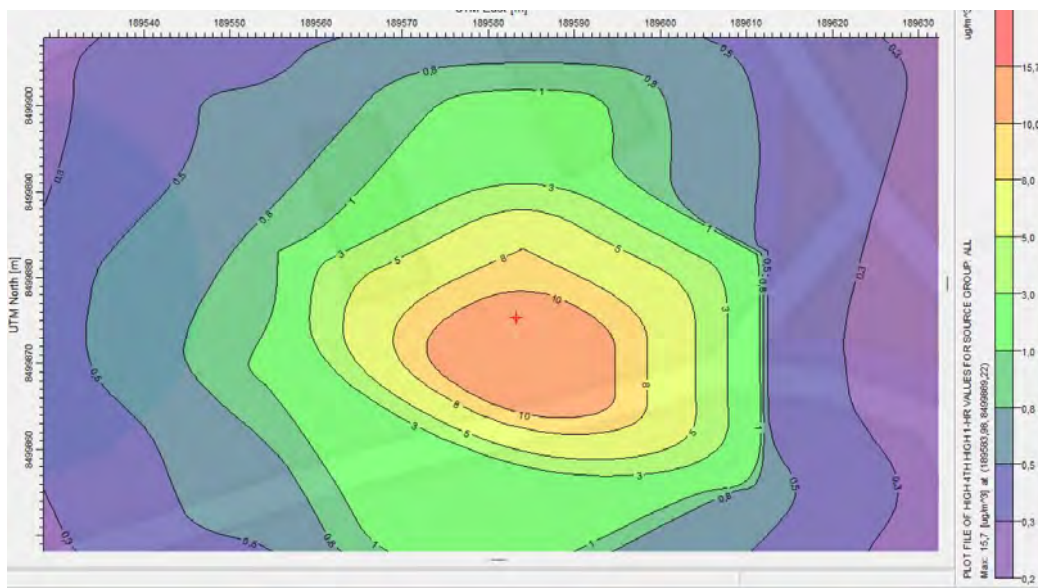
Figura 54. El promedio anual de concentraciones máximas de SO_2 muestra un valor máximo aproximado de $5,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La figura evidencia un núcleo central bien definido con contornos que decrecen progresivamente hacia los bordes, lo que representa una distribución homogénea del contaminante a lo largo del año. Este patrón indica una emisión continua pero bien dispersada, sin picos extremos, reflejando condiciones de ventilación atmosférica adecuadas y un impacto ambiental controlado en el entorno inmediato.

Figura 50: Isoconcentraciones 24 horas del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



La Figura muestra las concentraciones promedio de SO₂ en 24 horas presentan un valor máximo de 2,61 µg/m³, con una distribución casi circular alrededor del punto de emisión. Los niveles disminuyen de manera uniforme hacia los bordes, señalando una dispersión relativamente eficiente del contaminante a lo largo del día. Este comportamiento es típico de condiciones meteorológicas estables con ligeras variaciones térmicas que favorecen la difusión vertical y horizontal del SO₂.

Figura 51: Isoconcentraciones horarias cada 6 horas máximas del SO₂ (µg/m³)



Nota: Elaboración propia

En los intervalos de 6 horas, el valor máximo alcanza aproximadamente 15,7 µg/m³, mostrando una mayor intensidad en el centro del dominio. Las isoconcentraciones se extienden con gradientes pronunciados, lo que indica episodios de mayor emisión o menor dispersión en cortos períodos de tiempo. Este patrón sugiere la influencia de factores meteorológicos transitorios como variaciones de viento o inversión térmica temporal.

Figura 52: Isoconcentraciones horarias cada 12 horas máximas del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

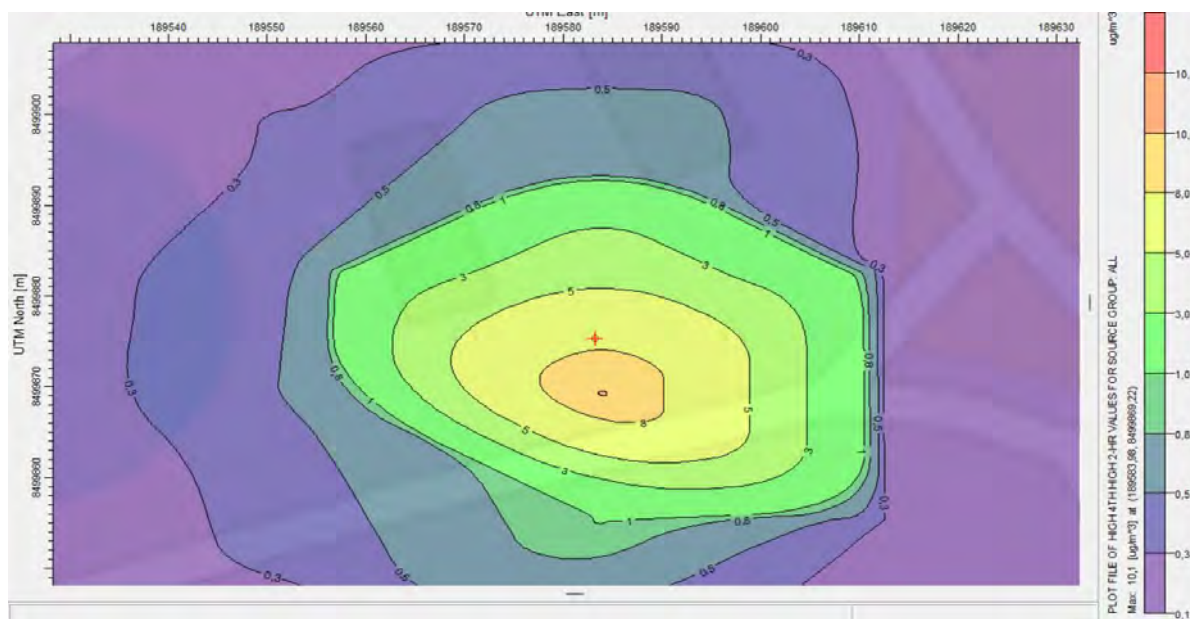
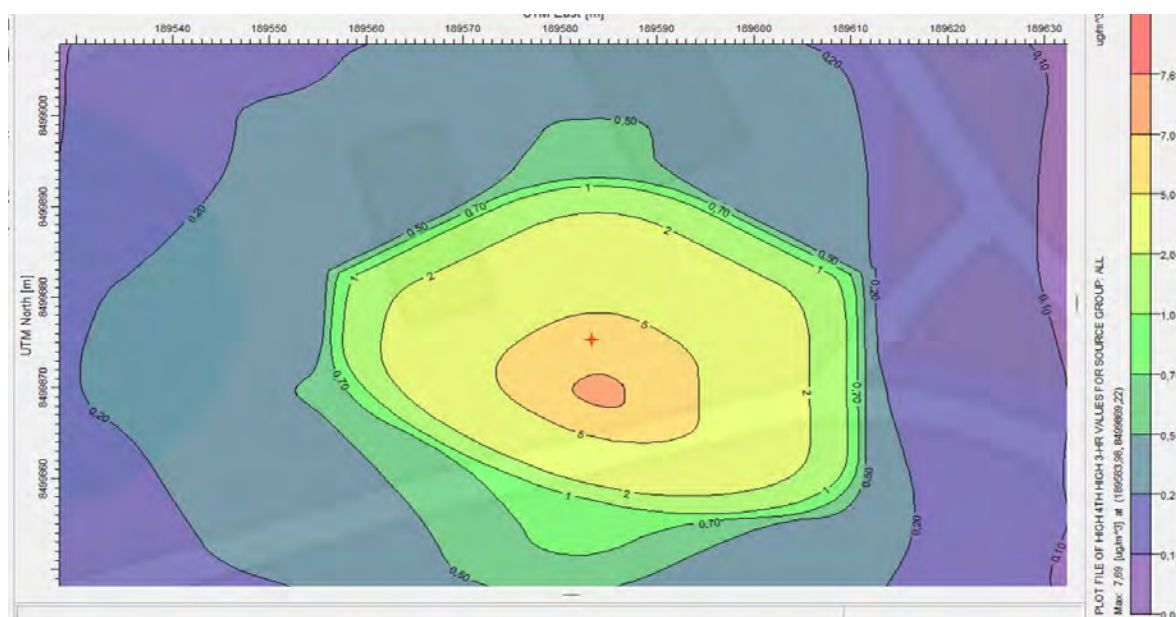


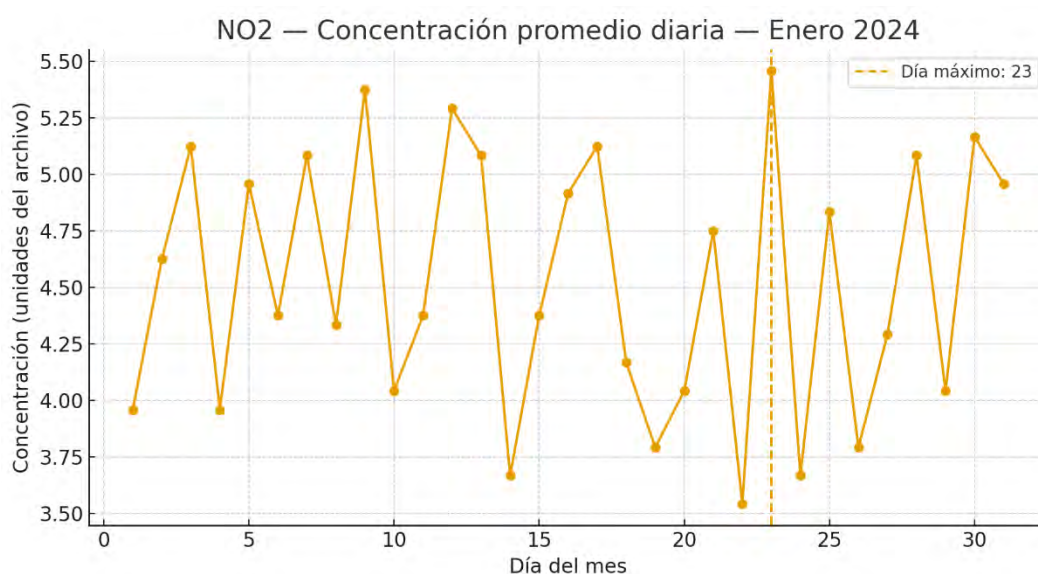
Figura. Muestra en el periodo de 12 horas, las concentraciones máximas rondan los 10,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando una estructura simétrica con una zona central de acumulación más compacta. Las líneas de igual concentración son más cerradas en comparación con las de 24 horas, lo que sugiere un régimen de dispersión más limitado y posiblemente una acumulación nocturna del contaminante, cuando la estabilidad atmosférica es mayor y los vientos tienden a ser débiles.

Figura 53: Isoconcentraciones horarias cada 18 horas máximas del SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



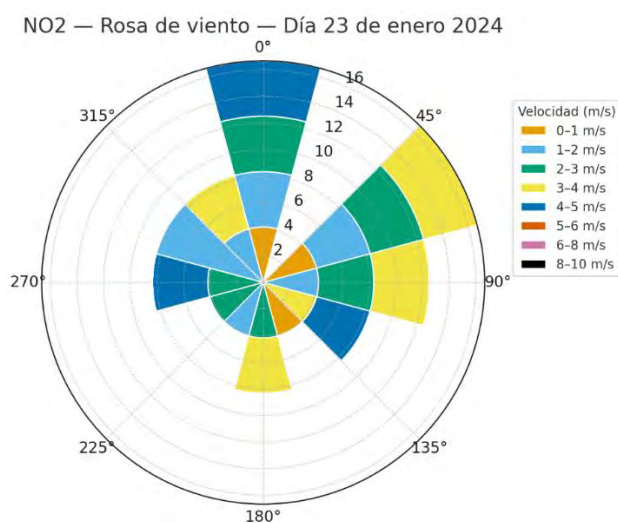
En el análisis de 18 horas, el valor máximo es de $7,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un patrón de dispersión moderado. Las concentraciones se distribuyen de forma elíptica hacia el noroeste, lo que puede deberse a una dirección predominante del viento en ese intervalo. El núcleo central mantiene un nivel moderado de concentración, reflejando condiciones de ventilación intermedias y una leve acumulación durante el periodo de observación.

4.1.2 Dispersión de dióxido de nitrógeno (NO_2) en el aire.



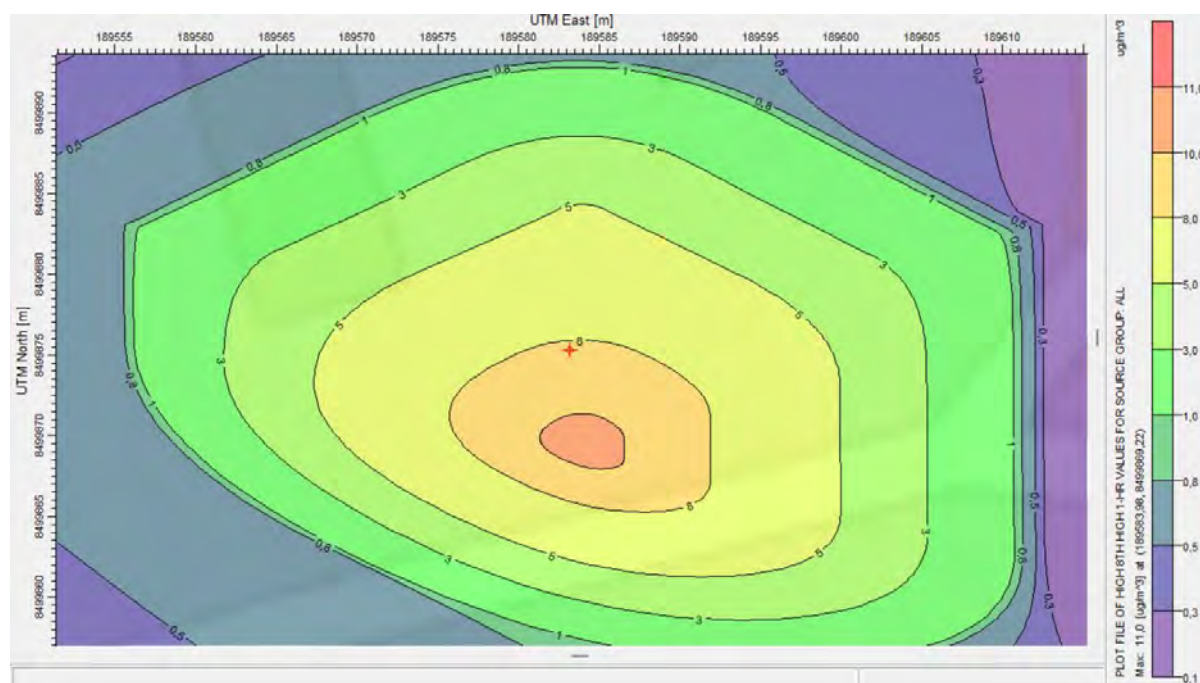
Durante enero se observa un comportamiento variable en las concentraciones diarias de NO_2 , con picos frecuentes y amplitud significativa. Los valores se mantienen entre 3.8 y 5.5 unidades, alcanzando el máximo el día 23. Este patrón sugiere un mes con episodios de acumulación de contaminantes posiblemente ligados a condiciones de estabilidad atmosférica y baja dispersión. La presencia de varios picos intermedios indica aportes intermitentes de fuentes móviles o industriales.

Figura 54: NO_2 — Rosa de viento — Día 23 de enero 2024



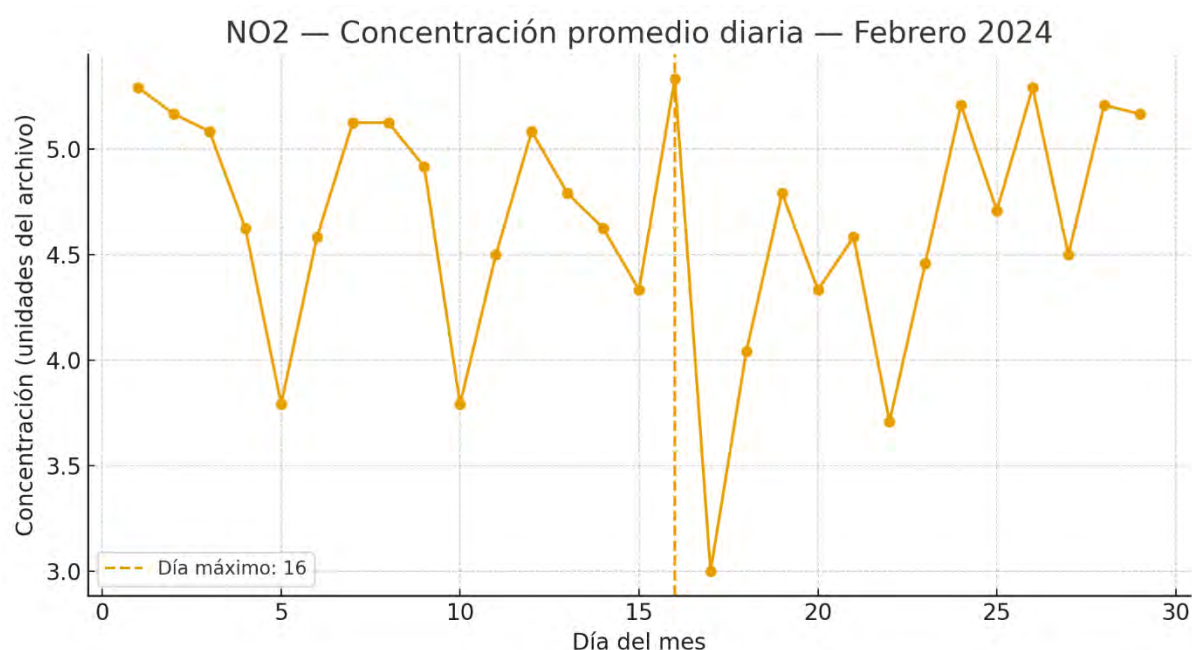
En el día de máxima concentración, los vientos predominan desde el **este (E)** y **noreste (NE)** con velocidades en el rango de **2 a 5 m/s**, destacando frecuencias superiores al 15 %. Esto sugiere que el transporte de masas de aire desde sectores orientales pudo contribuir a la acumulación observada. La presencia de intervalos de baja velocidad (1–2 m/s) refuerza la idea de ventilación limitada y dispersión deficiente durante ese episodio.

Figura 55: Isoconcentración del mes de enero de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



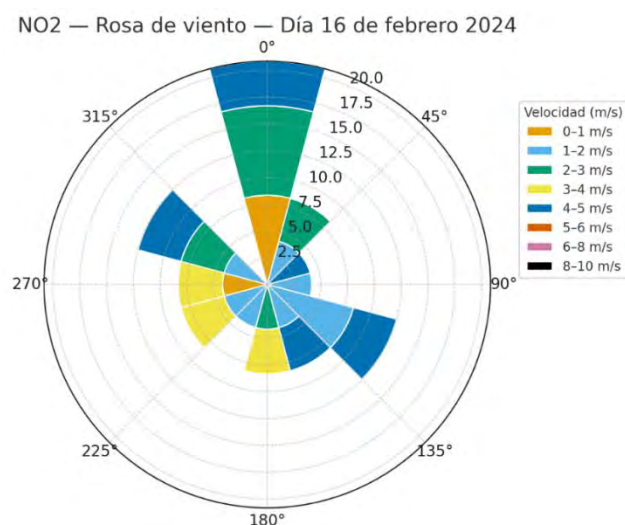
Durante enero, la concentración máxima de NO_2 alcanza aproximadamente $0.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las isolíneas presentan un patrón concéntrico cerrado con gradientes suaves, centrados sobre el punto de emisión principal. Este comportamiento refleja condiciones atmosféricas estables y buena ventilación, sin acumulación significativa del contaminante. La dispersión es eficiente, favorecida por velocidades de viento moderadas y estabilidad térmica media.

Figura 56: NO_2 — Concentración promedio diaria — Febrero 2024



En febrero las concentraciones muestran menor amplitud, aunque con un pico relevante el día 16, que alcanza alrededor de 5.1 unidades. La tendencia mensual revela alternancia entre periodos de reducción y repuntes bruscos, posiblemente por variaciones meteorológicas cortas. Los valores mínimos caen a 3.2 unidades, reflejando una dispersión más efectiva en días aislados.

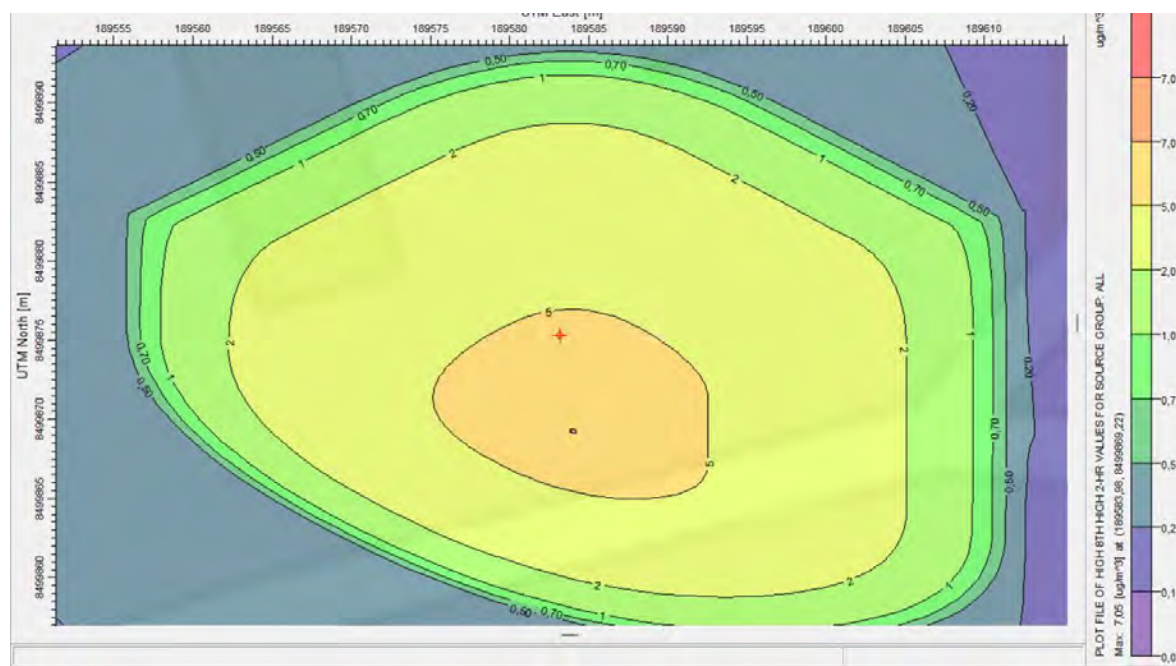
Figura 57: NO_2 — Rosa de viento — Día 16 de febrero 2024



El comportamiento del viento en el día de máxima concentración muestra dominancia de direcciones norte (N) y este (E), con velocidades entre 2 y 4 m/s, aunque con presencia de sectores de baja velocidad (<2 m/s). Esto apunta a una dispersión parcial y episodios de estancamiento, que explican el repunte observado. Los sectores noroeste presentan menor frecuencia de flujo, indicando escasa renovación de masa de aire.

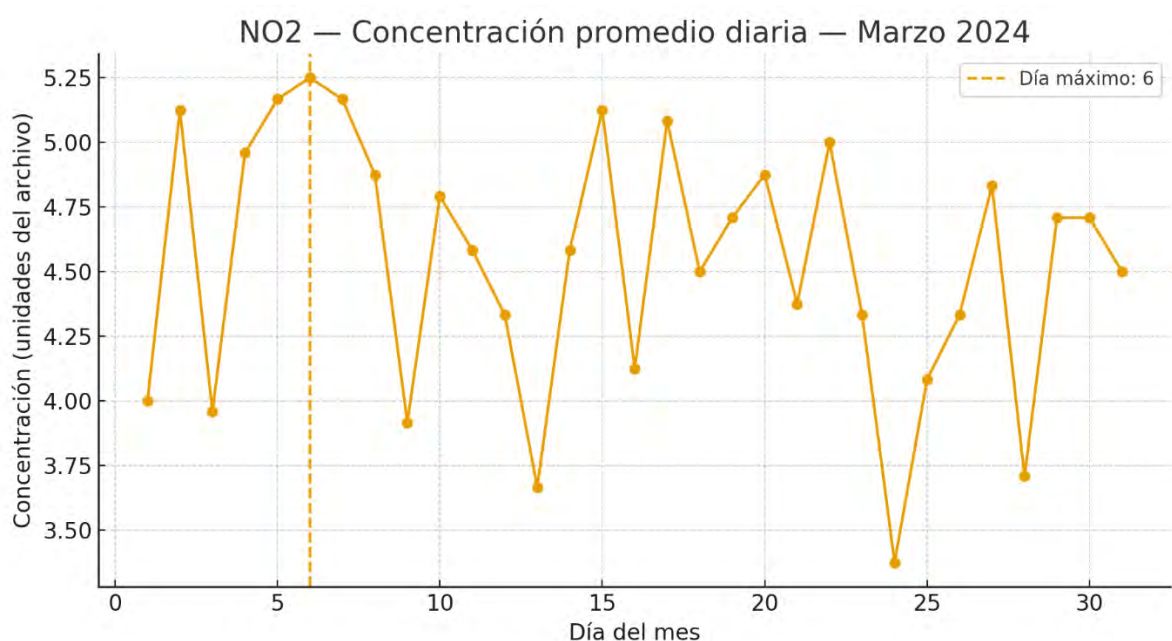
Figura 58: Isoconcentraciones del mes de febrero de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 – 2024



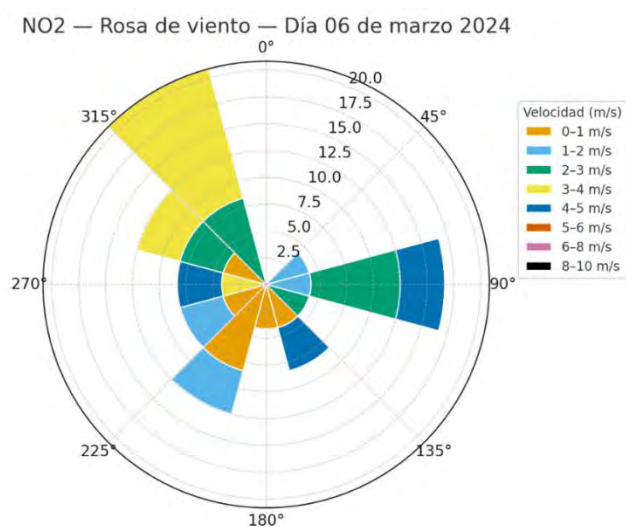
En febrero, la concentración máxima aumenta a $0.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando una mayor intensidad en el núcleo de dispersión. El mapa exhibe isoconcentraciones circulares bien definidas, indicando una pluma de emisión concentrada pero estable. Este incremento respecto a enero puede deberse a menor ventilación atmosférica o mayor frecuencia de estabilidad térmica nocturna, que retarda la difusión del gas.

Figura 59: NO_2 — Concentración promedio diaria — Marzo 2024



Durante marzo se mantiene una tendencia más estable, con oscilaciones moderadas y una concentración máxima de 5.2 unidades el día 6. El resto del mes presenta variaciones entre 3.5 y 4.8 unidades, indicando condiciones más ventiladas. La menor frecuencia de picos altos sugiere una mejora temporal en la dispersión atmosférica.

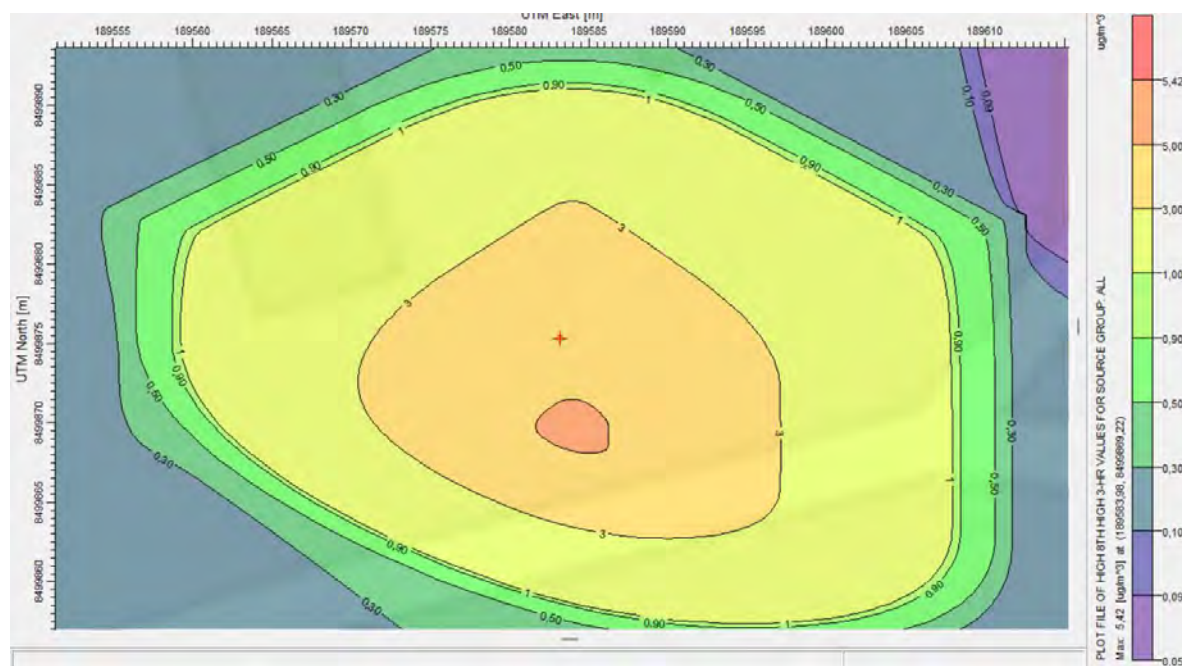
Figura 60: NO_2 — Rosa de viento — Día 6 de marzo 2024



La rosa de viento evidencia un flujo predominante desde el sureste (SE) y noroeste (NW) con intensidades de 3–4 m/s, y una presencia relevante de velocidades medias (4–5 m/s). Esto representa una ventilación activa, aunque coexistiendo con direcciones alternas que podrían concentrar contaminantes localmente. La frecuencia alta hacia 270° y 315° muestra cierta rotación del viento, lo cual puede haber modulado la concentración máxima.

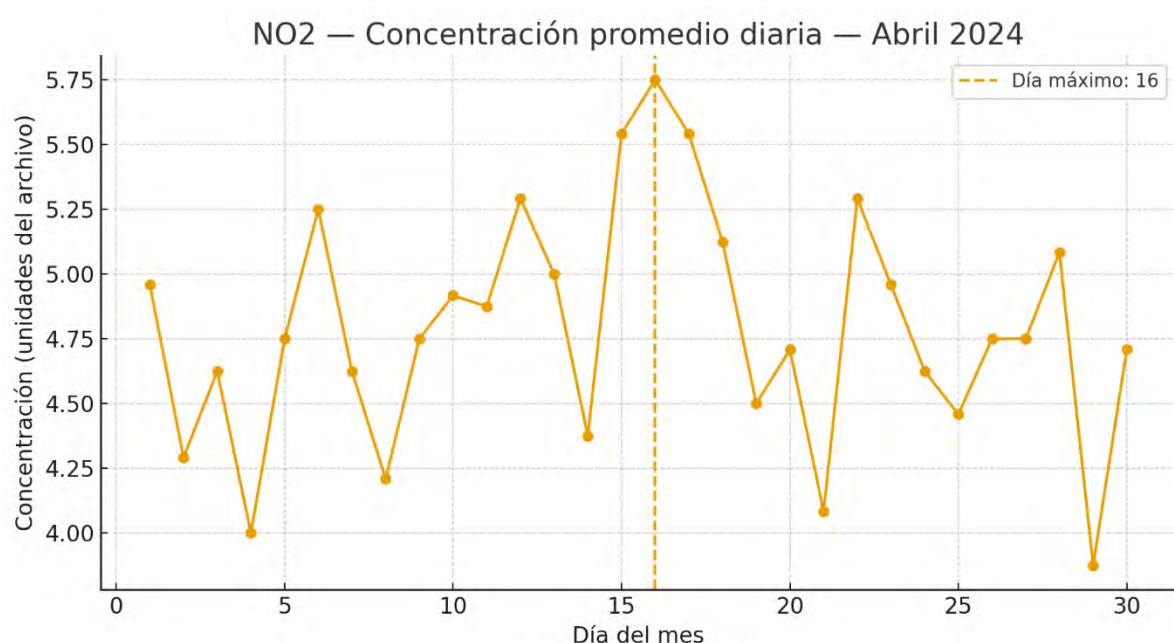
Figura 61: Isoconcentraciones del mes de marzo de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 – 2024



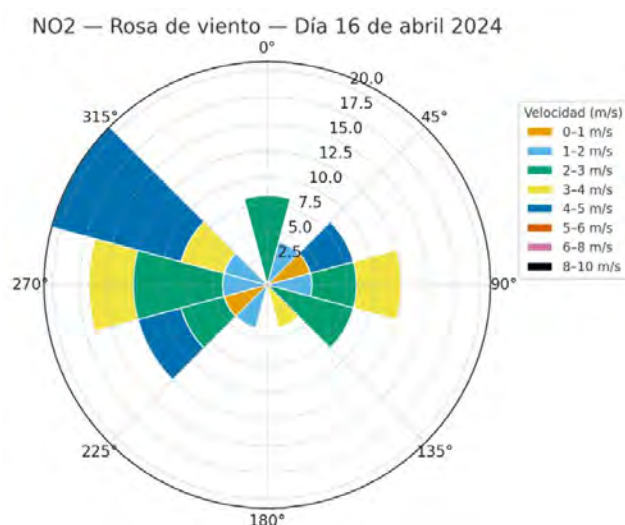
Durante marzo, la concentración máxima es de $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando una ligera reducción respecto al mes anterior. El patrón de dispersión conserva la simetría y forma circular, con un descenso regular hacia los bordes del dominio. Esto sugiere condiciones atmosféricas más dinámicas y una mejora en la ventilación del área, que contribuye a una reducción progresiva de los niveles de NO_2 .

Figura 62: NO_2 — Concentración promedio diaria — abril 2024



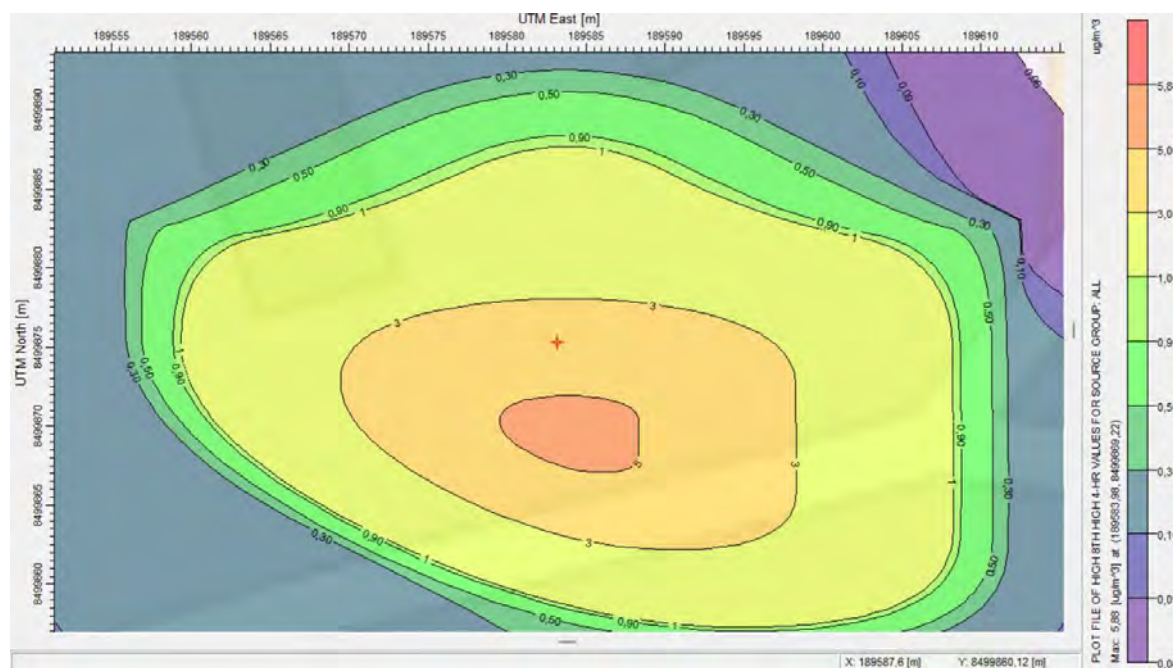
En abril, las concentraciones muestran una leve alza general respecto a marzo, con un máximo el día 16 que alcanza 5.7 unidades, el valor más alto del primer cuatrimestre. La variabilidad diaria es más pronunciada, lo que sugiere condiciones de estabilidad atmosférica alternadas con breves eventos de dispersión. Las concentraciones mínimas rondan las 4.0 unidades.

Figura 63: NO_2 — Rosa de viento — Día 16 de abril 2024



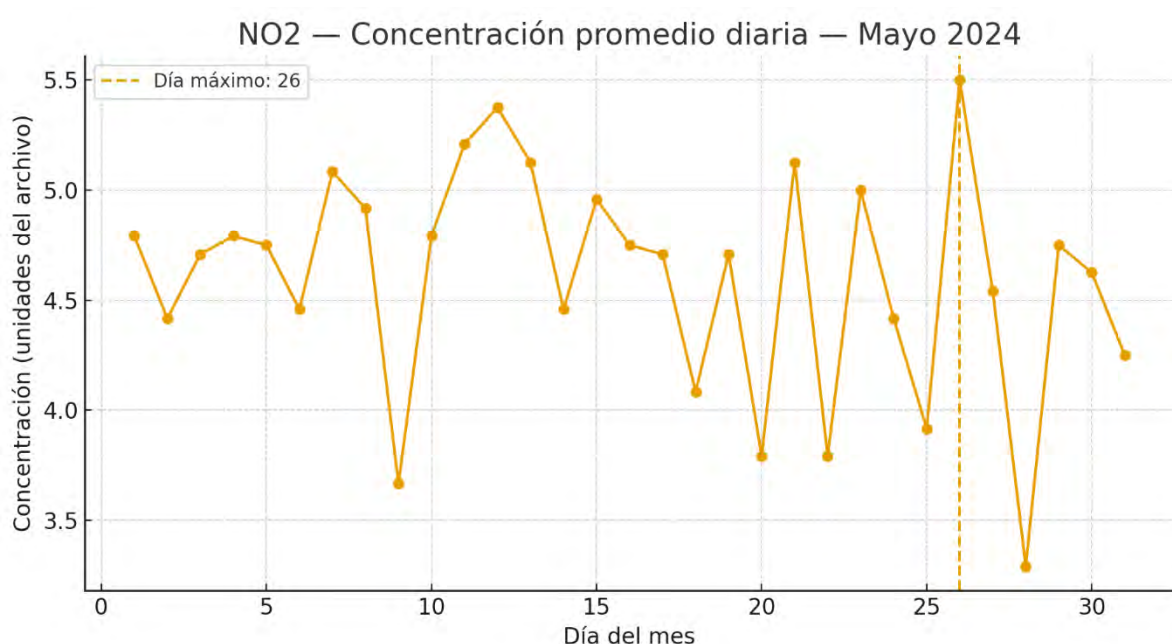
Durante el evento de máxima concentración, los vientos predominan del oeste (W) y noroeste (NW), con intensidades de 3–5 m/s. El patrón radial muestra una dispersión moderada pero no completamente homogénea, lo cual favorece la acumulación parcial del contaminante. La alta frecuencia en el cuadrante occidental indica influencia de fuentes ubicadas en esa dirección o transporte desde zonas industriales hacia el este.

Figura 64: Isoconcentraciones del mes de abril de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



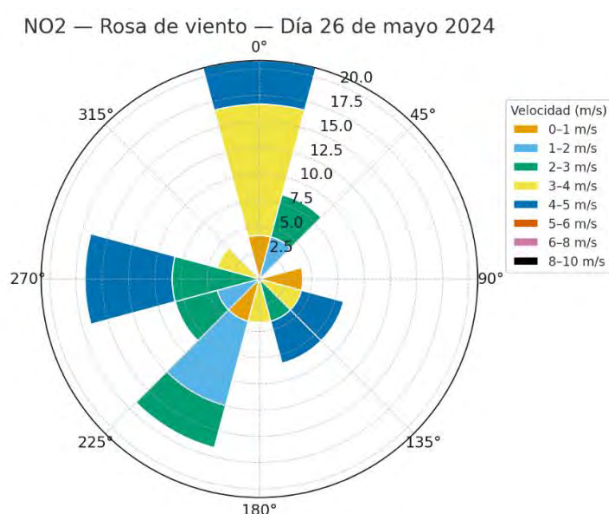
En abril, el valor máximo alcanza $1.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el más alto del primer cuatrimestre. Las isolíneas se tornan ligeramente irregulares, lo que sugiere influencias topográficas y cambios en la dirección del viento. El núcleo de mayor concentración se mantiene compacto, aunque desplazado sutilmente hacia el noreste, indicando posibles variaciones de dirección predominante del viento.

Figura 65: NO_2 — Concentración promedio diaria — mayo 2024



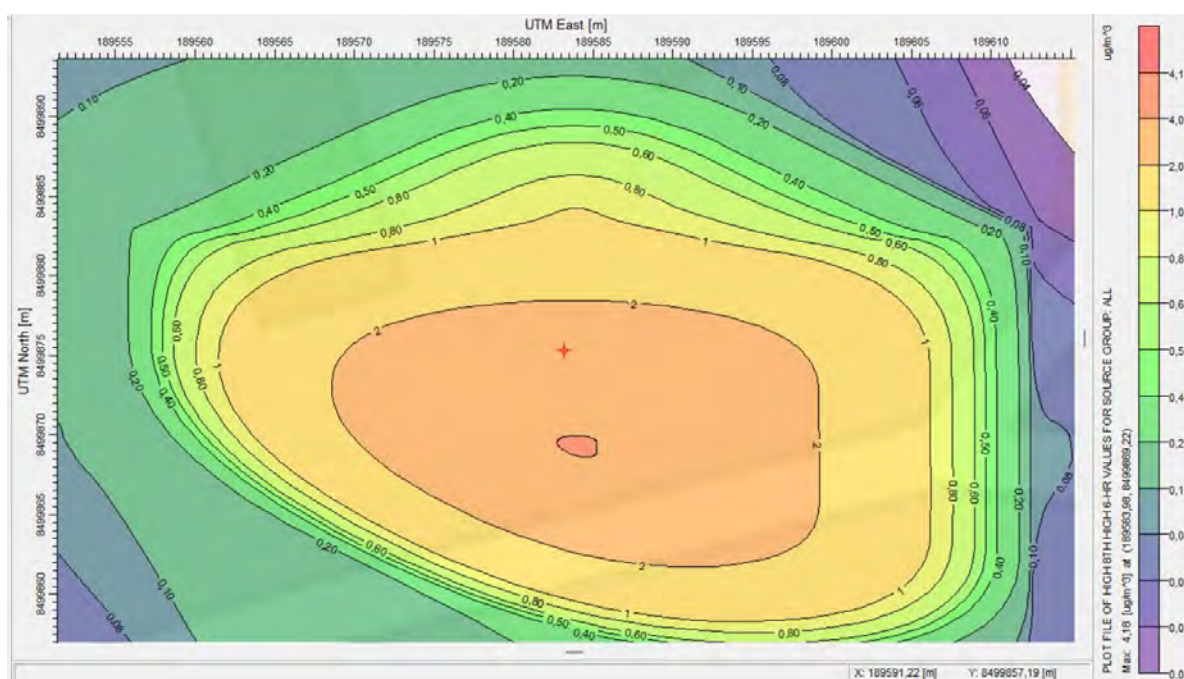
En mayo, las concentraciones se mantienen entre 3.5 y 5.5 unidades, con el máximo registrado el día 26. Este mes presenta menor frecuencia de picos extremos y un comportamiento oscilante, señal de condiciones atmosféricas variables. El aumento del promedio hacia el final del mes podría estar asociado a mayor radiación solar y temperaturas más elevadas que modifican la dinámica fotoquímica del NO_2 .

Figura 66: NO_2 — Rosa de viento — Día 26 de mayo 2024



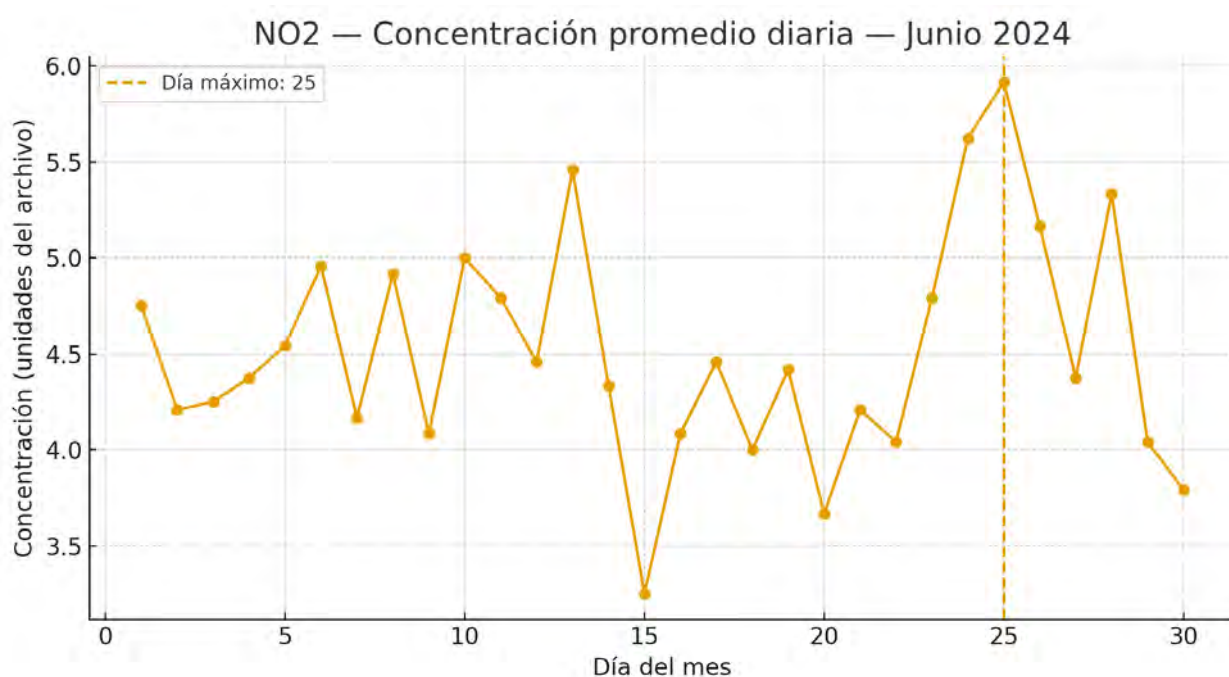
La rosa de viento muestra una distribución balanceada, con predominancia de direcciones sur (S) y sudoeste (SW). Las velocidades predominantes son de 3 a 4 m/s, lo que implica una ventilación moderada. Sin embargo, la presencia de intervalos de baja velocidad (1–2 m/s) contribuye a la formación de microacumulaciones temporales de contaminantes. La mezcla de flujos indica que el evento de máxima concentración se dio bajo condiciones de rotación e intermitencia del viento.

Figura 67: Isoconcentraciones del mes de mayo de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



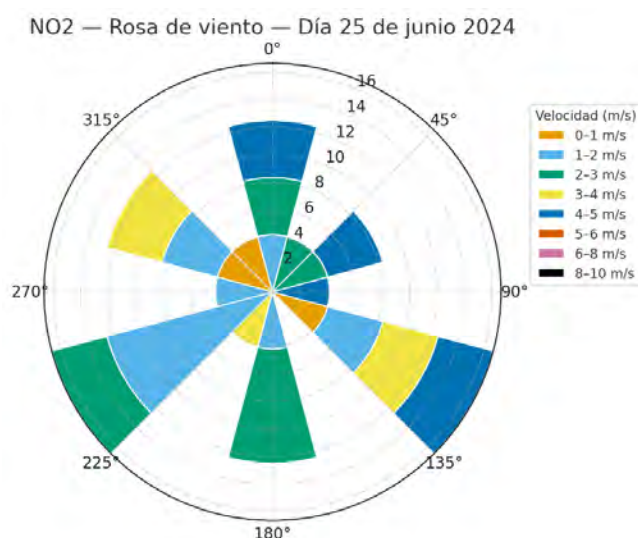
Durante mayo, se observa una disminución en la concentración máxima a $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando una recuperación en la capacidad de dispersión. El mapa evidencia una configuración simétrica y estable, sin zonas de acumulación. Este descenso puede relacionarse con incrementos en la velocidad del viento y condiciones de mezcla más favorables en la capa límite atmosférica.

Figura 68: NO_2 — Concentración promedio diaria — Junio 2024



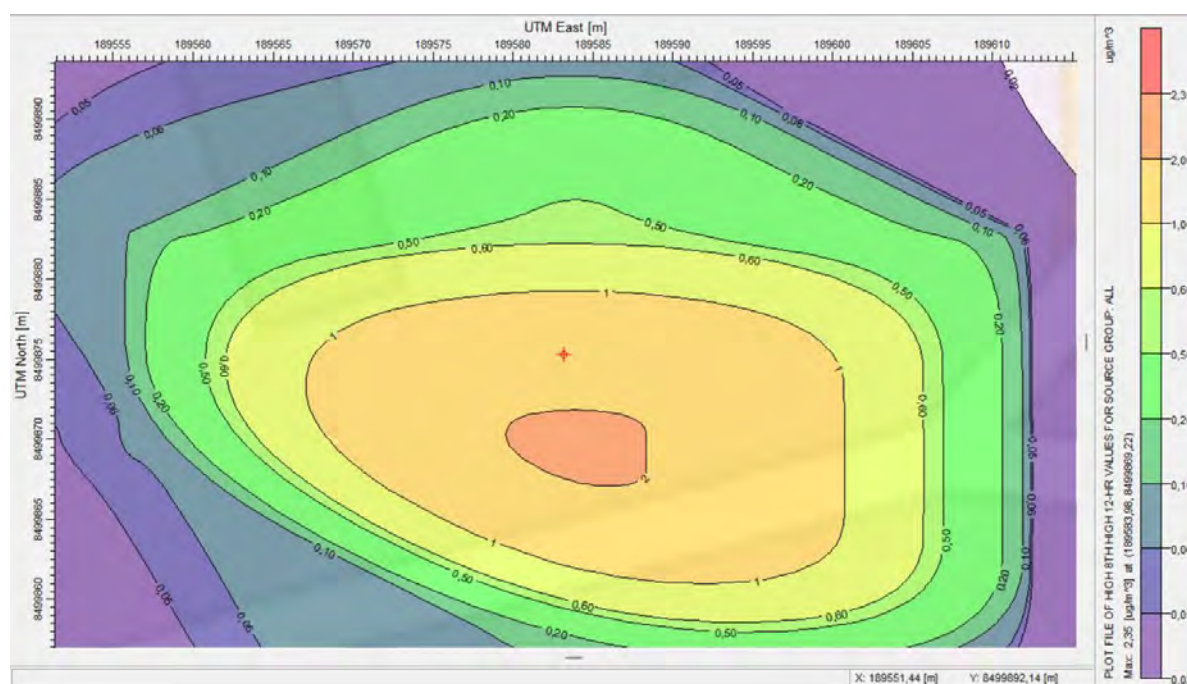
Durante junio, las concentraciones muestran un comportamiento estable durante la primera mitad del mes, con valores promedio entre 4.0 y 5.5 unidades, y un máximo de 5.9 unidades el día 25. El incremento hacia finales del mes coincide con una posible reducción en la dispersión atmosférica. Se observan descensos abruptos (por ejemplo, alrededor del día 15), que podrían estar asociados a lluvias o a una intensificación temporal del viento. En general, el mes mantiene un nivel medio de contaminación moderado, sin eventos extremos sostenidos.

Figura 69: NO_2 — Rosa de viento — Día 25 de junio 2024



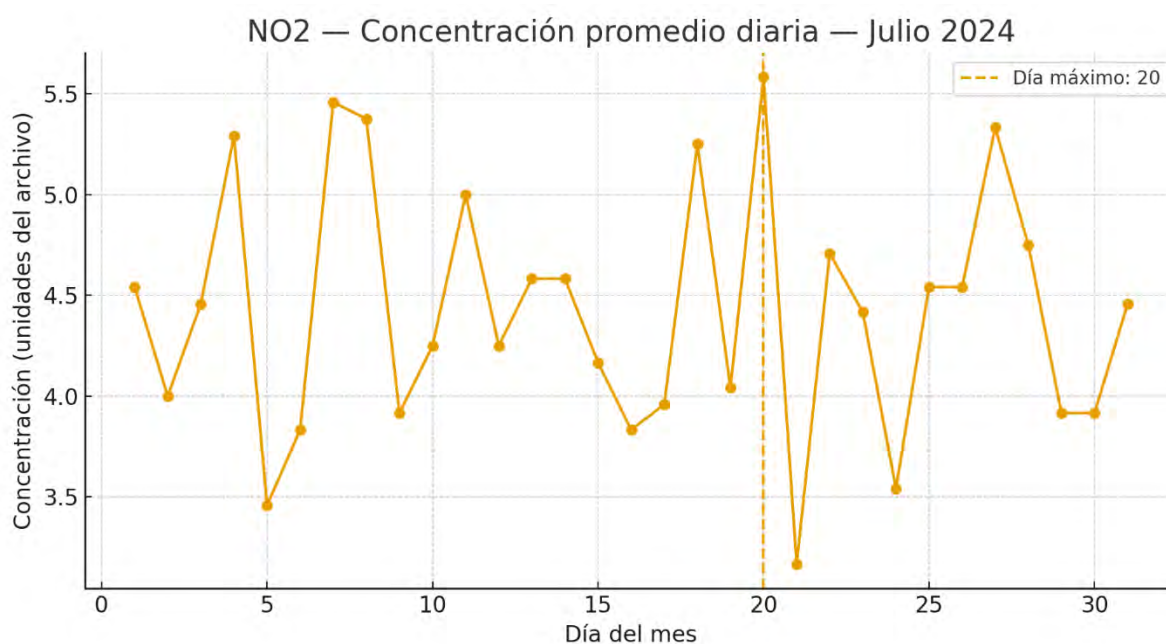
La rosa de viento del día 25 muestra predominancia de flujos desde el sur (S) y suroeste (SW), con velocidades de 2 a 4 m/s y picos de frecuencia cercanos al 15 %. La distribución direccional es amplia y equilibrada, indicando buena mezcla atmosférica. No obstante, la presencia de sectores con velocidades bajas (0–2 m/s) sugiere lapsos de estancamiento que pudieron favorecer la acumulación temporal del NO_2 , explicando el máximo observado.

Figura 70: Isoconcentraciones del mes de junio de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



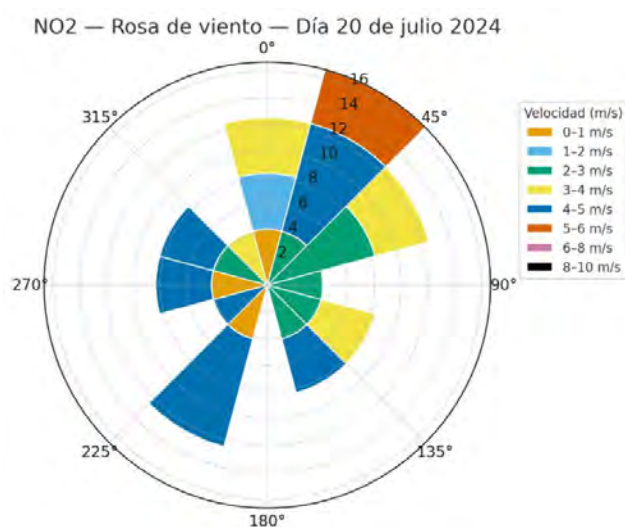
En junio, la concentración máxima registrada es de $0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la más baja del primer semestre. Las isolíneas presentan una distribución amplia y concéntrica, lo que evidencia una dispersión eficiente del contaminante. Este comportamiento coincide con un aumento de la ventilación y turbulencia atmosférica, típicos de la temporada, que facilitan la dilución del NO_2 .

Figura 71: NO_2 — Concentración promedio diaria — Julio 2024



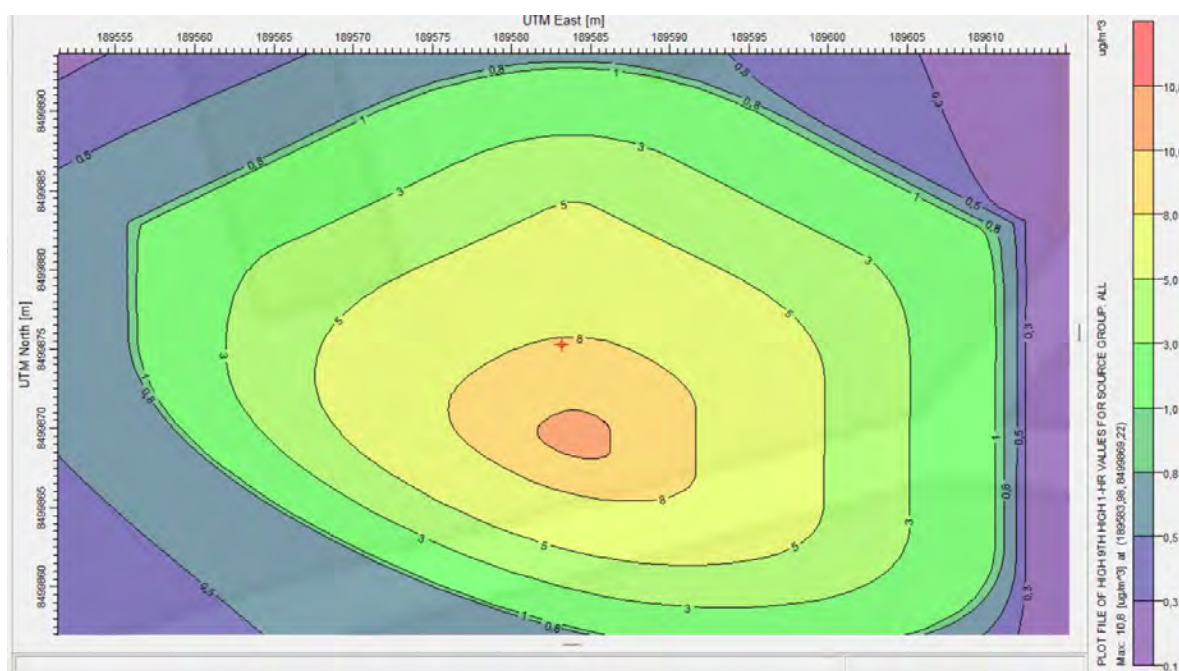
En julio, las concentraciones se mantienen entre 3.5 y 5.6 unidades, con un máximo destacado el día 20. El patrón muestra alta variabilidad diaria, evidenciando alternancia entre condiciones de ventilación efectiva y estancamientos breves. La segunda mitad del mes refleja un comportamiento más homogéneo, posiblemente asociado a una atmósfera más dinámica y mayor radiación solar, que promueven reacciones fotoquímicas y dispersión del contaminante.

Figura 72: NO_2 — Rosa de viento — Día 20 de julio 2024



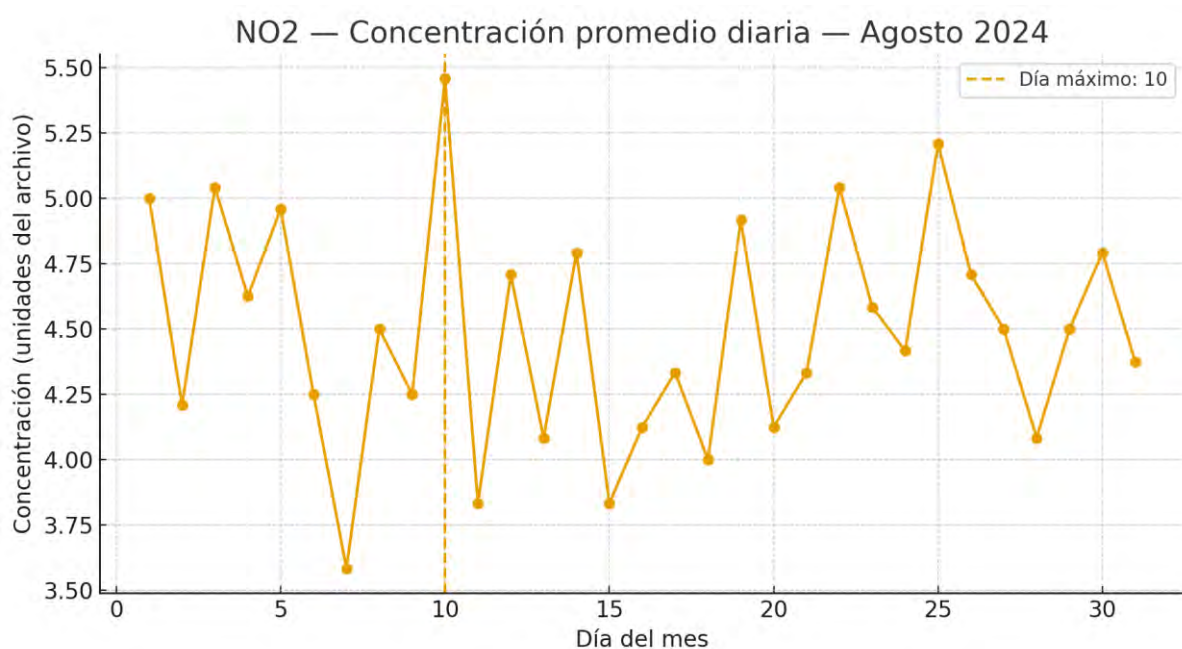
La distribución del viento indica flujos dominantes desde el noreste (NE) y este (E), con intensidades de 3 a 5 m/s y una contribución notoria de velocidades de 5–6 m/s. Esta dirección sugiere transporte de masas de aire potencialmente cargadas de emisiones hacia el suroeste. Aunque la ventilación es moderada, los sectores de baja velocidad en el cuadrante occidental podrían haber permitido la acumulación momentánea que generó el pico del día 20.

Figura 73: Isoconcentraciones del mes de julio de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



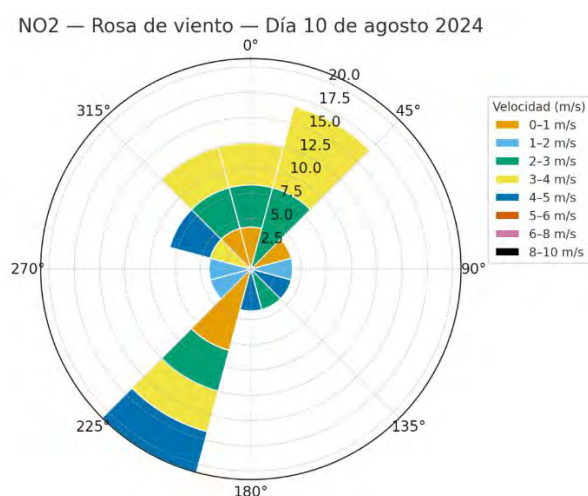
Durante julio, las concentraciones alcanzan un máximo de $0.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reflejando un ligero incremento respecto a junio. El patrón mantiene isoconcentraciones concéntricas regulares, con un centro bien definido. La mayor estabilidad atmosférica en horas nocturnas puede explicar los valores más elevados, aunque la dispersión general sigue siendo favorable.

Figura 74: NO_2 — Concentración promedio diaria — agosto 2024



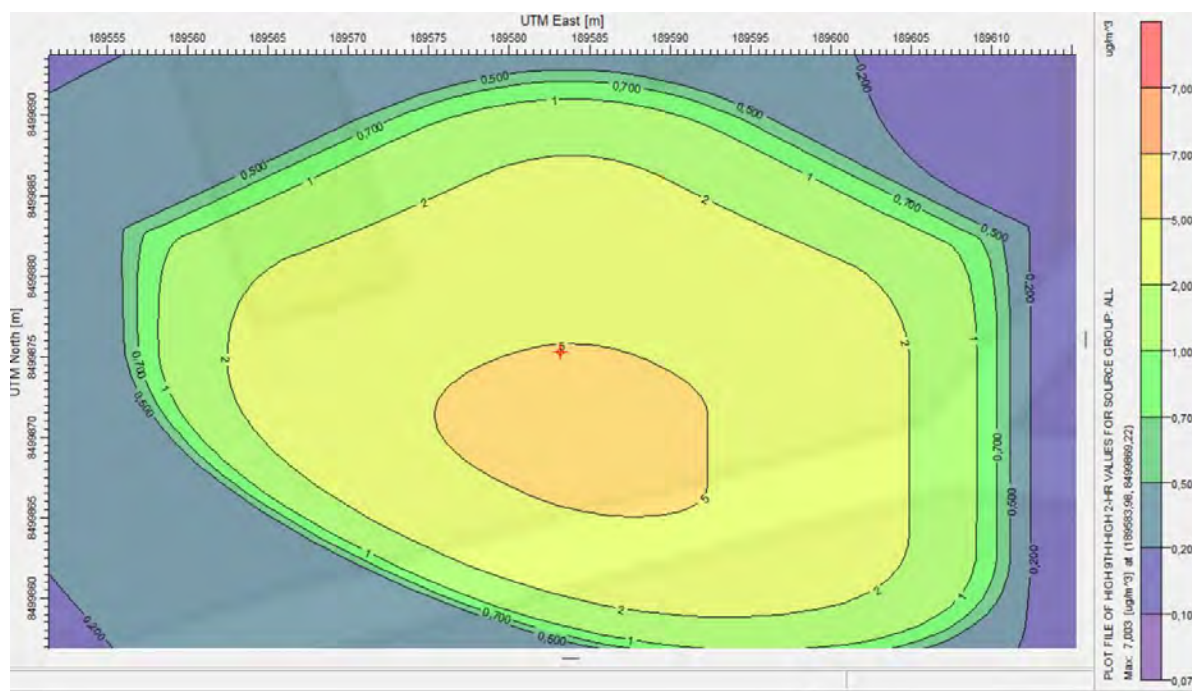
El mes de agosto presenta un perfil irregular, con valores comprendidos entre 3.6 y 5.5 unidades y un máximo el día 10. Los picos son aislados, con tendencia a una dispersión eficiente en los días posteriores. La oscilación de las concentraciones refleja la influencia de la variabilidad meteorológica típica de la estación seca, donde episodios de estabilidad atmosférica alternan con periodos de viento moderado.

Figura 75: NO_2 — Rosa de viento — Día 10 de agosto 2024



El viento predominante proviene del sureste (SE) y sur (S), con velocidades entre 2 y 4 m/s, y una notable frecuencia de flujos del noroeste (NW) en torno a 3 m/s. La rosa evidencia una dispersión moderada, con presencia de sectores de baja velocidad que explican la acumulación observada el día 10. En general, la estructura indica condiciones mixtas de ventilación, donde los flujos más intensos ayudaron a reducir las concentraciones posteriormente.

Figura 76: Isoconcentraciones del mes de agosto de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



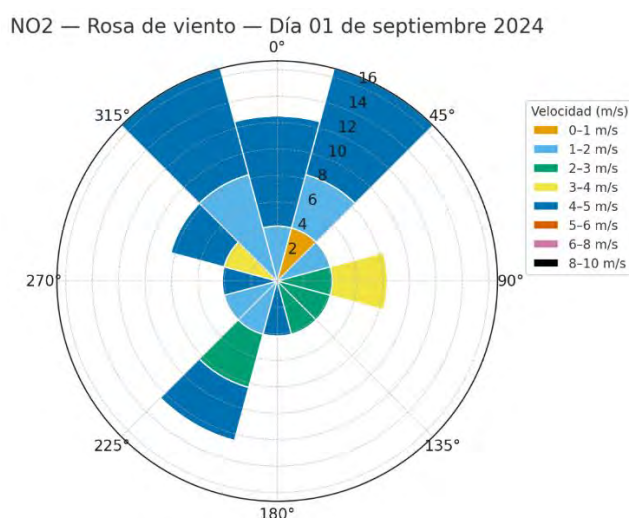
En agosto, la concentración máxima de $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indica una reducción en comparación con el mes previo. Las isolíneas presentan una distribución homogénea y circular, sin presencia de acumulación relevante. Este comportamiento sugiere condiciones de mezcla atmosférica activas, que favorecen la dilución del NO_2 en el entorno inmediato.

Figura 77: NO_2 — Concentración promedio diaria — Septiembre 2024



En septiembre se observa un patrón particular: un pico muy alto el día 1 con concentración aproximada de 6.4 unidades, seguido de una rápida disminución. El resto del mes presenta valores más estables, entre 4.0 y 5.5 unidades. Este evento inicial podría deberse a condiciones de calma atmosférica o acumulación nocturna de contaminantes antes del amanecer, típica en periodos de inversión térmica.

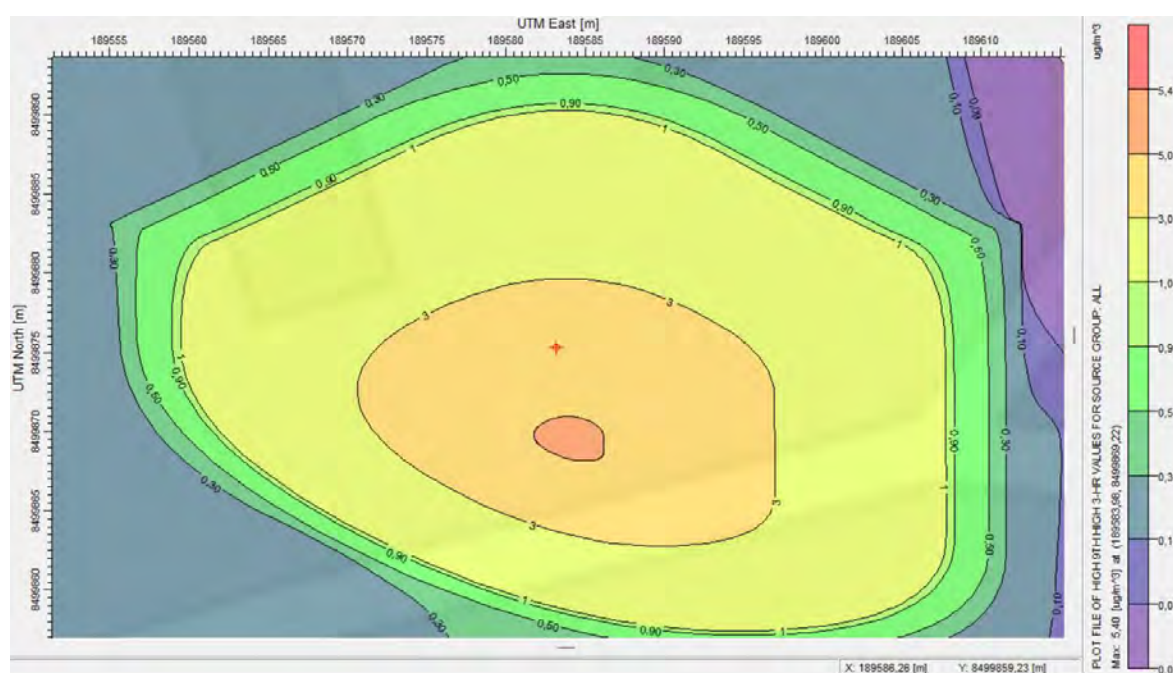
Figura 78: NO_2 — Rosa de viento — Día 1 de septiembre 2024



El viento durante el episodio de máxima concentración muestra predominio de direcciones norte (N) y oeste (W) con velocidades moderadas de 3 a 5 m/s, y sectores localizados de 1–2 m/s que sugieren estancamiento puntual. Este patrón indica que el evento alto de NO_2 ocurrió bajo condiciones de baja ventilación matinal, seguido por un incremento posterior del flujo que favoreció la limpieza del aire.

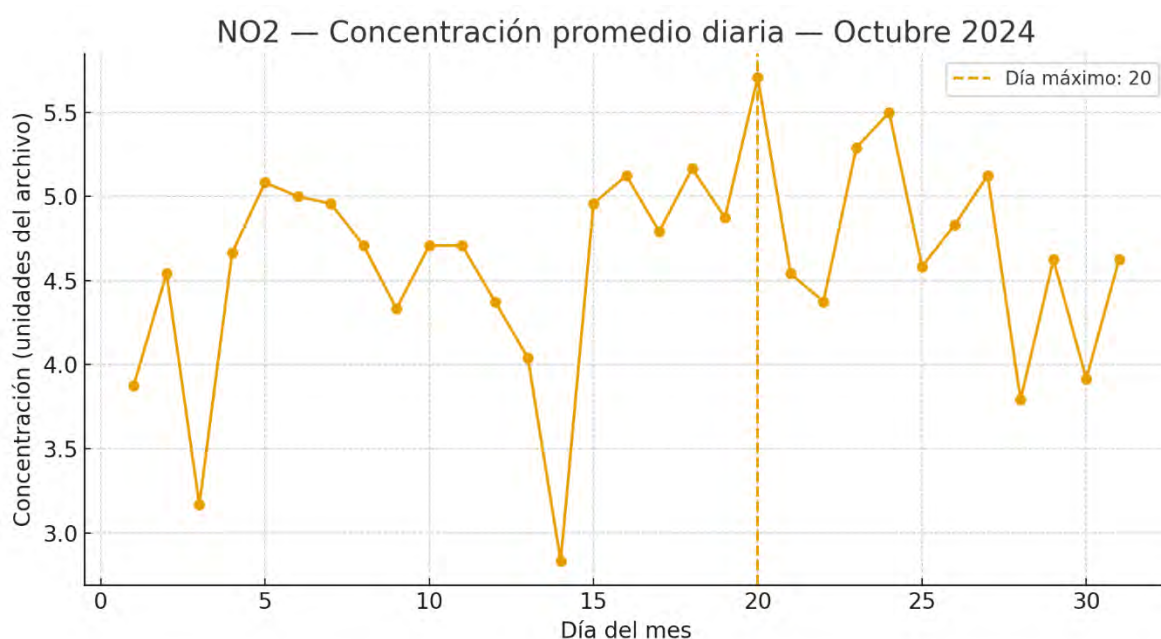
Figura 79: Isoconcentraciones del mes de setiembre de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 – 2024



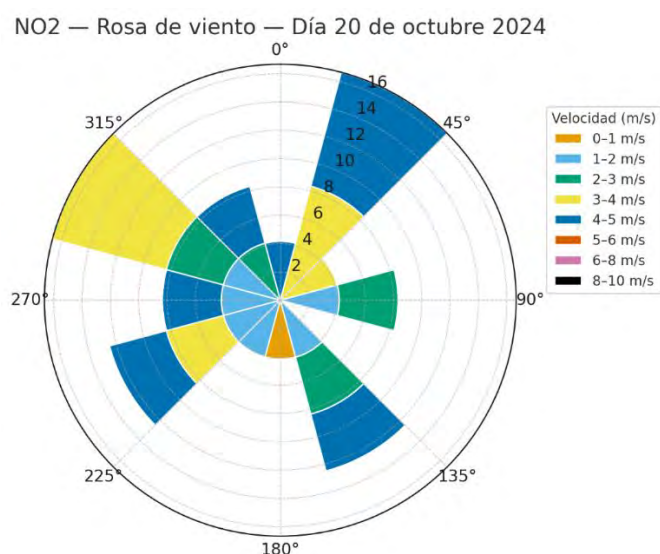
Durante setiembre, la máxima concentración se reduce a $0.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La forma de las isolíneas es elíptica y ligeramente inclinada hacia el noreste, lo que denota una influencia direccional del viento. A pesar del desplazamiento de la pluma, las concentraciones se mantienen bajas y dentro de los rangos normativos, confirmando una dispersión estable.

Figura 80: NO_2 — Concentración promedio diaria — Octubre 2024



Octubre muestra concentraciones moderadas con un rango de 3.0 a 5.7 unidades, alcanzando su máximo el día 20. La curva presenta oscilaciones más suaves que los meses anteriores, reflejando condiciones atmosféricas más estables. Los niveles medios permanecen algo superiores a los de setiembre, lo que podría relacionarse con menor precipitación y un incremento en las emisiones locales.

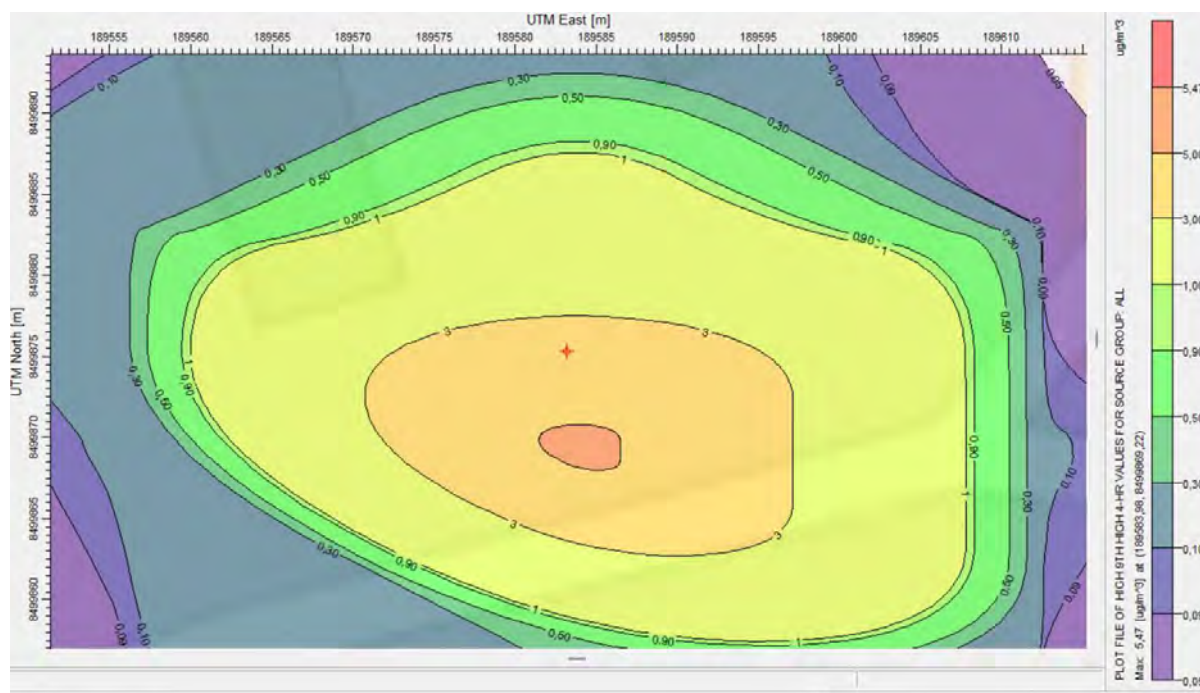
Figura 81: NO_2 — Rosa de viento — Día 20 de octubre 2024



En este día, los vientos predominan desde el noreste (NE) y noroeste (NW), con intensidades de 3–5 m/s, mostrando una rosa simétrica y bien distribuida. La dispersión es aceptable, aunque se observan zonas de baja velocidad (1–2 m/s) que pueden explicar el incremento puntual de concentración. El patrón direccional sugiere aporte de fuentes locales combinadas con transporte regional desde el norte.

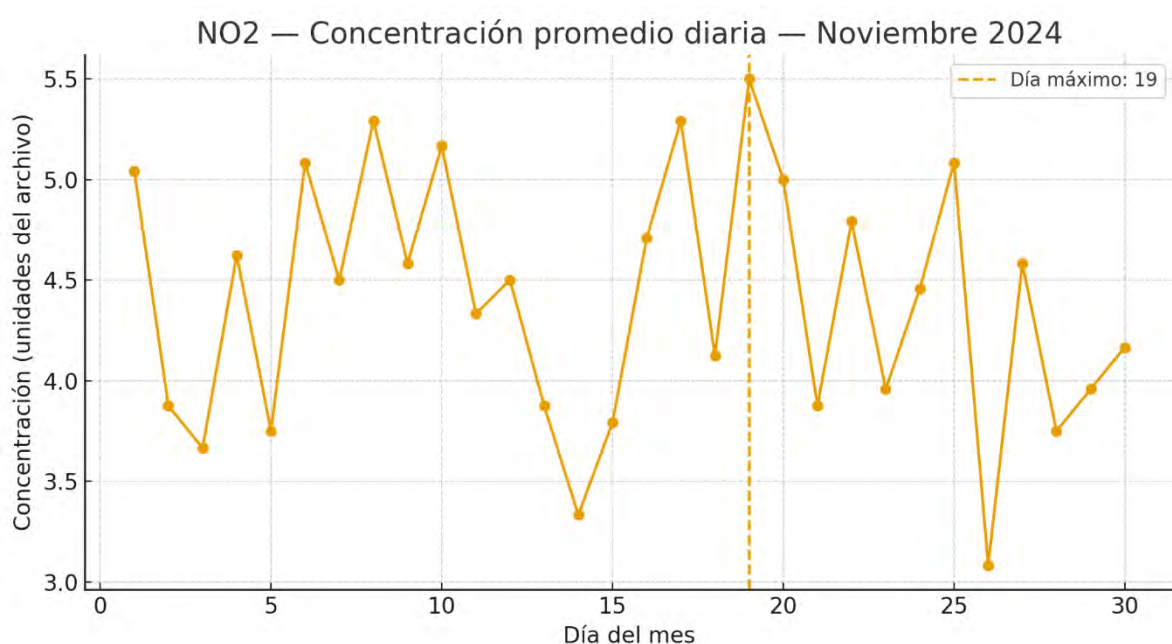
Figura 82: Isoconcentraciones del mes de octubre de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 – 2024



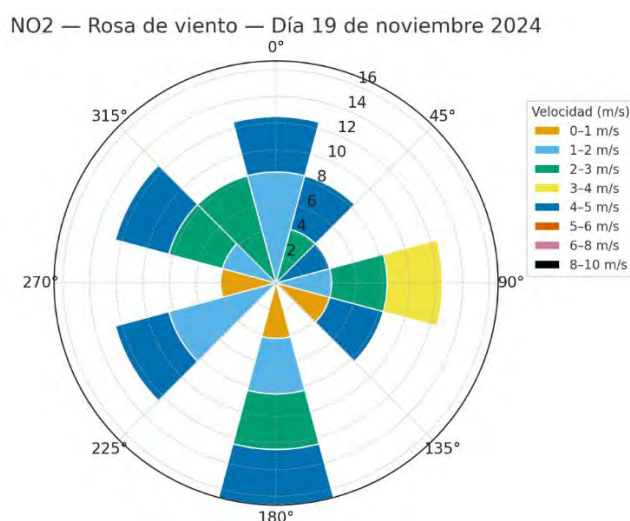
En octubre, la concentración máxima estimada es de $0.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando un repunte respecto al mes anterior. Las isolíneas presentan un patrón ovalado y bien estructurado, con el núcleo principal centrado. Este incremento podría estar vinculado a condiciones menos ventiladas o mayor estabilidad térmica, aunque los niveles siguen siendo bajos en comparación con límites de calidad del aire establecidos.

Figura 83: NO_2 — Concentración promedio diaria — noviembre 2024



Durante noviembre, las concentraciones diarias presentan alta variabilidad, con valores entre 3.2 y 5.5 unidades, alcanzando el máximo el día 19. Este mes muestra una alternancia marcada entre días de ventilación eficiente y otros con condiciones más estables. La curva revela varios picos intermedios, especialmente en la primera mitad del mes, lo que sugiere episodios de contaminación asociados a fuentes locales, posiblemente intensificados por cambios en la dirección del viento y condiciones térmicas de inversión.

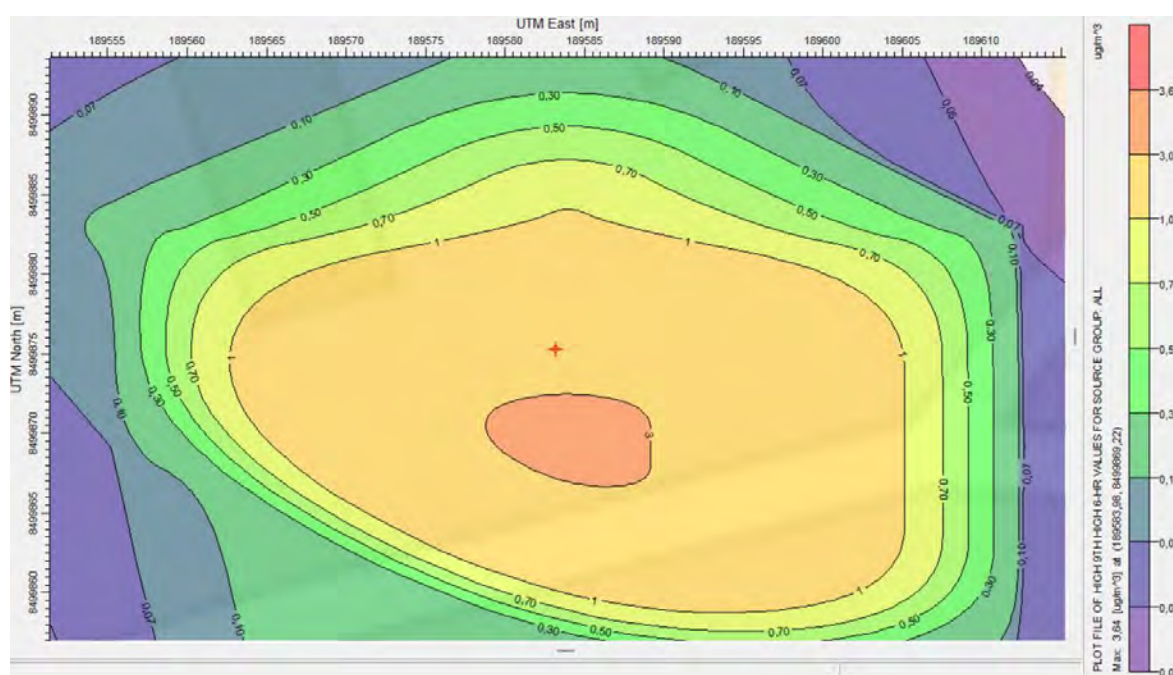
Figura 84: NO_2 — Rosa de viento — Día 19 de noviembre 2024



El comportamiento del viento el día de máxima concentración presenta predominio de flujos desde el sureste (SE) y suroeste (SW) con velocidades medias de 2 a 4 m/s. Se observa también un aporte moderado desde el norte (N) y el este (E). Esta dispersión direccional mixta indica una ventilación parcial, donde los sectores de baja velocidad (0–2 m/s) pudieron generar acumulación local. Las frecuencias más altas en los cuadrantes 180° – 270° sugieren aporte de contaminantes desde zonas urbanas o industriales cercanas.

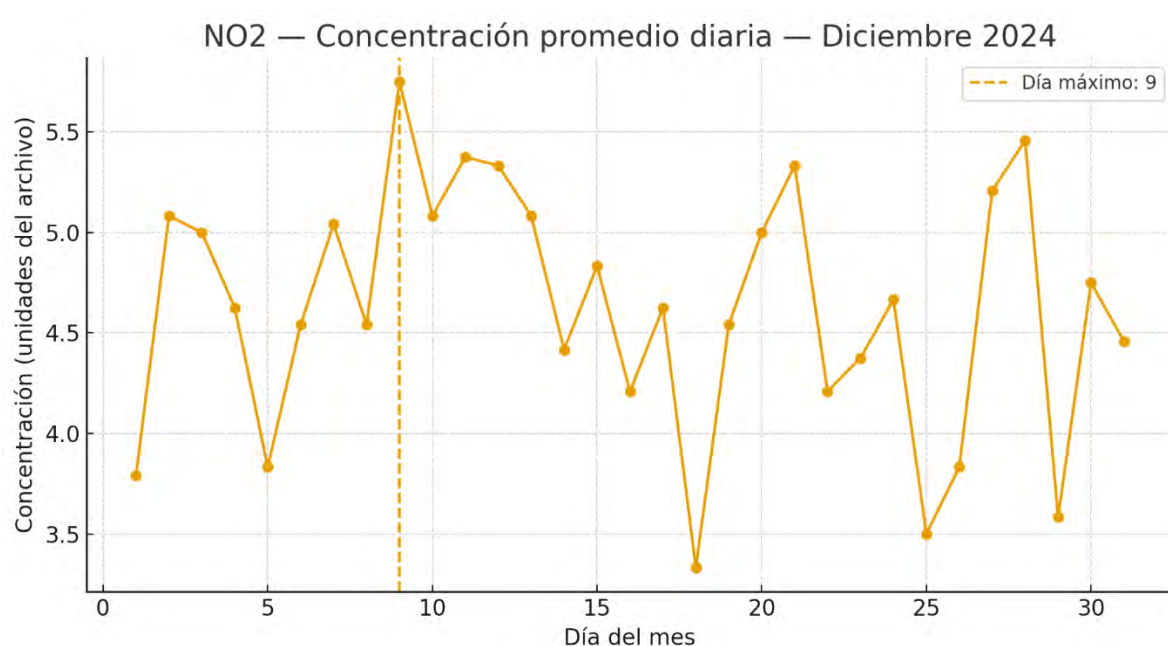
Figura 85: Isoconcentraciones del mes de noviembre de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 – 2024



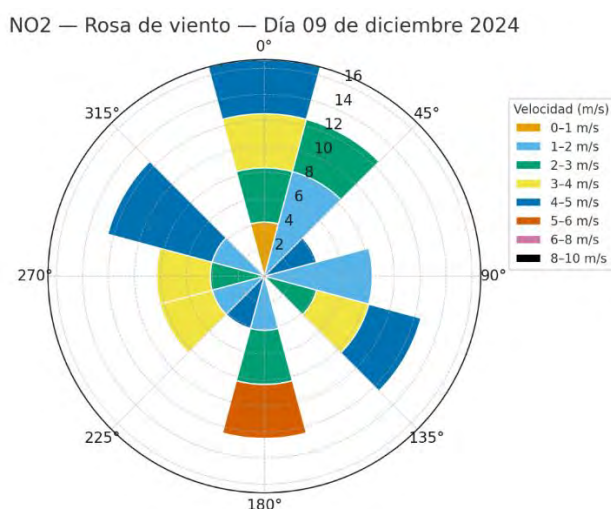
En noviembre, la concentración máxima de NO_2 alcanza aproximadamente $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución presenta una forma elíptica bien definida, con gradientes que decrecen suavemente hacia los bordes del dominio. Este patrón evidencia condiciones atmosféricas estables, pero con buena ventilación que evita acumulaciones significativas. El núcleo de concentración se mantiene centrado sobre la fuente, indicando emisiones constantes sin desplazamientos relevantes de la pluma.

Figura 86: NO_2 — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024



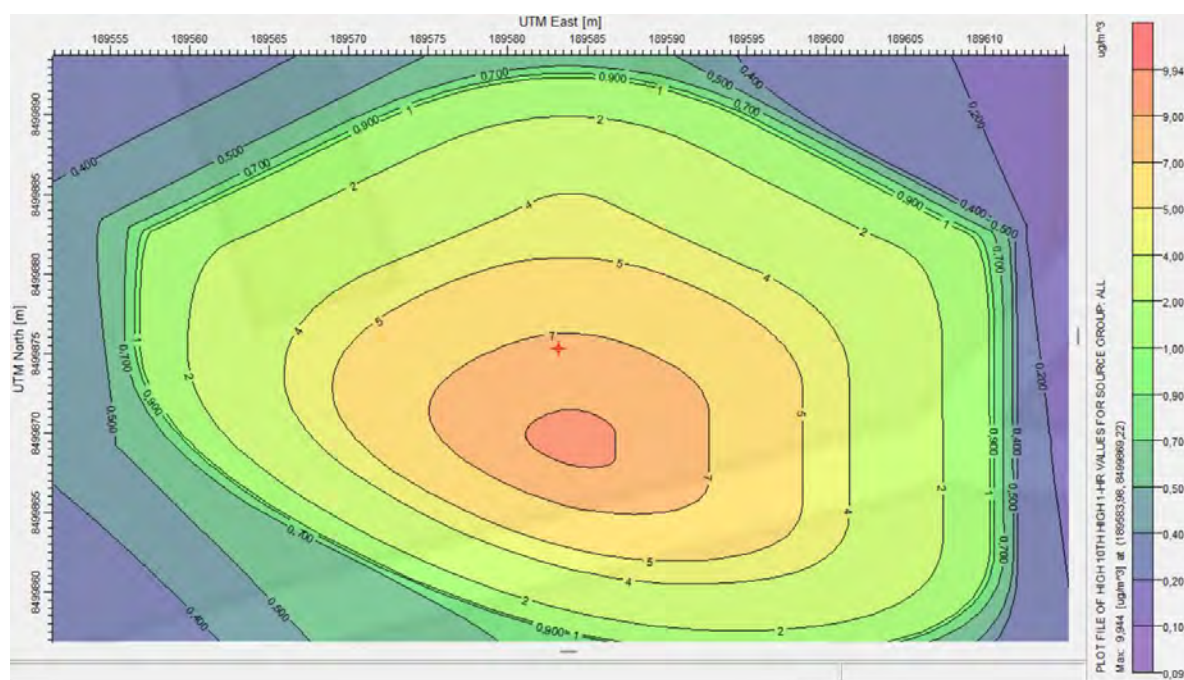
En diciembre, el comportamiento diario muestra concentraciones relativamente estables con amplitudes menores que en los meses previos, oscilando entre 3.5 y 5.8 unidades. El valor máximo se registra el día 9, coincidiendo con un leve incremento en la variabilidad de las condiciones meteorológicas. La tendencia general del mes refleja una dispersión moderada, posiblemente influenciada por la transición estacional y una disminución en las temperaturas que favorece la estabilidad atmosférica en horas nocturnas.

Figura 87: NO_2 — Rosa de viento — Día 09 de diciembre 2024



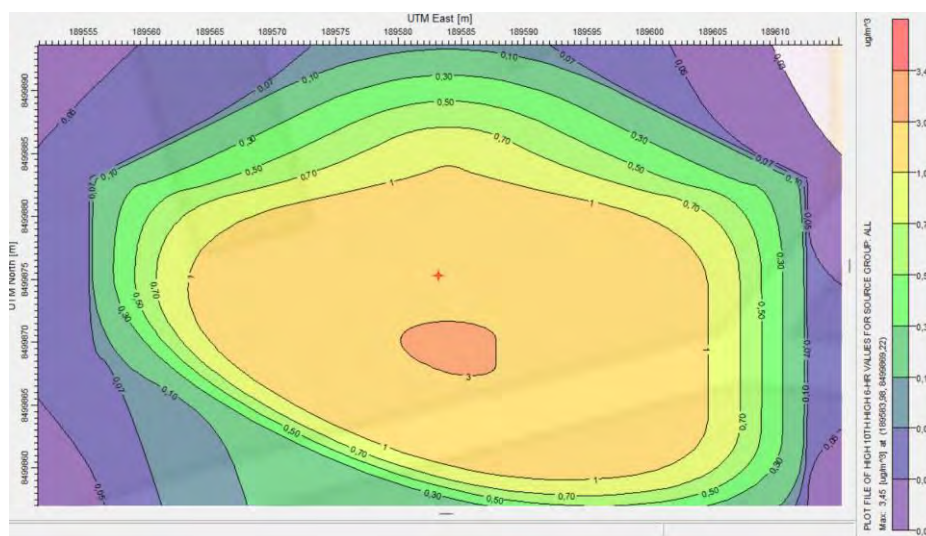
La rosa de viento del día 9 muestra un patrón amplio y bien distribuido, con vientos predominantes del sur (S) y oeste (W), velocidades de 2 a 5 m/s y eventos puntuales de 5–6 m/s. La presencia de flujos simultáneos desde el norte (N) y el sureste (SE) sugiere una dinámica atmosférica variable. Aunque las velocidades medias fueron suficientes para cierta dispersión, los periodos de baja intensidad (< 2 m/s) contribuyeron a la acumulación temporal del NO_2 que generó el máximo observado.

Figura 88: Isoconcentraciones del mes de diciembre de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



Durante diciembre, la concentración máxima asciende a $0.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa un leve incremento respecto al mes anterior. El mapa presenta isoconcentraciones concéntricas regulares, mostrando un patrón de dispersión homogéneo. Este comportamiento podría asociarse a una menor dispersión nocturna y mayor estabilidad térmica, condiciones típicas de fin de año, aunque los niveles permanecen muy por debajo de los valores guía de calidad del aire.

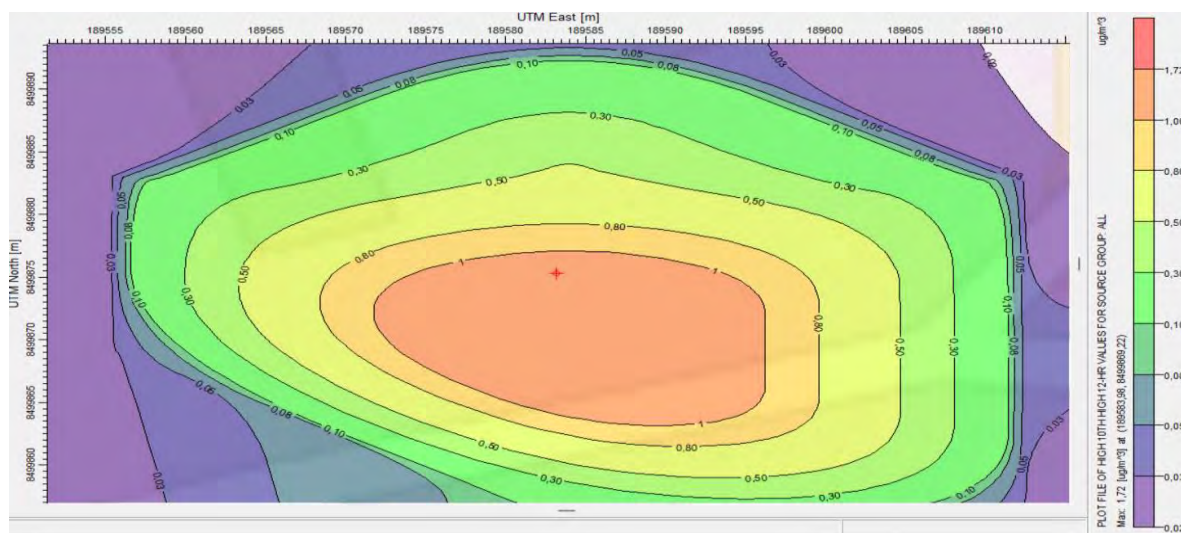
Figura 89: Isoconcentraciones anual de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



El valor máximo anual modelado de NO_2 es de aproximadamente $0.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución es uniforme y simétrica, reflejando un comportamiento estable de emisiones a lo largo del año. Las concentraciones más elevadas se limitan a un pequeño sector central, confirmando que la influencia de la fuente emisora es local y controlada. Este resultado indica que las emisiones anuales de NO_2 no representan un riesgo significativo para la calidad del aire en la zona de estudio.

Figura 90: Isoconcentración cada 24 horas más alta de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

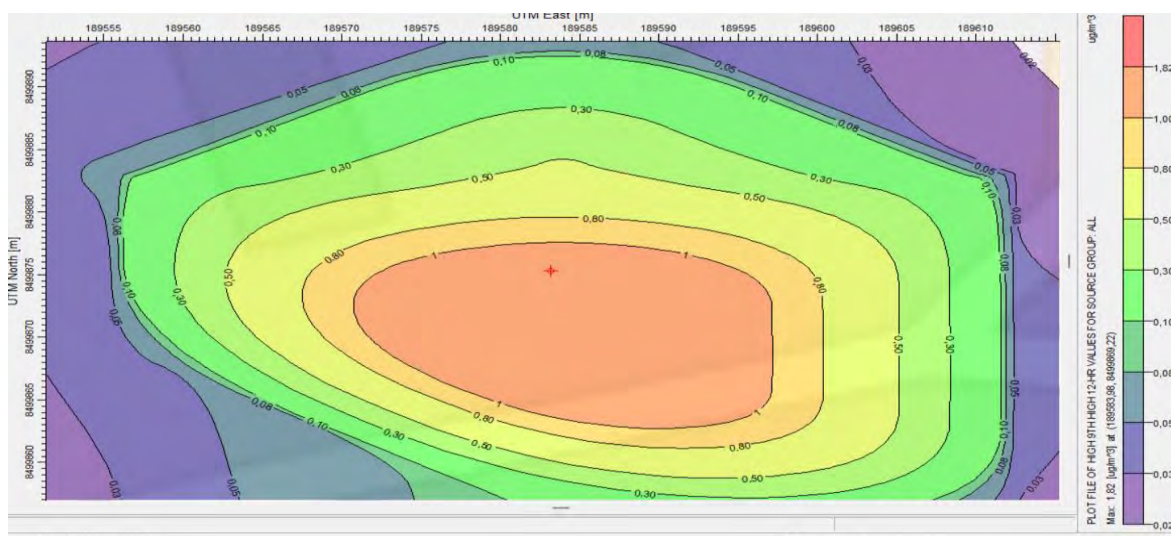
8.9.0 – 2024



En el periodo de 24 horas, la concentración máxima registrada es de $1.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El mapa evidencia un núcleo central bien definido con dispersión radial decreciente. Los gradientes suaves indican una mezcla atmosférica efectiva, aunque el valor máximo podría corresponder a un evento puntual de baja ventilación. En conjunto, el comportamiento es típico de una atmósfera con estabilidad moderada y vientos suaves durante algunas horas del día.

Figura 91: Isoconcentración cada 6 horas más alta de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

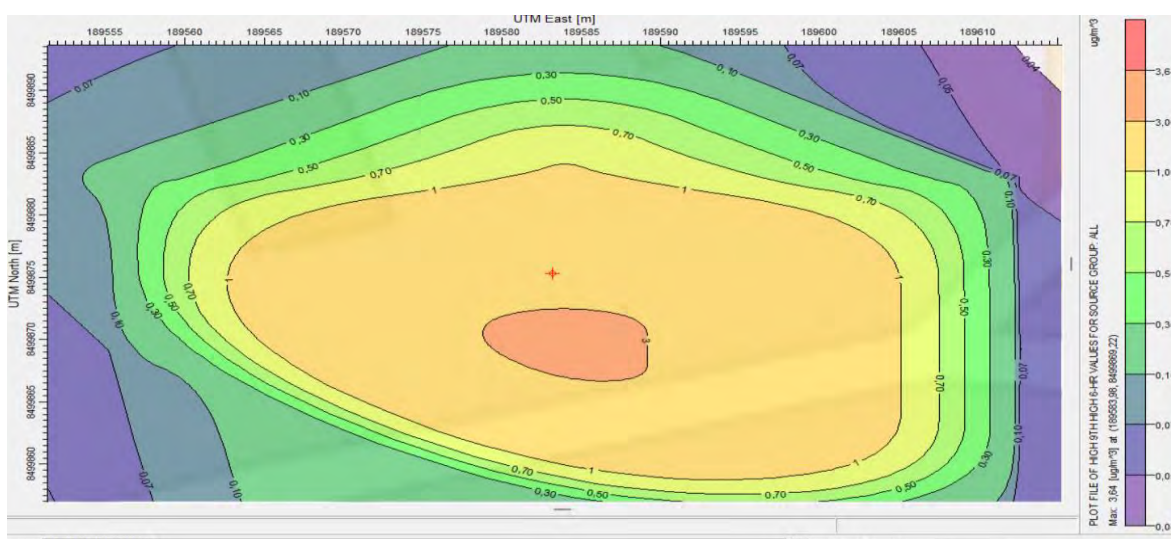
8.9.0 – 2024



Nota: Elaboración propia

Durante los intervalos de 6 horas, la concentración máxima alcanza $1.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una configuración circular y bordes bien delineados. Esto sugiere una dispersión eficiente a escala corta, con condiciones atmosféricas que favorecen la dilución temporal del NO_2 . La simetría del patrón refleja estabilidad en la dirección y velocidad del viento, sin desplazamientos marcados de la pluma.

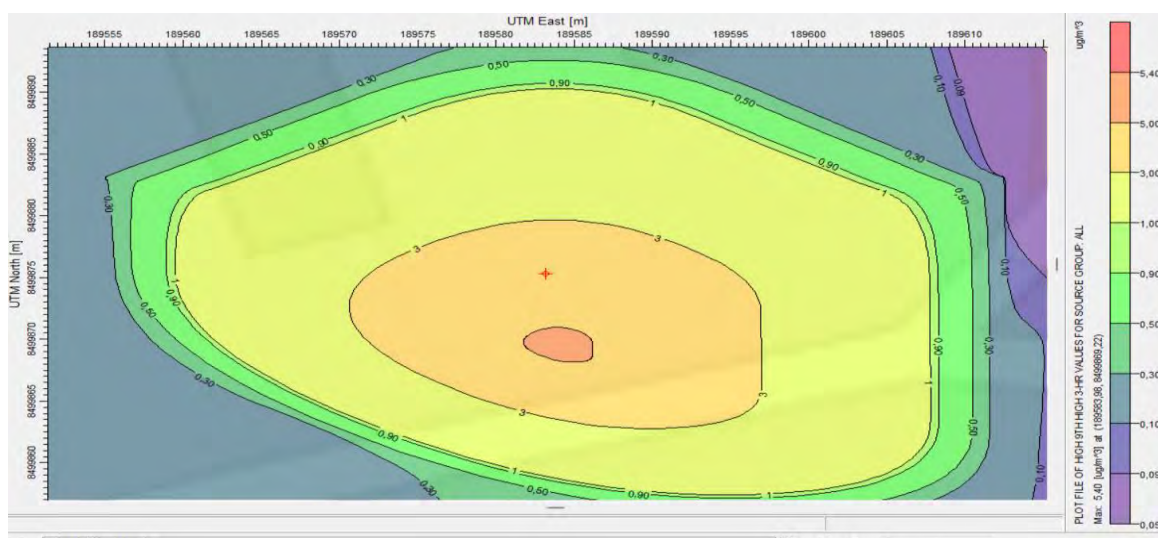
Figura 92: *Isoconcentración cada 12 horas más alta de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024*



En este caso, la concentración máxima llega a $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando una distribución amplia y continua. Las isolíneas mantienen una estructura elíptica suave, señalando una dispersión homogénea y condiciones meteorológicas favorables. La extensión de la pluma es mayor, lo que indica una mayor influencia del viento y de la mezcla vertical en comparación con los periodos más cortos.

Figura 93: Isoconcentración cada 18 horas más alta de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

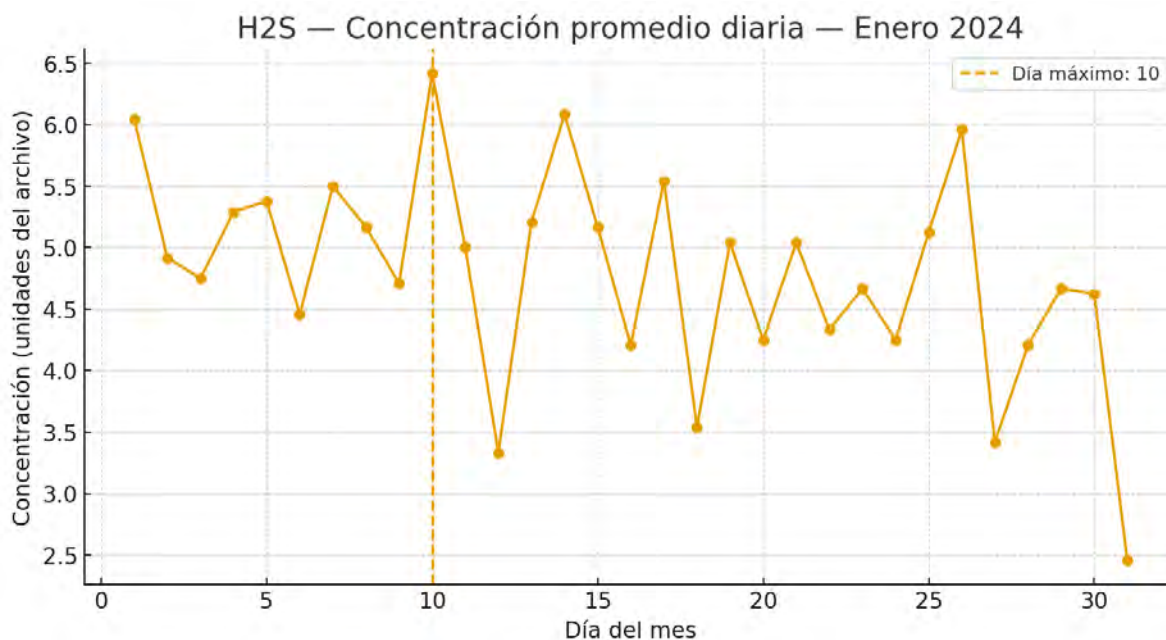
8.9.0 – 2024



Para el periodo de 18 horas, se alcanza una concentración máxima de $0.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando una reducción significativa respecto a los promedios de menor duración. Las isolíneas muestran un patrón estable y regular, característico de condiciones de ventilación sostenida. Esto confirma que a mayor tiempo de integración, las concentraciones promedio disminuyen, reflejando una adecuada capacidad de dispersión atmosférica en la zona.

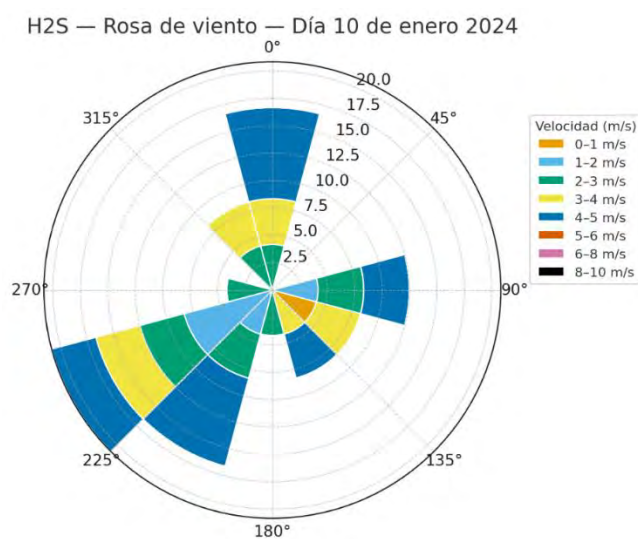
4.1.3 Dispersión de sulfuro de hidrogeno (H_2S) en el aire.

Figura 94: H_2S — Concentración promedio diaria — Enero 2024



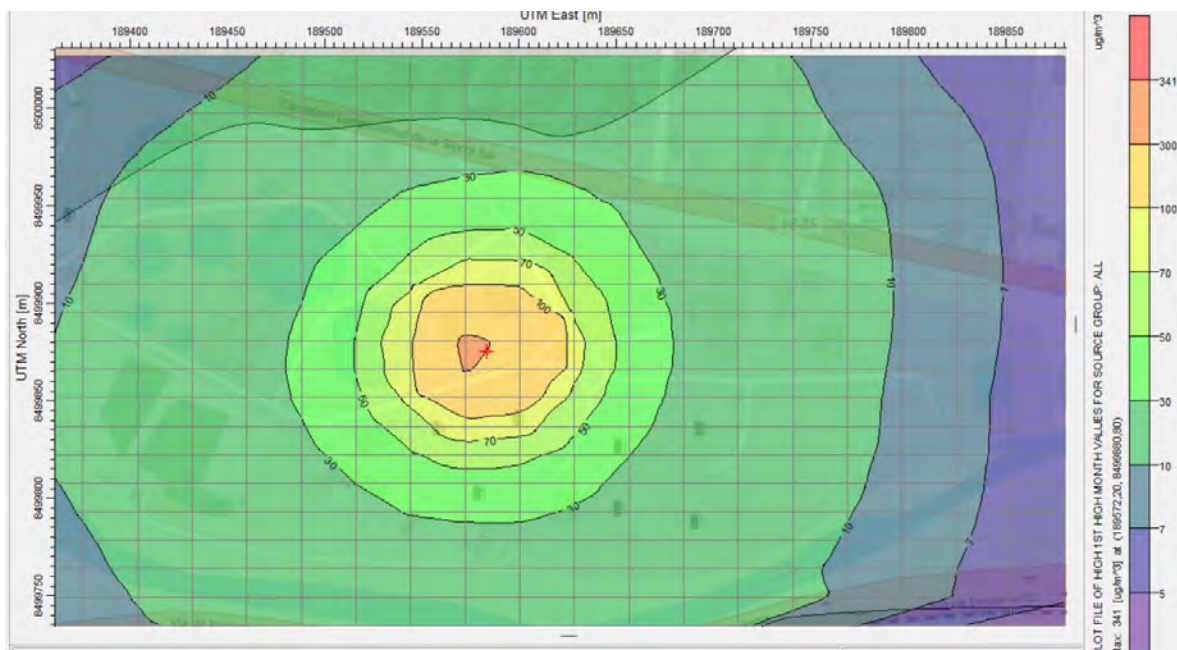
En enero se observa un comportamiento variable de las concentraciones diarias, con valores entre 3.0 y 6.5 unidades, registrándose el máximo el día 10. Durante la primera quincena se presentan varios picos intermedios, lo que sugiere emisiones locales combinadas con periodos de baja ventilación. A partir del día 20, las concentraciones se estabilizan ligeramente, indicando condiciones meteorológicas más favorables para la dispersión.

Figura 95: H_2S — Rosa de viento — Día 10 de enero 2024



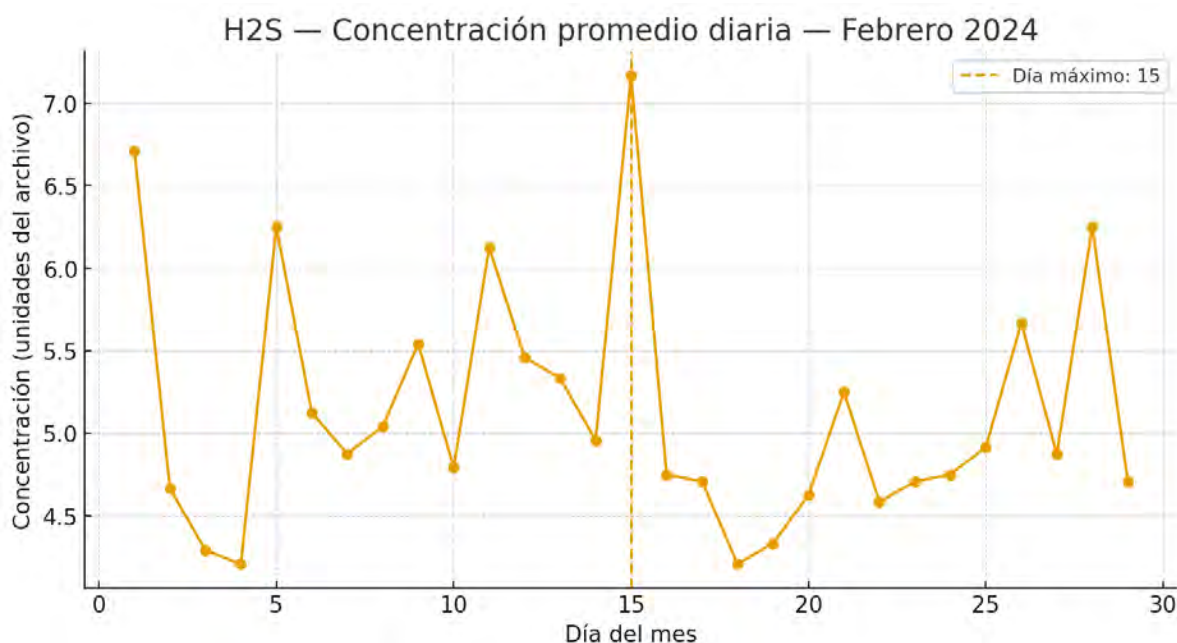
El día del máximo presenta vientos predominantes del oeste (W) y noroeste (NW), con velocidades de 2 a 4 m/s, y contribuciones menores del sureste (SE). Los registros más frecuentes provienen de los cuadrantes 270° – 315° , asociados a flujos que podrían transportar contaminantes desde zonas industriales o áreas de emisiones puntuales hacia la estación. La dispersión fue limitada debido a la presencia de intervalos con vientos débiles (<2 m/s).

Figura 96 : Isoconcentraciones del mes de enero de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD
8.9.0 2024



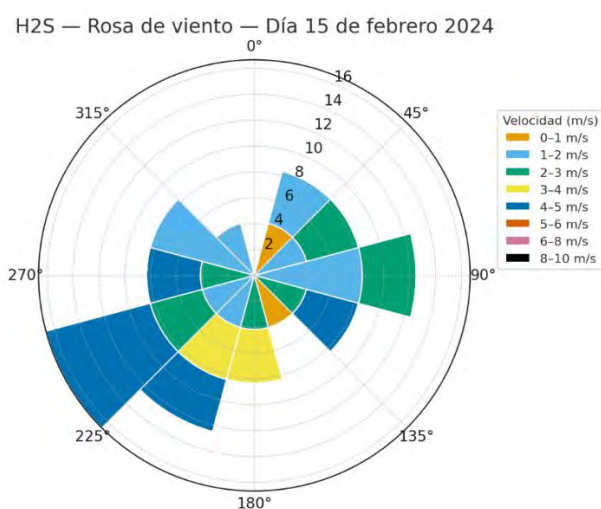
En la Figura se presentan las isoconcentraciones correspondientes al mes de enero de H₂S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. La distribución muestra un patrón concéntrico con un núcleo central de máxima concentración, alcanzando valores cercanos a $340 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las inmediaciones de la fuente emisora. Las concentraciones decrecen de forma regular hacia los extremos del dominio, evidenciando una adecuada dispersión del contaminante y ausencia de acumulaciones significativas.

Figura 97: H_2S — Concentración promedio diaria — Febrero 2024



Durante febrero, las concentraciones diarias muestran valores entre 4.3 y 7.1 unidades, alcanzando el máximo el día 15. La primera mitad del mes presenta mayor variabilidad, mientras que en la segunda mitad las concentraciones disminuyen y se mantienen más uniformes. Este patrón sugiere un episodio puntual de acumulación a mediados de mes, probablemente asociado a estabilidad atmosférica o inversión térmica nocturna.

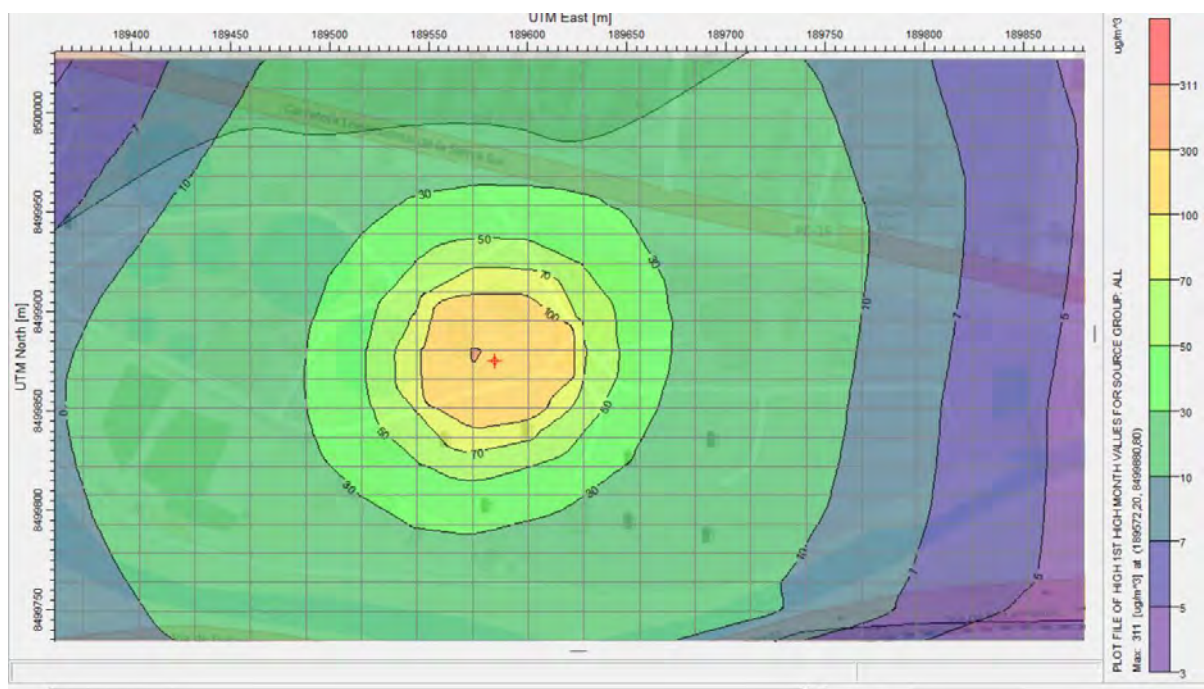
Figura 98: H_2S — Rosa de viento — Día 15 de febrero 2024



La rosa de viento del día de máximo muestra predominio de flujos del este (E) y suroeste (SW), con velocidades entre 2 y 5 m/s, y una presencia destacada de direcciones sureste (SE) y sur (S). Esta dispersión bidireccional indica una mezcla de masas de aire que puede generar acumulación temporal del H_2S , sobre todo en condiciones de calma relativa (0–2 m/s).

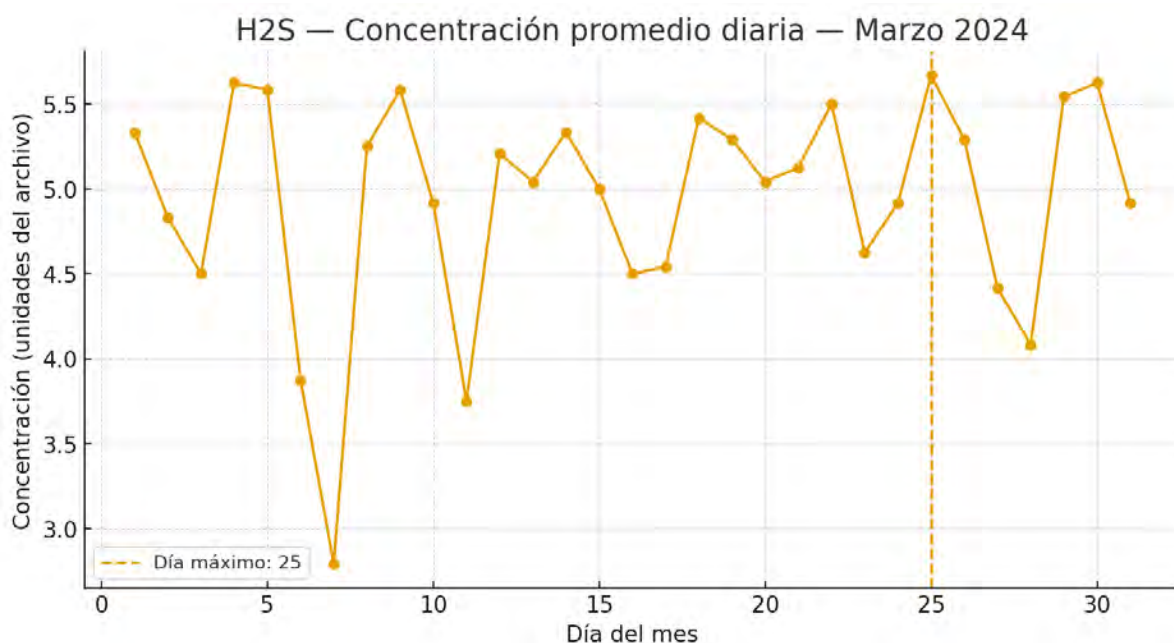
Figura 99: Isoconcentraciones del mes de febrero de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



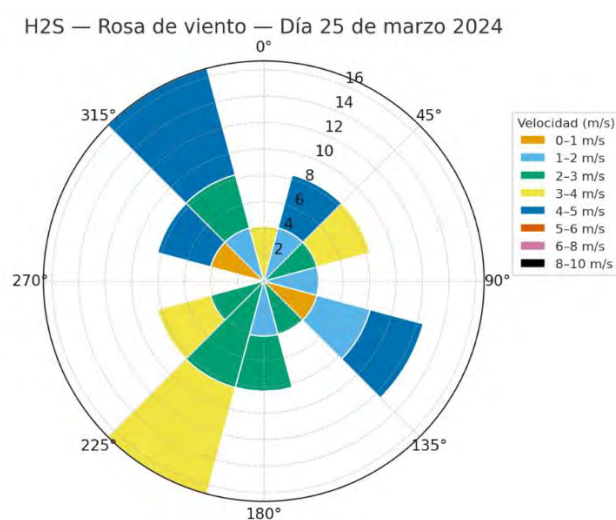
La Figura muestra las isoconcentraciones del mes de febrero, donde las concentraciones máximas de H_2S se mantienen en torno a $310 \mu g/m^3$. La pluma de dispersión se distribuye simétricamente con tendencia al noreste, indicando una ligera influencia de los vientos predominantes del suroeste. La configuración de las isolíneas sugiere estabilidad atmosférica moderada y un control adecuado del gradiente de concentración.

Figura 100: H_2S — Concentración promedio diaria — Marzo 2024



En marzo, las concentraciones de H_2S muestran una amplitud menor en comparación con meses anteriores, con un rango de 3.0 a 5.6 unidades y un máximo el día 25. Se evidencian descensos pronunciados los días 8 y 26, coincidiendo con posibles eventos de viento fuerte o lluvia. La estabilidad del promedio mensual sugiere buena ventilación general, aunque con episodios aislados de acumulación.

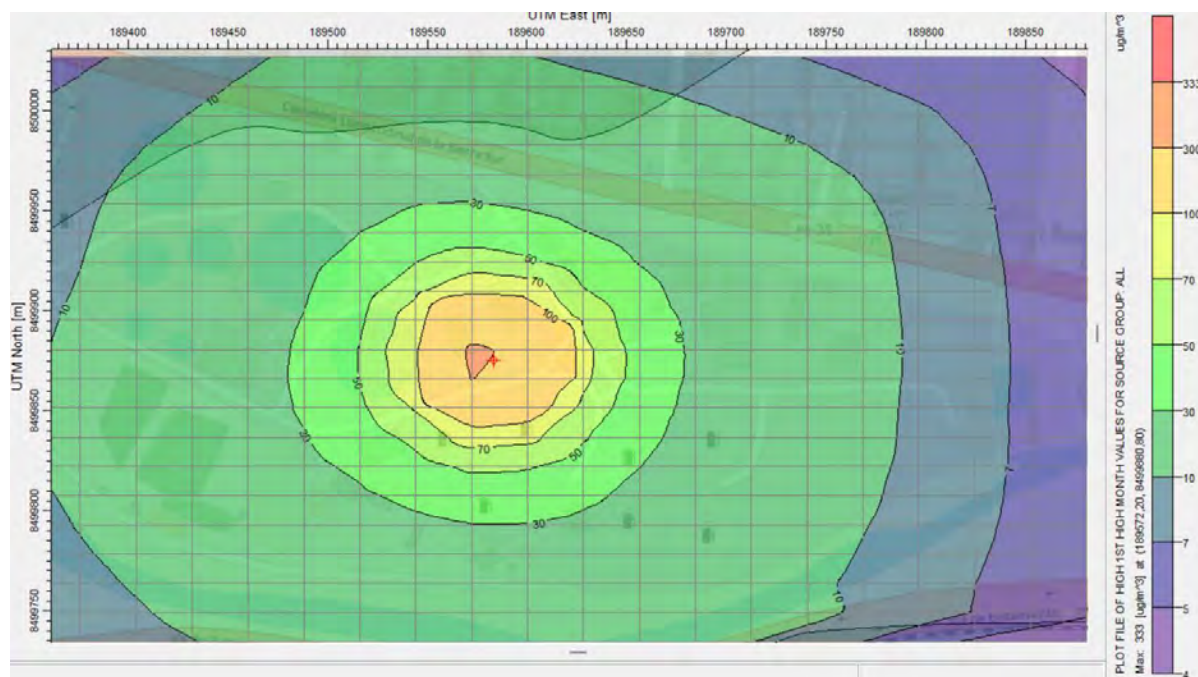
Figura 101: H_2S — Rosa de viento — Día 25 de marzo 2024



El patrón de viento de ese día está dominado por flujos del sur (S) y noroeste (NW), con velocidades de 2 a 4 m/s. Se aprecia una mayor dispersión en los cuadrantes 180°–270°, indicando vientos provenientes del sector suroeste. Las condiciones moderadas de ventilación explican la acumulación puntual registrada en la concentración diaria máxima.

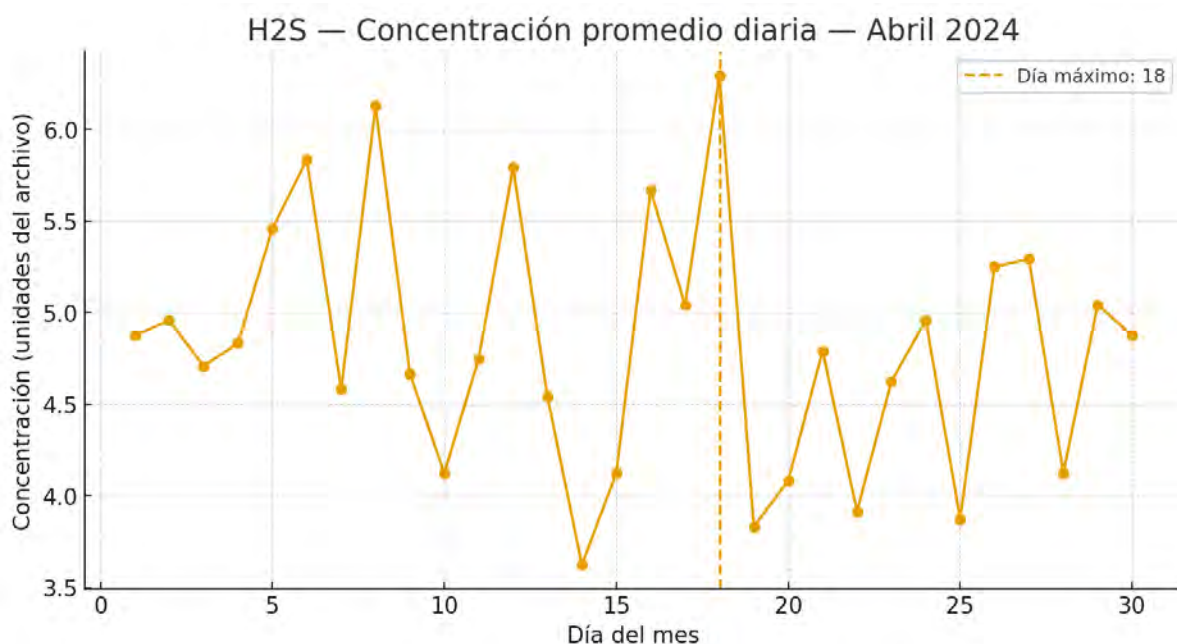
Figura 102: Isoconcentraciones del mes de marzo de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



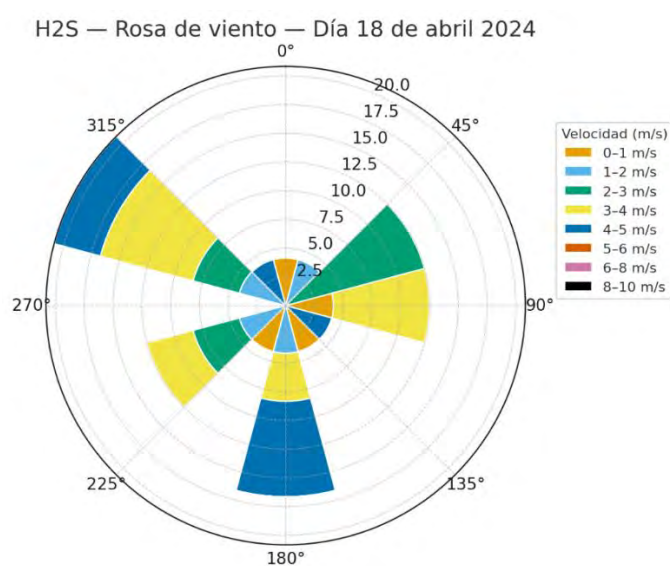
En la Figura se representan las isoconcentraciones del mes de marzo. El patrón de dispersión presenta una estructura anular bien definida, con valores máximos aproximados de 330 $\mu g/m^3$. La zona de mayor concentración se mantiene centrada sobre la fuente, y las isolíneas muestran una disminución progresiva hacia el perímetro, reflejando un comportamiento estable y sin evidencias de desplazamientos laterales pronunciados.

Figura 103: H_2S — Concentración promedio diaria — abril 2024



Abril presenta una serie con oscilaciones amplias, con valores entre 3.7 y 6.3 unidades, alcanzando su punto máximo el día 18. Este mes se caracteriza por un incremento de la variabilidad diaria, posiblemente asociado a transiciones meteorológicas típicas del periodo inter-estacional (mayor alternancia entre días estables y ventosos).

Figura 104: H_2S — Rosa de viento — Día 18 de abril 2024

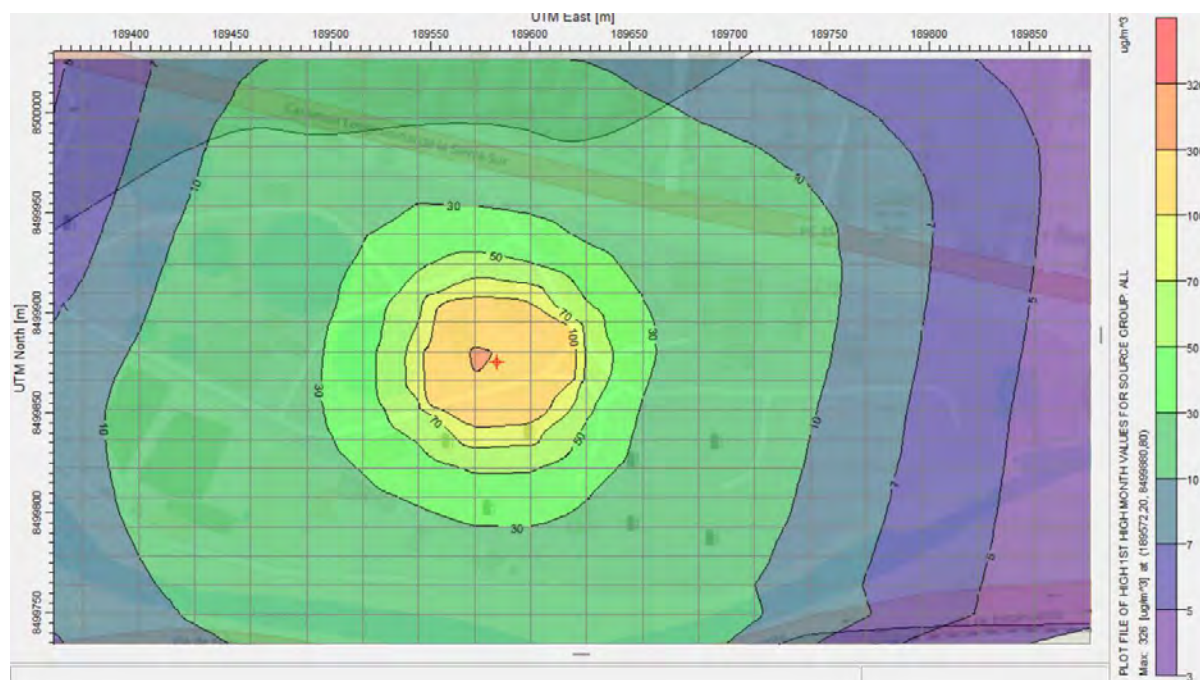


El comportamiento del viento muestra predominio de flujos del norte (N) y suroeste (SW) con velocidades de 2 a 4 m/s, además de sectores secundarios del este (E). La rosa

evidencia una circulación casi simétrica, lo cual puede generar recirculación local del contaminante. Los periodos de baja velocidad (0–2 m/s) habrían favorecido la concentración registrada ese día.

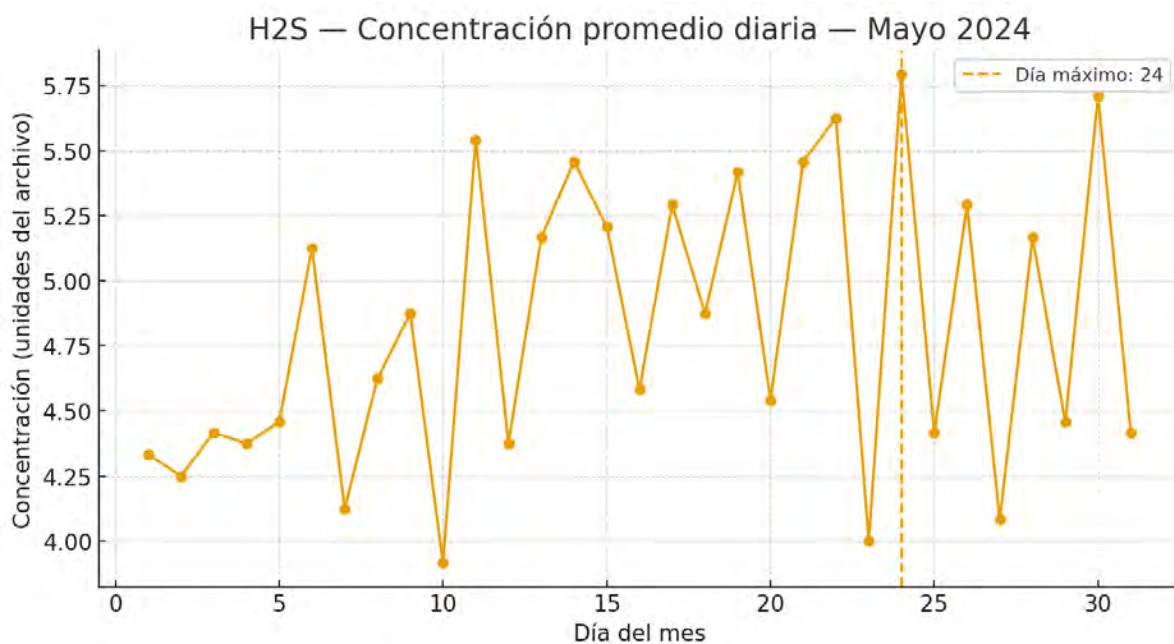
Figura 105: Isoconcentraciones del mes de abril de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



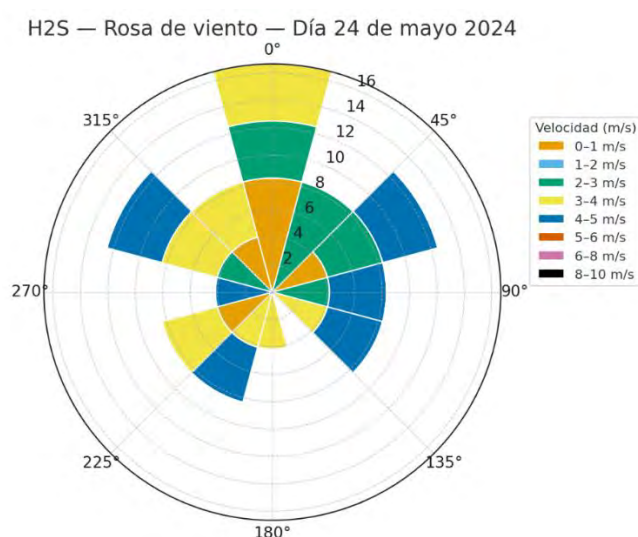
La Figura corresponde a las isoconcentraciones del mes de abril, donde se observa un comportamiento similar al de los meses anteriores, con un núcleo de máxima concentración sobre la fuente emisora, con valores cercanos a 325 $\mu g/m^3$. La dispersión es concéntrica y homogénea, lo que sugiere condiciones atmosféricas favorables para la ventilación del área y un transporte uniforme del contaminante.

Figura 106: H_2S — Concentración promedio diaria — Mayo 2024



Durante mayo, las concentraciones promedio diarias se mantienen dentro de un rango de 4.0 a 5.7 unidades, con el máximo registrado el día 24. El comportamiento general muestra menor dispersión de datos y una tendencia hacia la estabilidad atmosférica, con pocos picos de contaminación significativos.

Figura 107: *H₂S — Rosa de viento — Día 24 de mayo 2024*

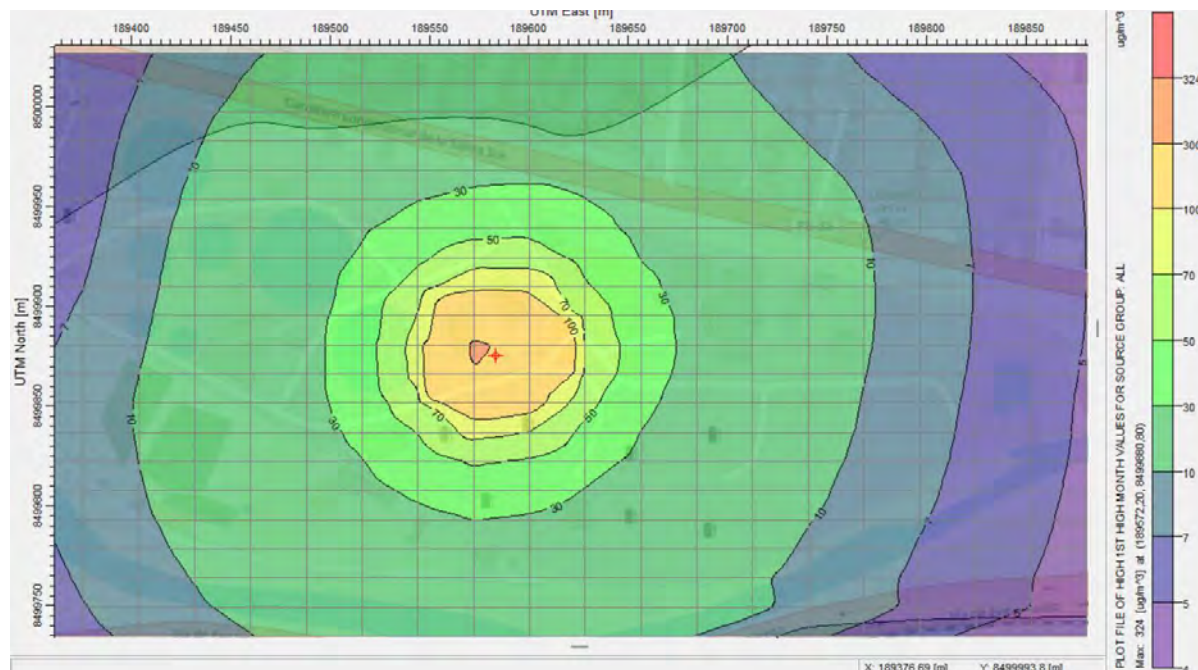


En el día de máxima concentración, los vientos dominantes provienen del norte (N) y este (E), con velocidades entre 2 y 5 m/s. La distribución es amplia, con una presencia notable de flujos del oeste (W) y noroeste (NW), lo que indica un régimen de vientos variable. La

existencia de intervalos con baja velocidad pudo permitir acumulación local de H_2S en las horas de menor ventilación.

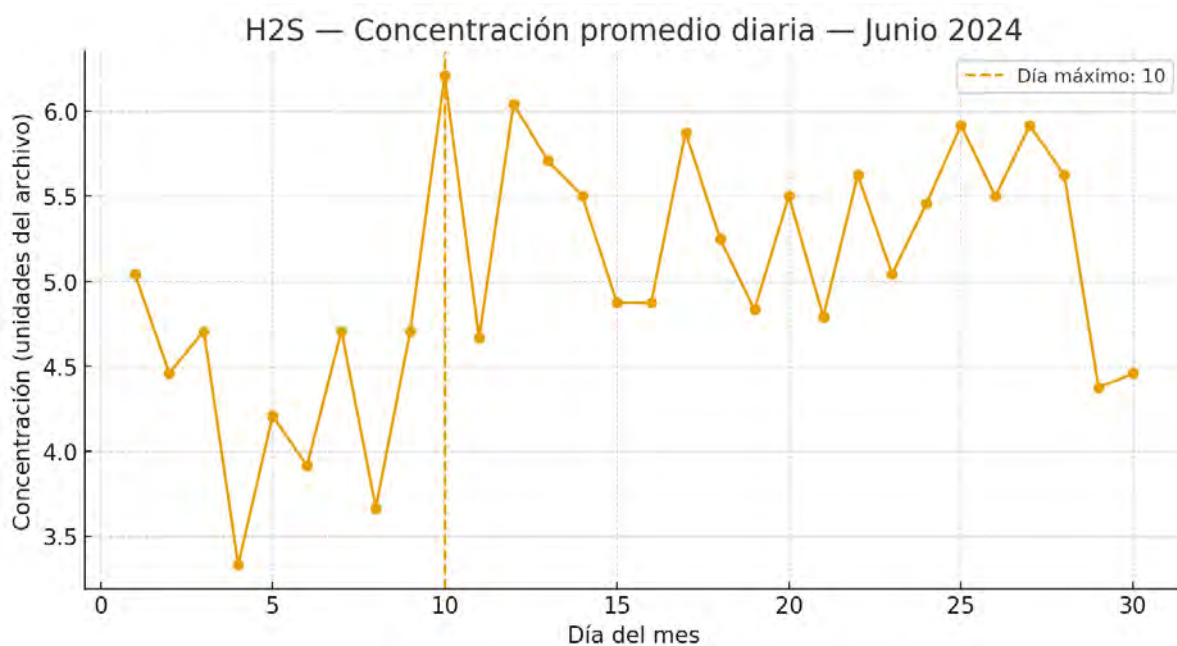
Figura 108: Isoconcentraciones del mes de mayo de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



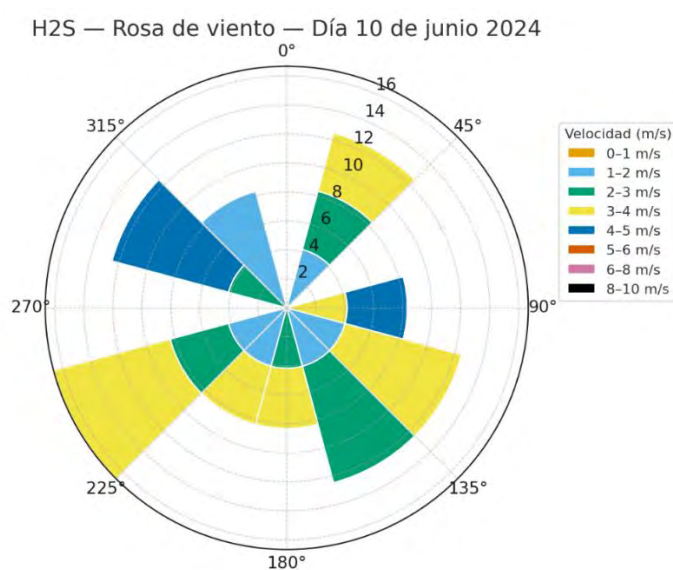
En la Figura se muestran las isoconcentraciones del mes de mayo de H_2S ($\mu g/m^3$). Los valores máximos alcanzan aproximadamente $324 \mu g/m^3$, manteniéndose la forma circular y la disminución regular de las concentraciones hacia los bordes. El área de influencia directa se mantiene reducida, indicando que las emisiones no generan impactos significativos a distancias mayores del punto de origen.

Figura 109: H_2S — Concentración promedio diaria — Junio 2024



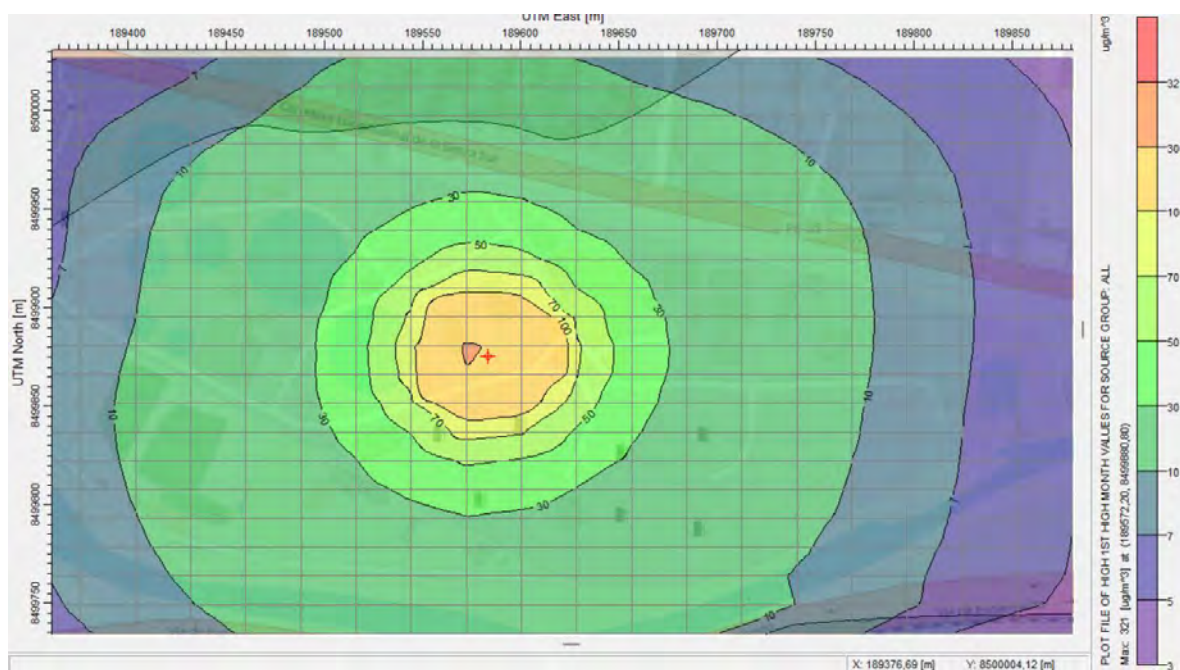
Durante junio se observa un comportamiento estable con valores entre 3.4 y 6.2 unidades, alcanzando el máximo el día 10. En general, las concentraciones se mantienen en un rango moderado, con un ligero incremento hacia mediados de mes. La presencia de varios días consecutivos con concentraciones superiores a 5 unidades indica una ventilación parcial y posibles aportes de emisiones locales.

Figura 110: H_2S — Rosa de viento — Día 10 de junio 2024



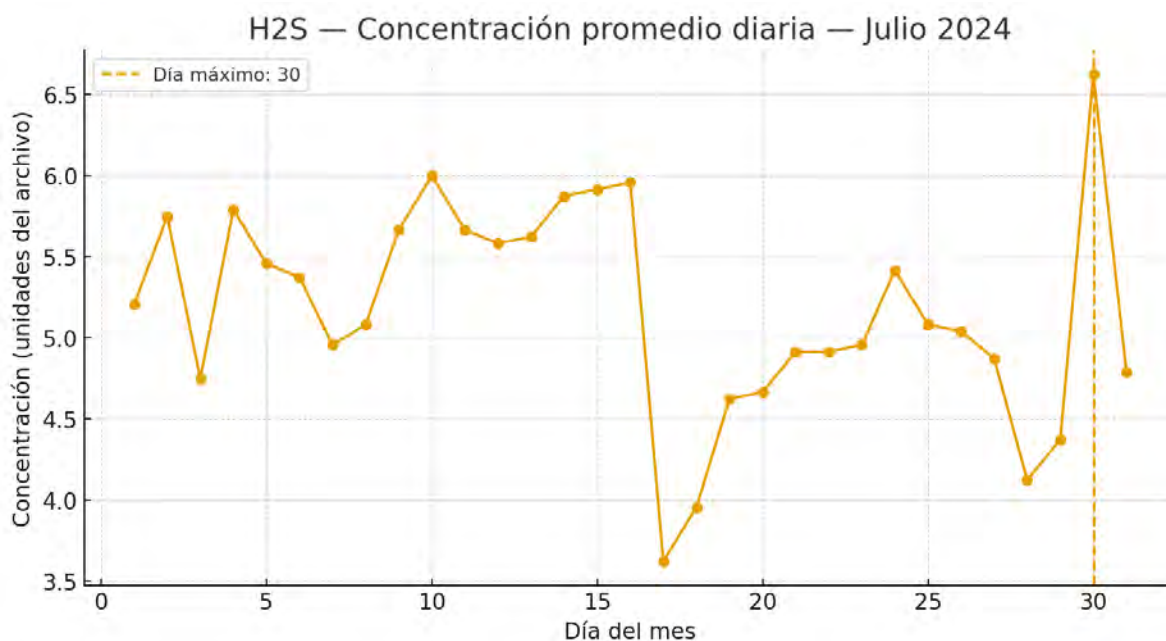
Durante junio se observa un comportamiento estable con valores entre 3.4 y 6.2 unidades, alcanzando el máximo el día 10. En general, las concentraciones se mantienen en un rango moderado, con un ligero incremento hacia mediados de mes. La presencia de varios días consecutivos con concentraciones superiores a 5 unidades indica una ventilación parcial y posibles aportes de emisiones locales.

Figura 111: Isoconcentraciones del mes de junio de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



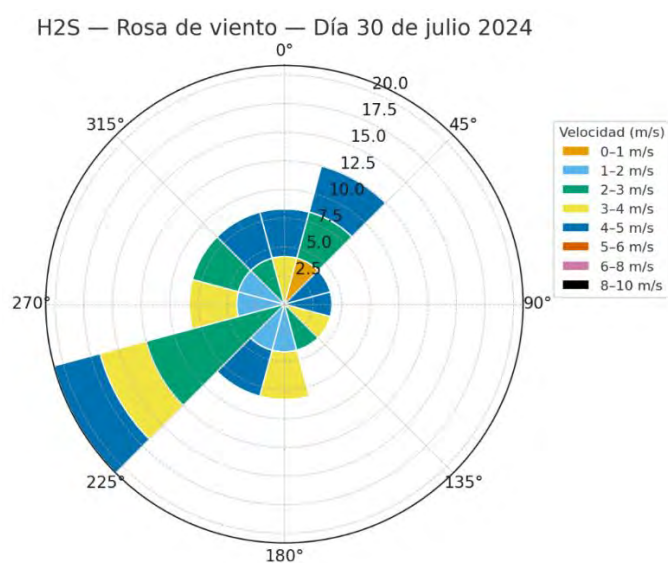
La Figura presenta las isoconcentraciones del mes de junio, modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. La concentración máxima estimada es de 321 $\mu g/m^3$, ligeramente menor a los valores registrados en meses previos. Las isolíneas describen un patrón concéntrico amplio con gradientes suaves, lo que denota una dispersión más eficiente y condiciones meteorológicas favorables, probablemente asociadas al aumento de la velocidad del viento durante este periodo.

Figura 112: H_2S — Concentración promedio diaria — Julio 2024



En julio las concentraciones presentan dos fases diferenciadas: una primera mitad con niveles constantes alrededor de 5.5 unidades y una segunda con fluctuaciones más marcadas. El máximo se alcanza el día 30 (6.5 unidades), coincidiendo con un episodio puntual de baja ventilación. En general, julio mantiene una tendencia ascendente respecto al mes anterior, reflejando condiciones térmicas más estables y menor dispersión.

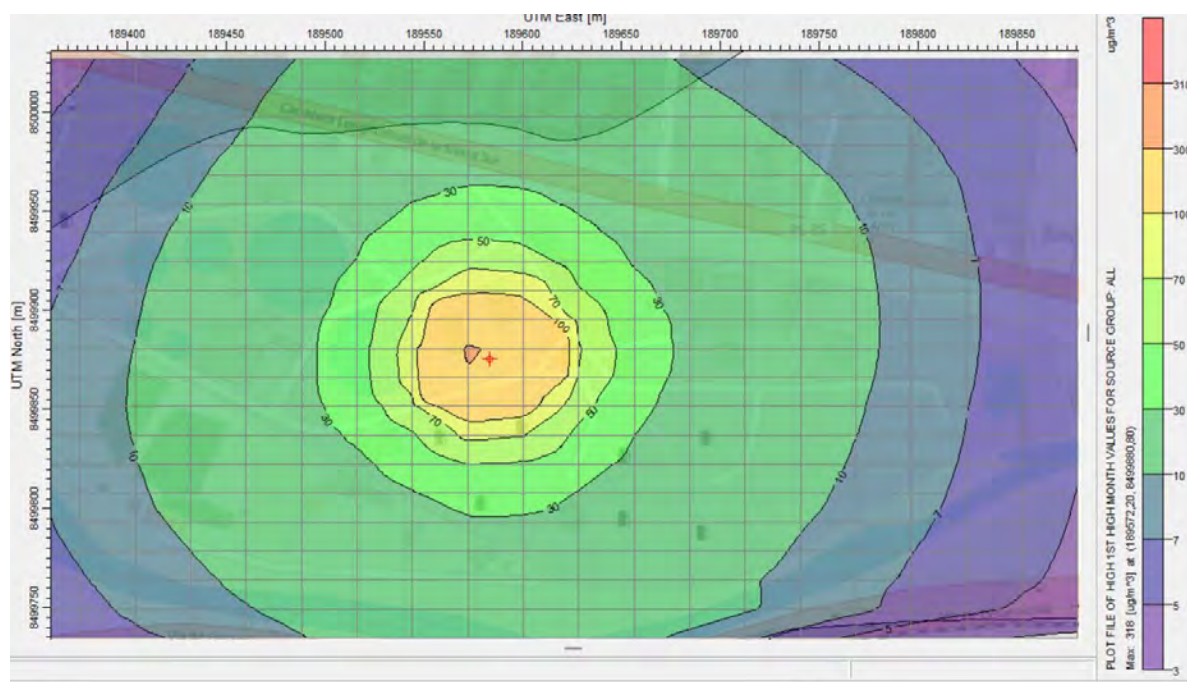
Figura 113: *H₂S — Rosa de viento — Día 30 de julio 2024*



El régimen de viento del día 30 se caracteriza por predominio de flujos del suroeste (SW) y noroeste (NW) con velocidades de 2–4 m/s, además de componentes secundarias del

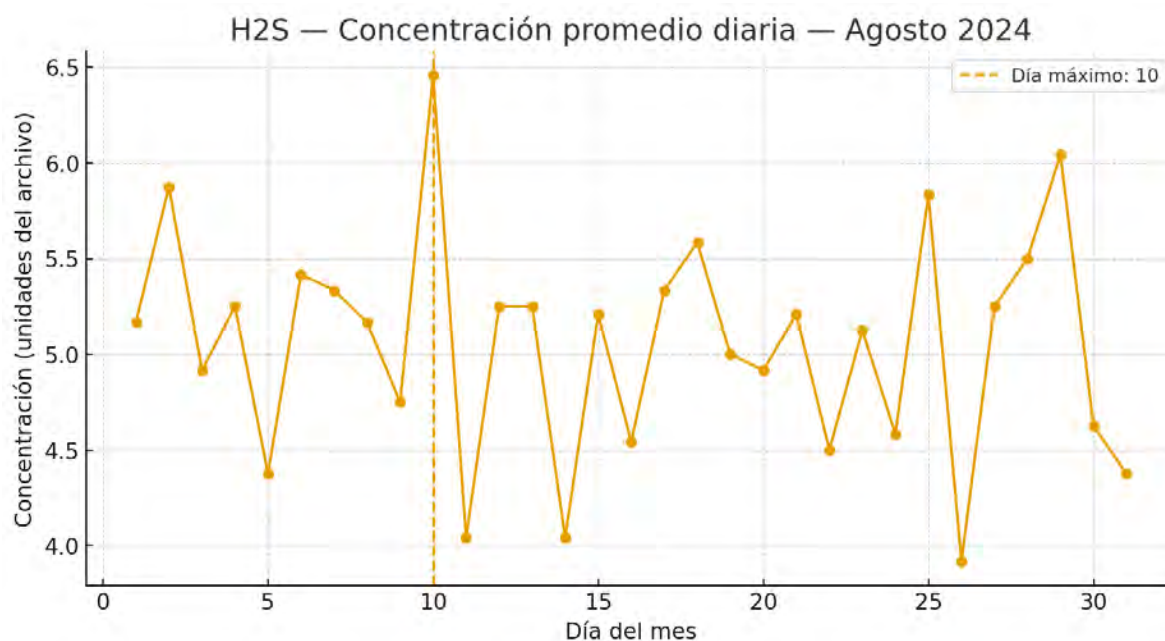
este (E). Este patrón favorece la retención temporal del contaminante en zonas bajas, especialmente en periodos con velocidades menores a 2 m/s, lo que explica la concentración máxima detectada.

Figura 114: Isoconcentraciones del mes de julio de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



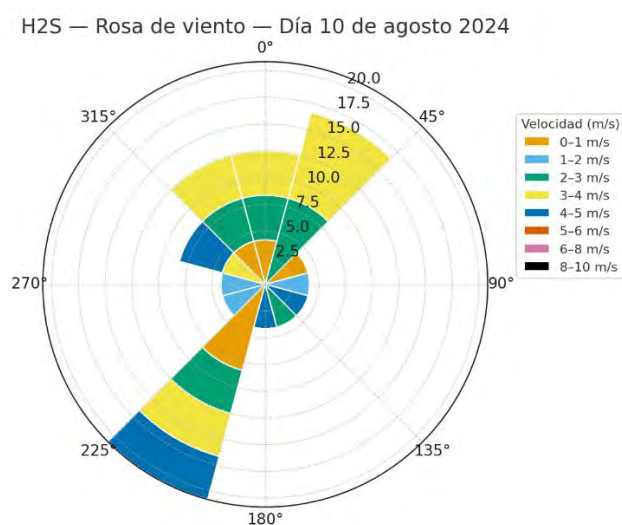
En la Figura se presentan las isoconcentraciones del mes de julio de H_2S ($\mu g/m^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. Se observa una concentración máxima cercana al punto de emisión, representada por el núcleo amarillo que indica valores superiores a 100 $\mu g/m^3$. Las concentraciones decrecen gradualmente hacia la periferia, mostrando una dispersión uniforme hacia el noreste, lo cual sugiere una influencia predominante de vientos del suroeste durante este periodo.

Figura 115: H_2S — Concentración promedio diaria — agosto 2024



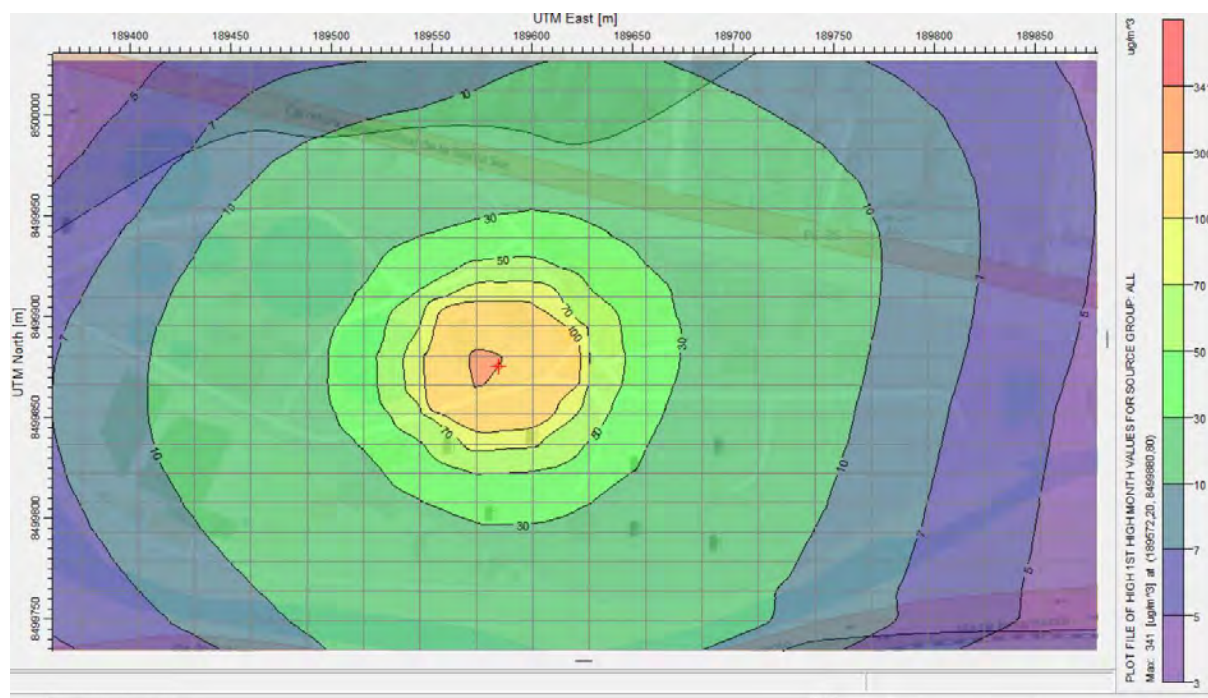
Durante agosto, el comportamiento de las concentraciones muestra picos intermitentes, con valores comprendidos entre 4.0 y 6.5 unidades y el máximo el día 10. La variabilidad observada indica una alternancia entre días con buena ventilación y otros con acumulación localizada. Se evidencia un patrón similar al de meses de transición, con oscilaciones amplias y un leve descenso hacia final de mes.

Figura 116: H_2S — Rosa de viento — Día 10 de agosto 2024



El día de máxima concentración presenta vientos predominantes del norte (N) y suroeste (SW), con velocidades de 1–4 m/s. Se observa una marcada presencia de direcciones sureste (SE) y este (E), lo que podría indicar mezcla de masas de aire de distintas procedencias. Los segmentos de baja velocidad (<2 m/s) sugieren condiciones de estabilidad atmosférica que impidieron la dispersión del contaminante.

Figura 117: Isoconcentraciones del mes de agosto de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



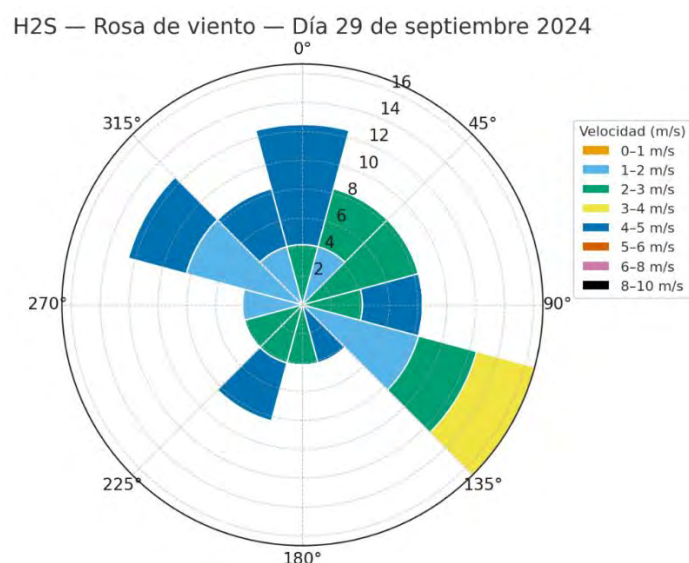
La Figura muestra las isoconcentraciones correspondientes al mes de agosto de H_2S ($\mu g/m^3$). El patrón de dispersión presenta una forma concéntrica bien definida, con el máximo de concentración ubicado sobre la fuente puntual y valores que disminuyen progresivamente hacia los márgenes del dominio. El rango máximo alcanza aproximadamente $140 \mu g/m^3$, evidenciando condiciones atmosféricas estables que limitaron la dilución del contaminante.

Figura 118: H_2S — Concentración promedio diaria — septiembre 2024



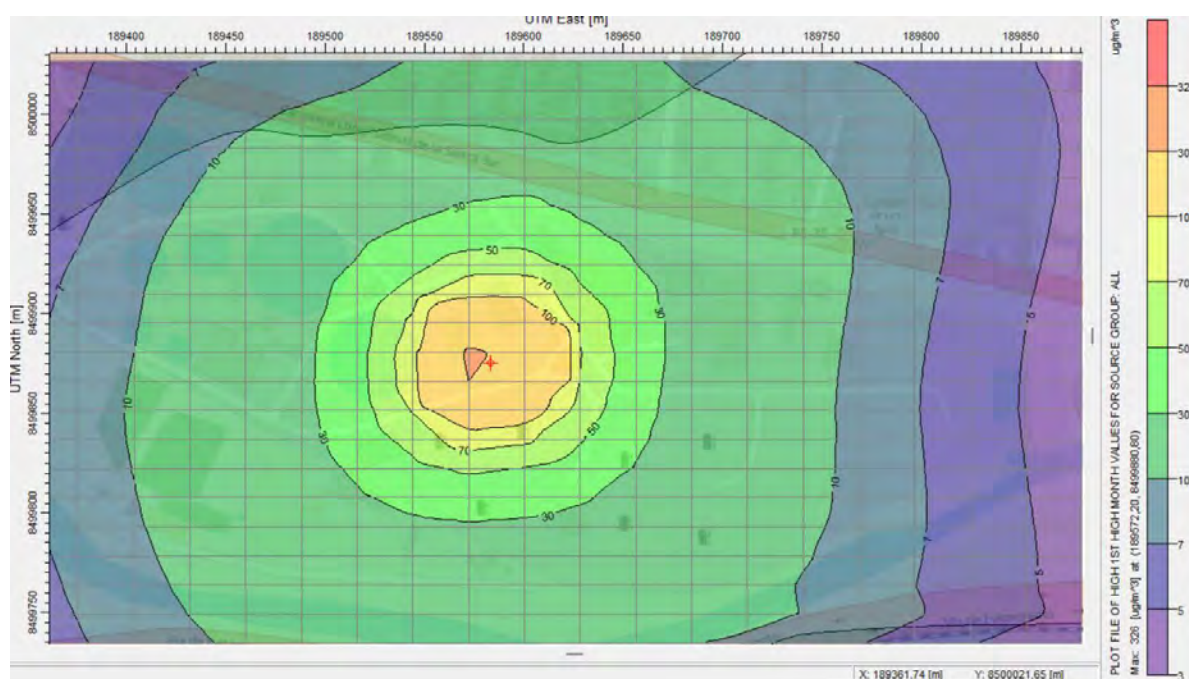
Las concentraciones de septiembre se mantienen dentro de un rango de 3.7 a 5.9 unidades, con el máximo el día 29. Este mes muestra una tendencia ascendente hacia el cierre, posiblemente por un aumento en la estabilidad térmica nocturna y menor ventilación. La serie evidencia una transición hacia condiciones menos favorables para la dispersión.

Figura 119: H_2S — Rosa de viento — Día 29 de septiembre 2024



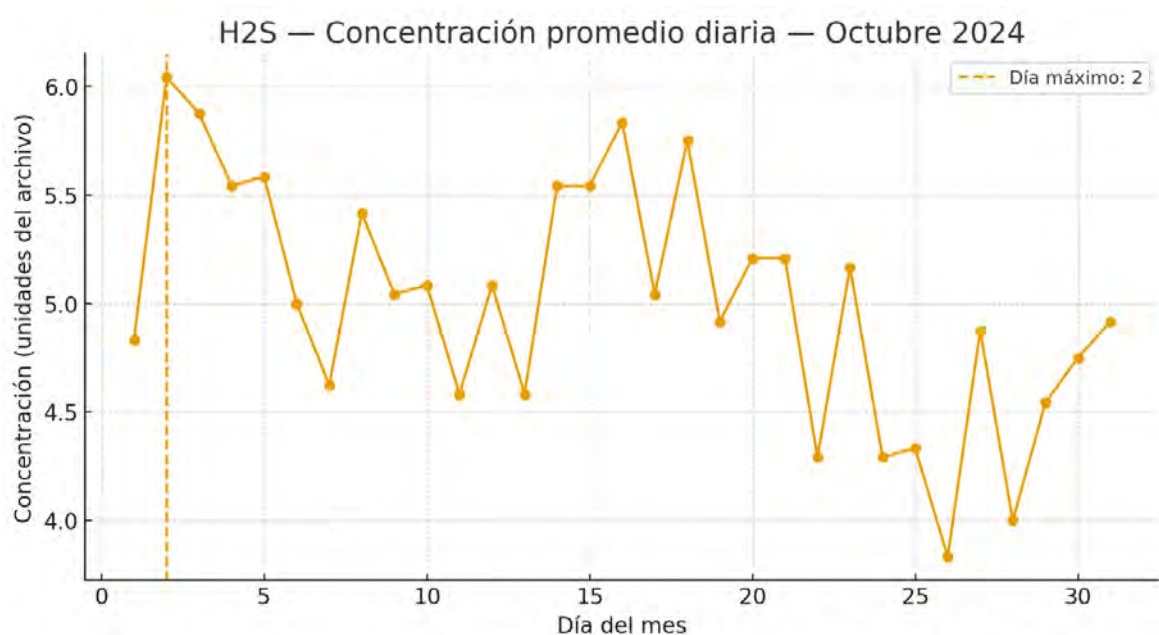
La rosa de viento correspondiente presenta predominio de flujos del sur (S) y noreste (NE) con velocidades moderadas de 2–4 m/s. Se observan componentes relevantes del oeste (W), lo que indica un patrón de circulación mixta. Los vientos con intensidades intermedias sugieren un evento de dispersión parcial, suficiente para atenuar, pero no eliminar el pico máximo de concentración.

Figura 120: Isoconcentraciones del mes de setiembre de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



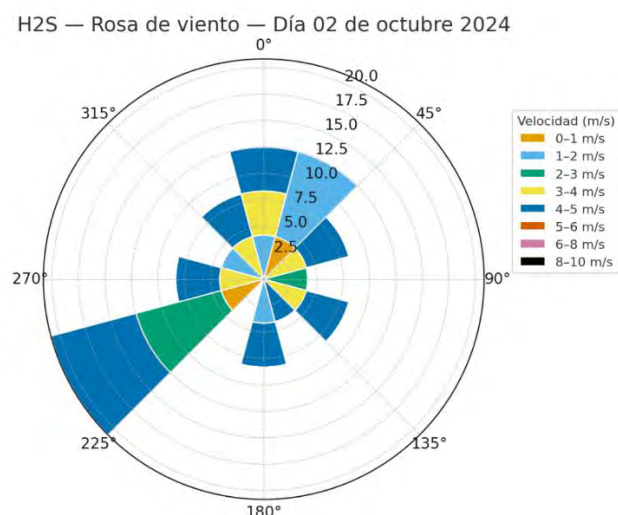
En la Figura se aprecian las isoconcentraciones del mes de setiembre de H_2S . Se mantiene un comportamiento similar al observado en los meses previos, con un núcleo central de alta concentración (alrededor de $120 \mu g/m^3$) que disminuye radialmente. La pluma de dispersión se orienta levemente hacia el sureste, lo que concuerda con la dirección predominante del viento en esa época del año.

Figura 121: H_2S — Concentración promedio diaria — Octubre 2024



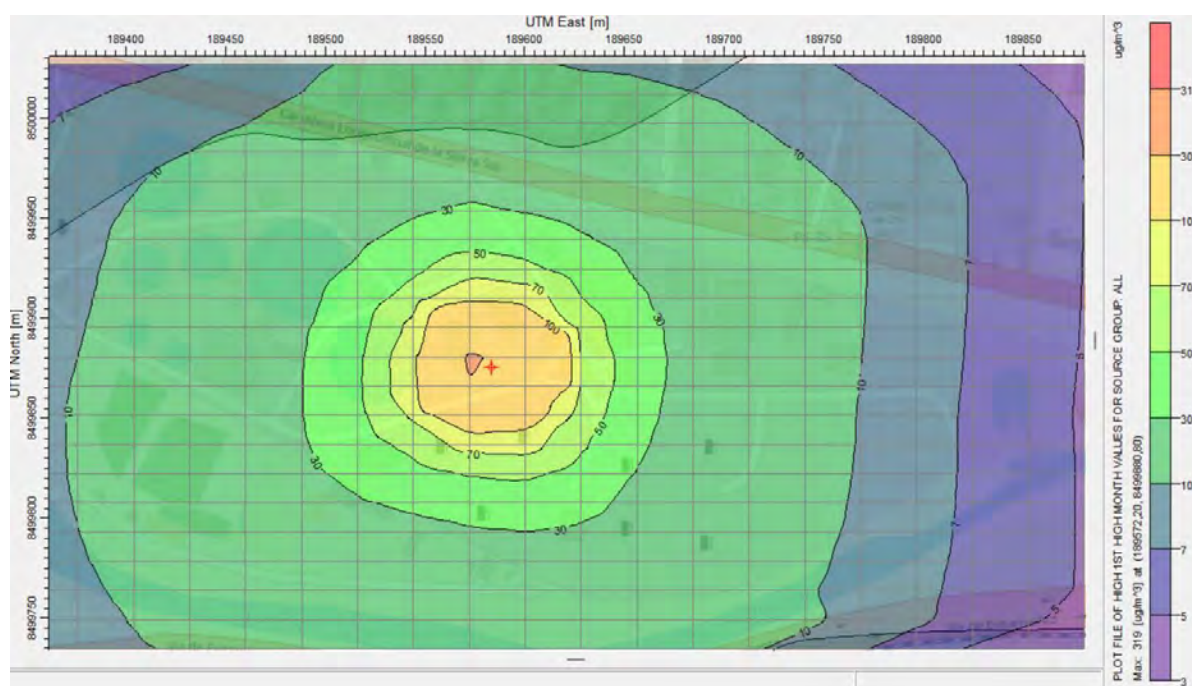
En octubre las concentraciones oscilan entre 3.9 y 6.1 unidades, con el máximo el día 2, al inicio del mes. Posteriormente, se mantiene una tendencia descendente con valores medios más bajos que en septiembre. Esto refleja una mejora en la ventilación general debido al inicio de condiciones más frías y turbulentas propias del cambio estacional.

Figura 122: H_2S — Rosa de viento — Día 02 de octubre 2024



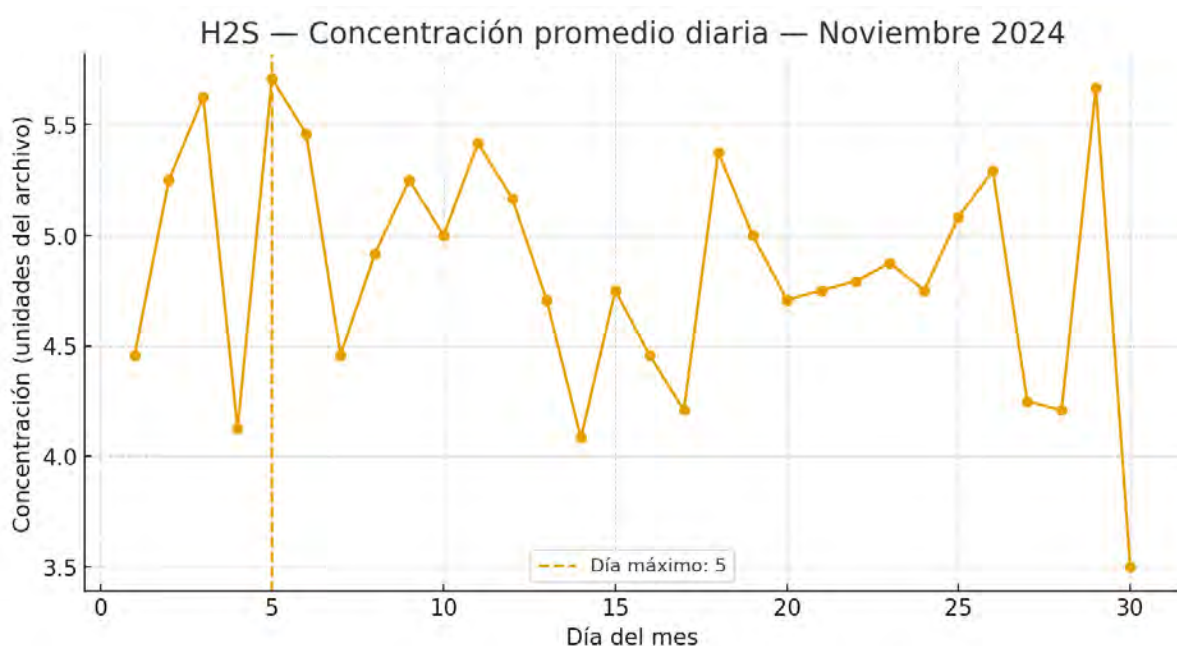
El día del máximo se caracteriza por vientos del suroeste (SW) y noroeste (NW) con velocidades predominantes de 2–5 m/s, además de un flujo secundario desde el noreste (NE). La distribución angular amplia indica buena dispersión atmosférica durante gran parte del día, por lo que el pico registrado probablemente se asoció a un evento local de emisión puntual más que a un fenómeno de acumulación regional.

Figura 123: Isoconcentraciones del mes de octubre de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD
8.9.0 2024



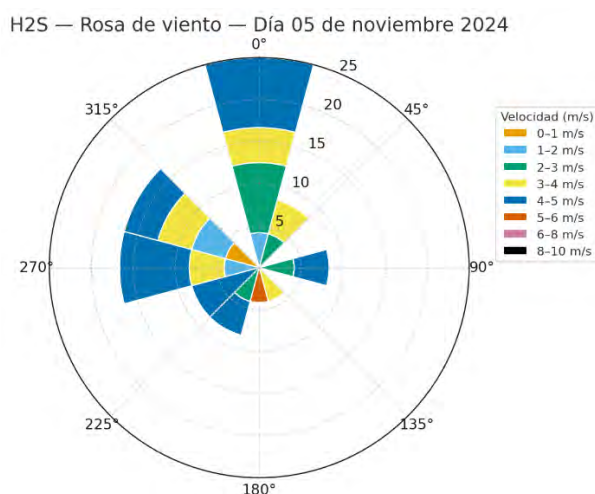
La Figura presenta las isoconcentraciones del mes de octubre de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Los resultados muestran una configuración anular donde el gradiente de concentración desciende desde el centro hacia el borde. El valor máximo registrado es de aproximadamente $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando un ligero incremento respecto a los meses anteriores, posiblemente asociado a condiciones meteorológicas menos favorables para la dispersión.

Figura 124: H_2S — Concentración promedio diaria — Noviembre 2024



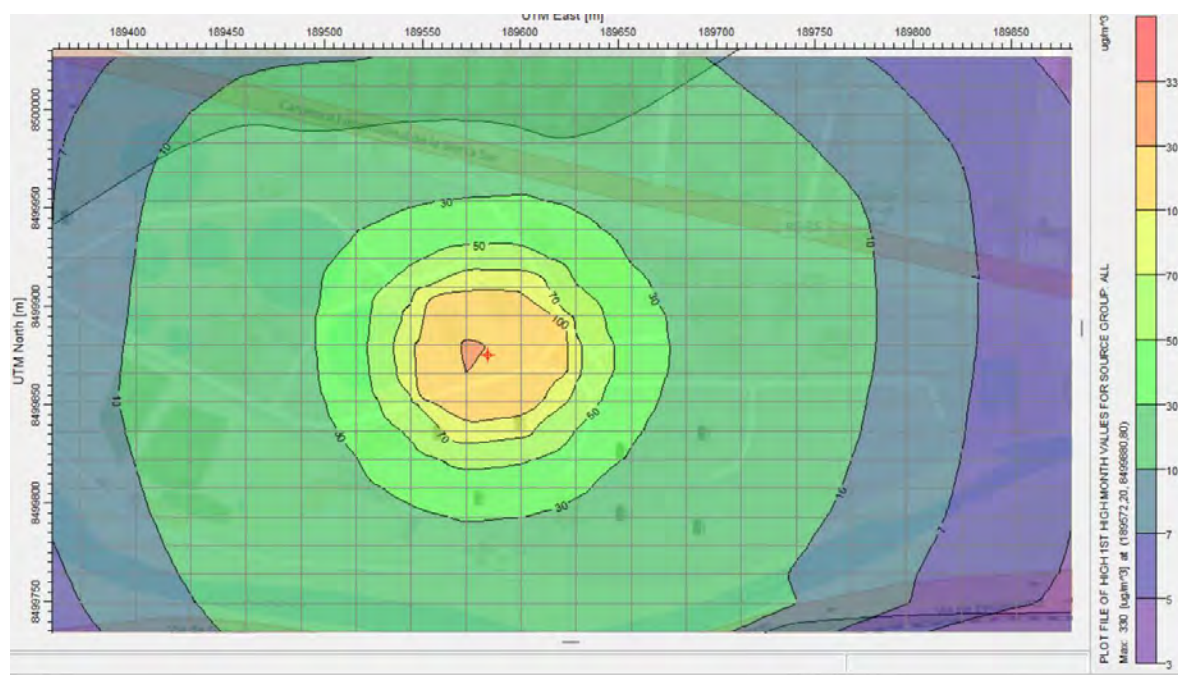
Durante noviembre se observa una ligera disminución general de las concentraciones promedio en comparación con los meses anteriores, con valores que oscilan entre 3.5 y 5.7 unidades. El máximo se registró el día 5, alcanzando 5.7 unidades. A lo largo del mes, las concentraciones muestran una variabilidad moderada con algunos picos aislados, lo que sugiere condiciones atmosféricas más dinámicas y con mayor dispersión. Este comportamiento coincide con la transición hacia un periodo de mayor estabilidad térmica, pero con incremento en la velocidad de los vientos y menor persistencia de contaminantes.

Figura 125: H_2S — Rosa de viento — Día 05 de noviembre 2024



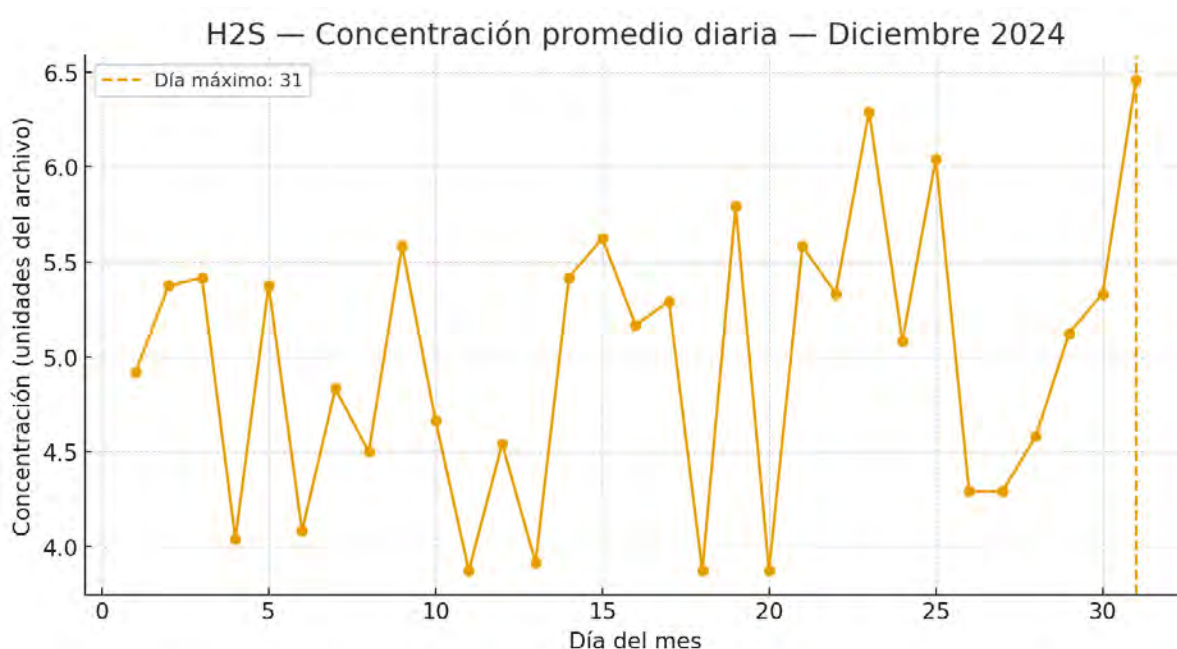
El patrón de viento del día de máxima concentración muestra predominio de flujos del norte (N) y oeste (W), con velocidades entre 2 y 5 m/s. Se aprecia una distribución amplia en el cuadrante norte y occidental, indicando buena dispersión horizontal. Sin embargo, las velocidades relativamente bajas (1–3 m/s) durante algunas horas del día podrían haber favorecido la acumulación temporal del H_2S , generando el pico máximo. El aporte del oeste sugiere posible influencia de fuentes emisoras localizadas en esa dirección.

Figura 126: Isoconcentraciones del mes de noviembre de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



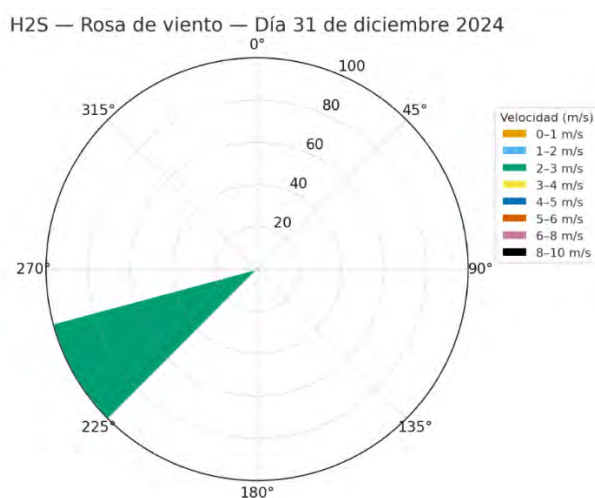
En la Figura se muestran las isoconcentraciones del mes de noviembre de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa un patrón estable y simétrico, con un núcleo de mayor concentración cercano a la fuente. Los valores máximos alcanzan alrededor de $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la extensión espacial de las concentraciones intermedias es moderada, indicando una dispersión relativamente controlada.

Figura 127: H_2S — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024



En diciembre, las concentraciones muestran una alta variabilidad intra-mensual, con valores entre 4.0 y 6.4 unidades y un máximo el día 31. Este comportamiento indica una menor estabilidad en el patrón de dispersión, probablemente asociada a condiciones invernales de baja mezcla vertical. A diferencia de meses anteriores, las concentraciones tienden a incrementarse hacia el final del mes, lo que sugiere la persistencia de condiciones meteorológicas desfavorables para la dispersión del contaminante.

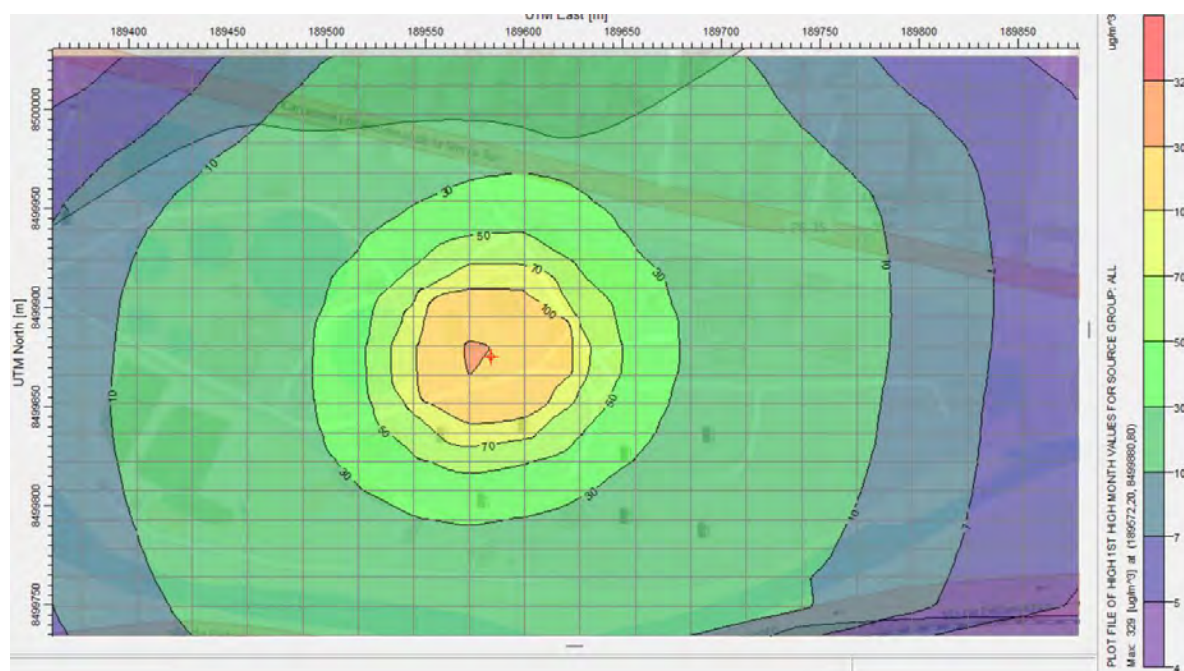
Figura 128: H_2S — Rosa de viento — Día 31 de diciembre 2024



Durante el día de máxima concentración se registra un patrón de viento muy definido con dirección predominante del suroeste (SW) y velocidad en torno a 3–4 m/s. El hecho de que prácticamente la totalidad del registro provenga de un solo sector indica baja variabilidad direccional del viento, situación que puede limitar la dispersión horizontal. Esto explica la acumulación del contaminante durante el día 31, coincidiendo con las condiciones típicas de invierno: atmósfera estable, escasa turbulencia y capa de mezcla reducida.

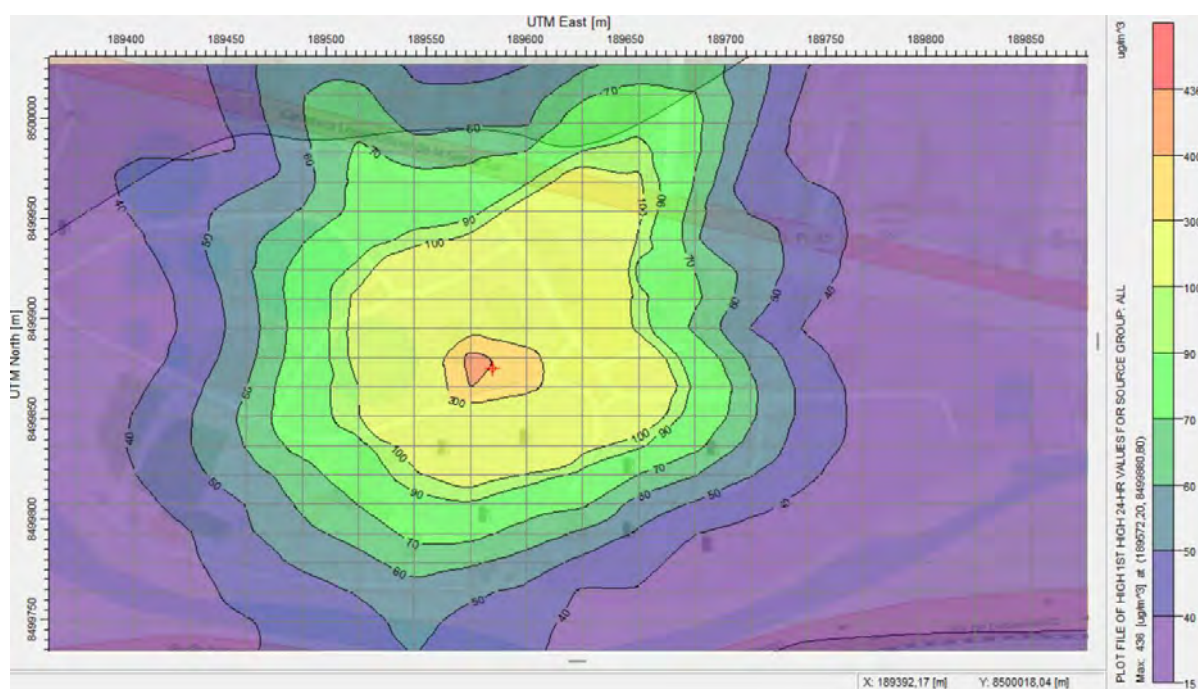
Figura 129: Isoconcentraciones del mes de diciembre de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



La Figura representa las isoconcentraciones del mes de diciembre de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). El centro de mayor concentración se mantiene sobre la fuente emisora, con valores máximos en el orden de $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones disminuyen de manera uniforme hacia los bordes, mostrando una dispersión casi circular, asociada a condiciones atmosféricas de baja turbulencia.

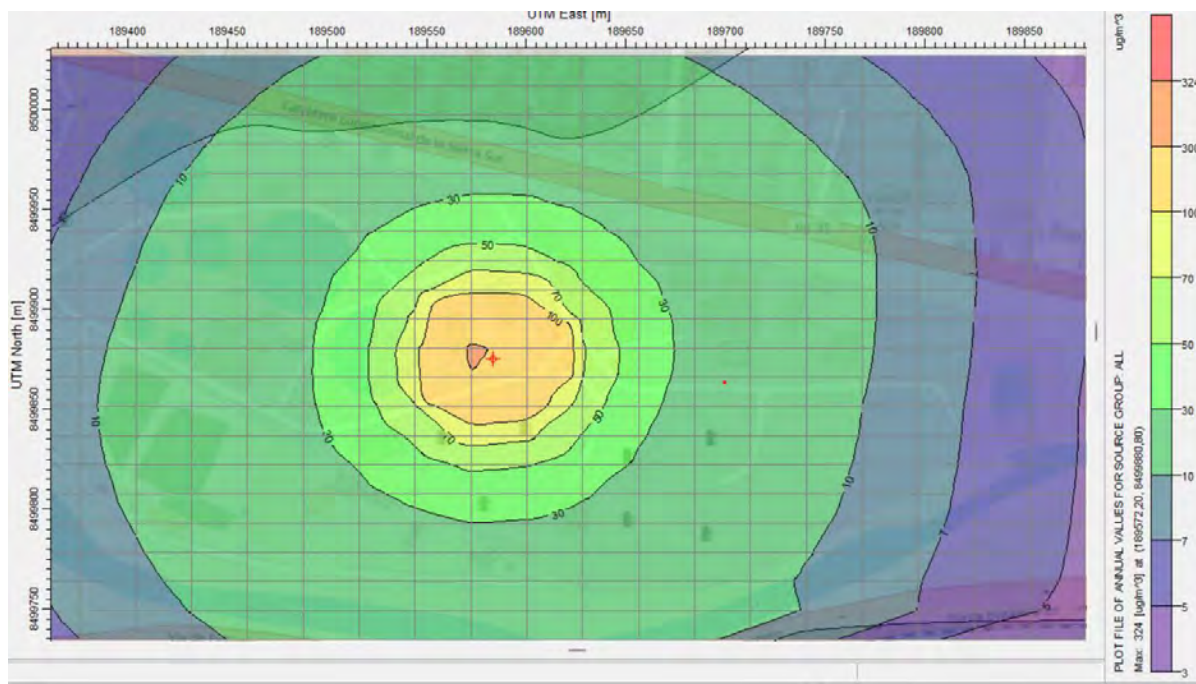
Figura 130: *Dispersión modelada 24 horas del H_2S – Concentración horaria máxima ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*



La Figura muestra la dispersión modelada para las 24 horas de mayor concentración horaria de H_2S . En este escenario, se aprecia una concentración máxima cercana a $436 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando picos horarios superiores a los promedios mensuales y un mayor grado de dispersión radial, especialmente hacia el noreste del área de estudio. El gradiente de concentración se extiende de manera más amplia, lo que sugiere que, en determinadas horas del día, la estabilidad atmosférica y las condiciones de mezcla vertical pueden favorecer la acumulación de este contaminante. Estos resultados resaltan la necesidad de establecer estrategias de monitoreo continuo y reforzar los sistemas de control de emisiones en las

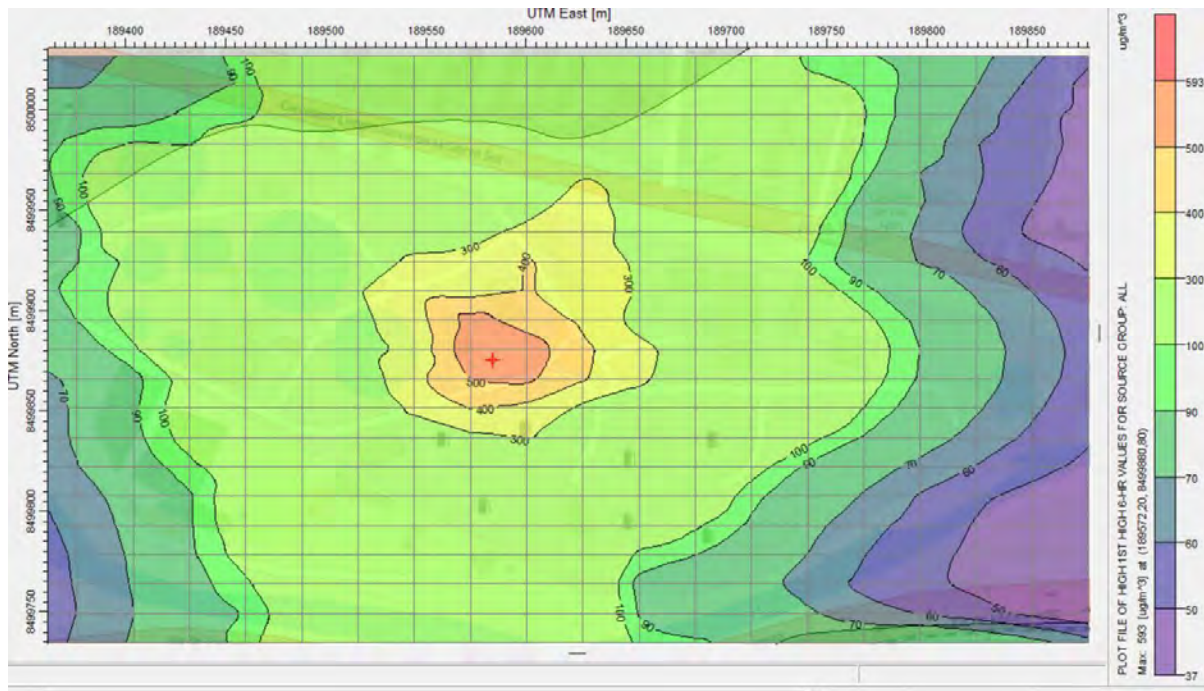
unidades críticas de la PTAR, dado el potencial riesgo para la salud y la calidad del aire en áreas adyacentes.

Figura 131: Isoconcentración anual de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



En la Figura se muestran las isoconcentraciones anuales de H_2S ($\mu g/m^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. Se evidencia una distribución radial con máximos valores en el centro de emisión (alrededor de $320 \mu g/m^3$) y disminuciones graduales hacia el exterior. Este comportamiento refleja la tendencia anual promedio, en la que las condiciones meteorológicas producen una dispersión relativamente uniforme del contaminante en el entorno inmediato.

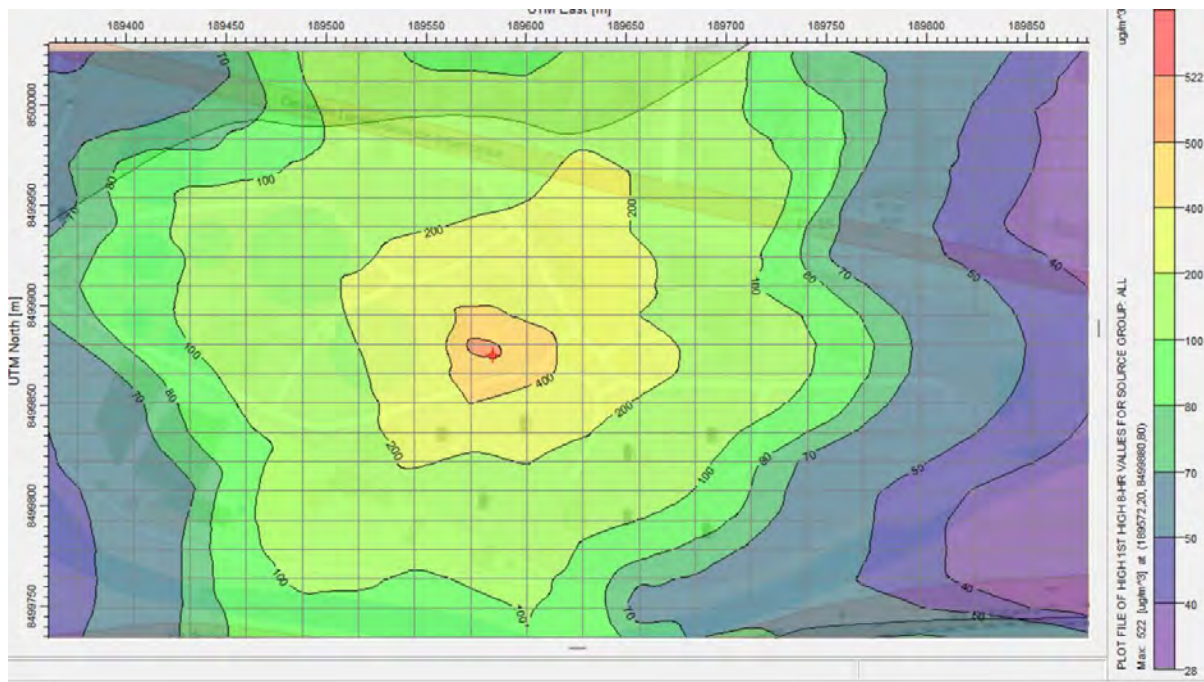
Figura 132: Isoconcentración cada 6 horas más altas de de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



Nota: Elaboración propia

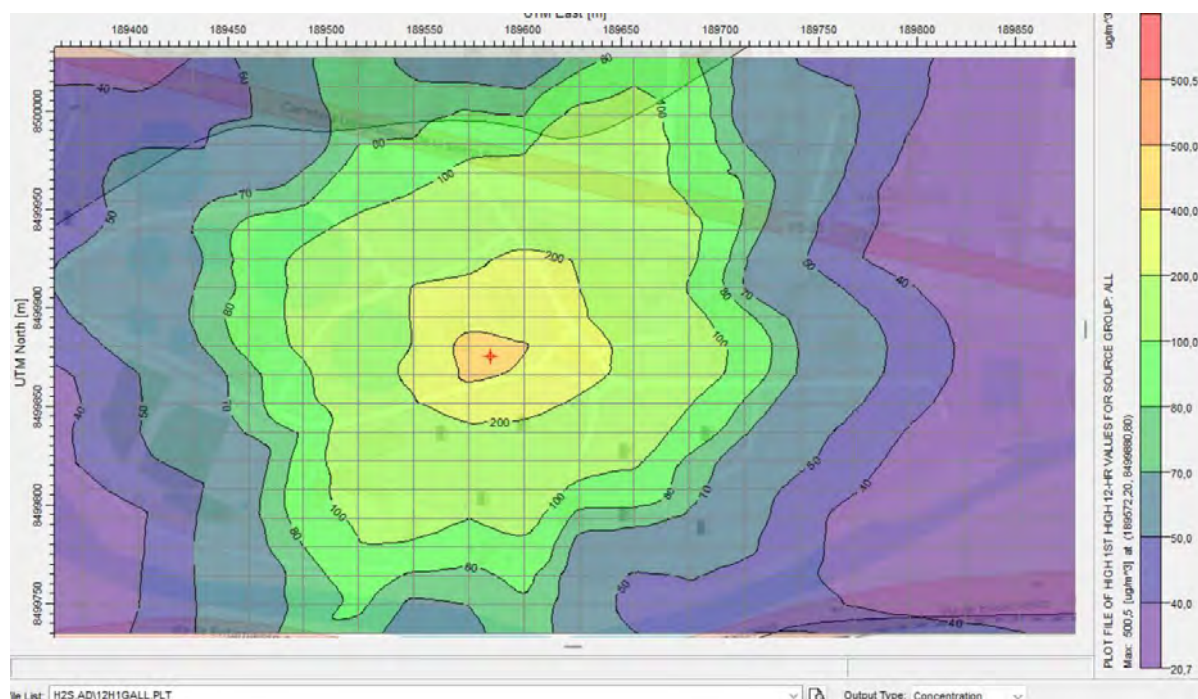
La Figura muestra las isoconcentraciones correspondientes a las 6 horas más altas de H_2S ($\mu g/m^3$). Los resultados indican picos máximos superiores a 590 $\mu g/m^3$ en el centro de la pluma, reflejando episodios puntuales de acumulación de contaminantes durante lapsos de estabilidad atmosférica. La distribución evidencia una expansión mayor hacia el norte y noreste.

Figura 133: Isoconcentración cada 12 horas más altas de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



En la Figura se representan las isoconcentraciones correspondientes a las 12 horas más altas de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). El patrón de concentración muestra una zona central intensa, con valores que alcanzan los 520 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un gradiente descendente hacia los bordes. La forma alargada de las curvas sugiere una dispersión influenciada por vientos persistentes del suroeste.

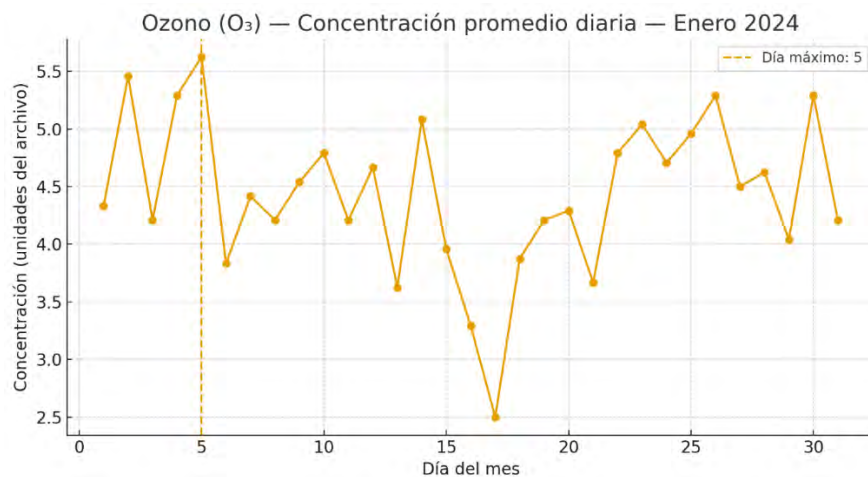
Figura 134: Isoconcentración cada 18 horas más altas de H_2S ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



La Figura presenta las isoconcentraciones correspondientes a las 18 horas más altas de H_2S ($\mu g/m^3$). Se observa un núcleo central con valores superiores a $500 \mu g/m^3$, rodeado por anillos concéntricos que evidencian la disminución gradual de las concentraciones. El patrón indica una dispersión extendida hacia el oeste, lo cual puede asociarse a un cambio temporal en la dirección de los vientos predominantes.

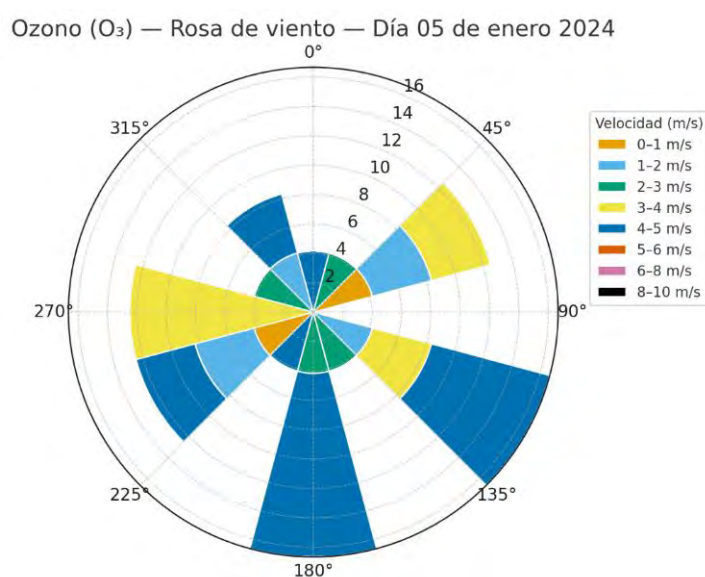
4.1.4 Dispersión de Ozono (O_3) en el aire.

Figura 135: O_3 — Concentración promedio diaria — enero 2024



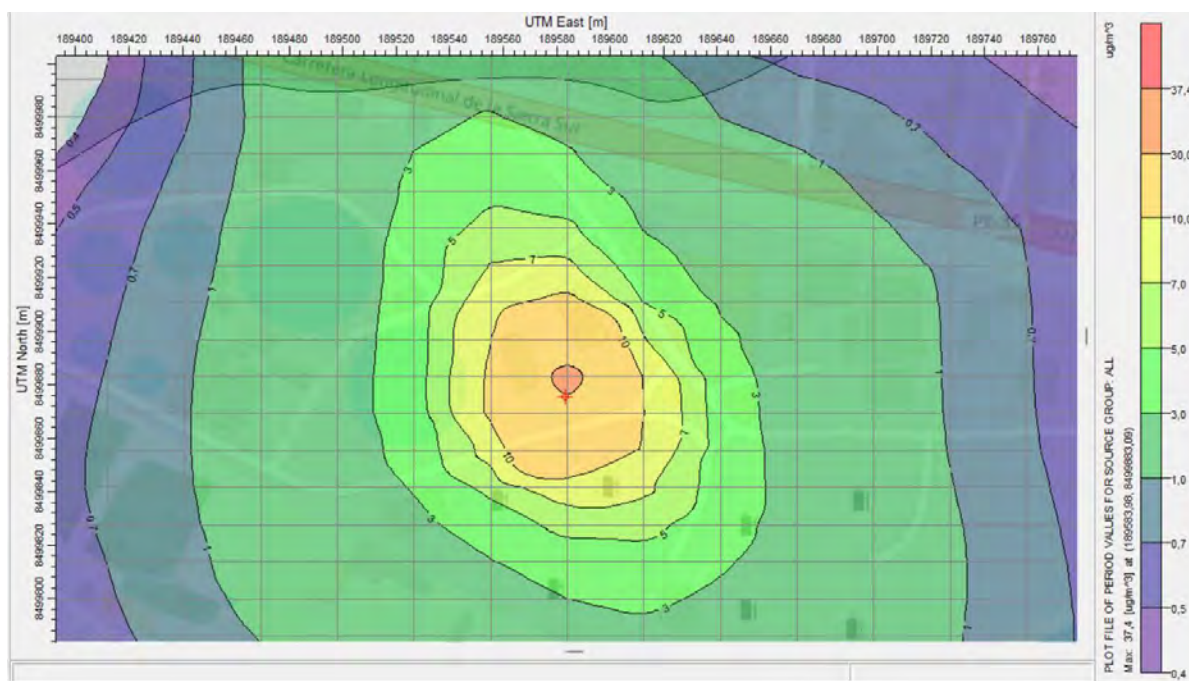
Durante enero se observa un comportamiento oscilante en las concentraciones promedio de ozono, con valores entre 2.5 y 5.6 unidades, alcanzando el máximo el día 5. La variabilidad responde a condiciones atmosféricas inestables propias del invierno, donde los episodios de radiación solar son intermitentes y las temperaturas bajas reducen la tasa de formación fotoquímica de O_3 . Los picos de concentración se asocian con días despejados y menor turbulencia atmosférica.

Figura 136: O_3 — Rosa de viento — Día 05 de enero 2024



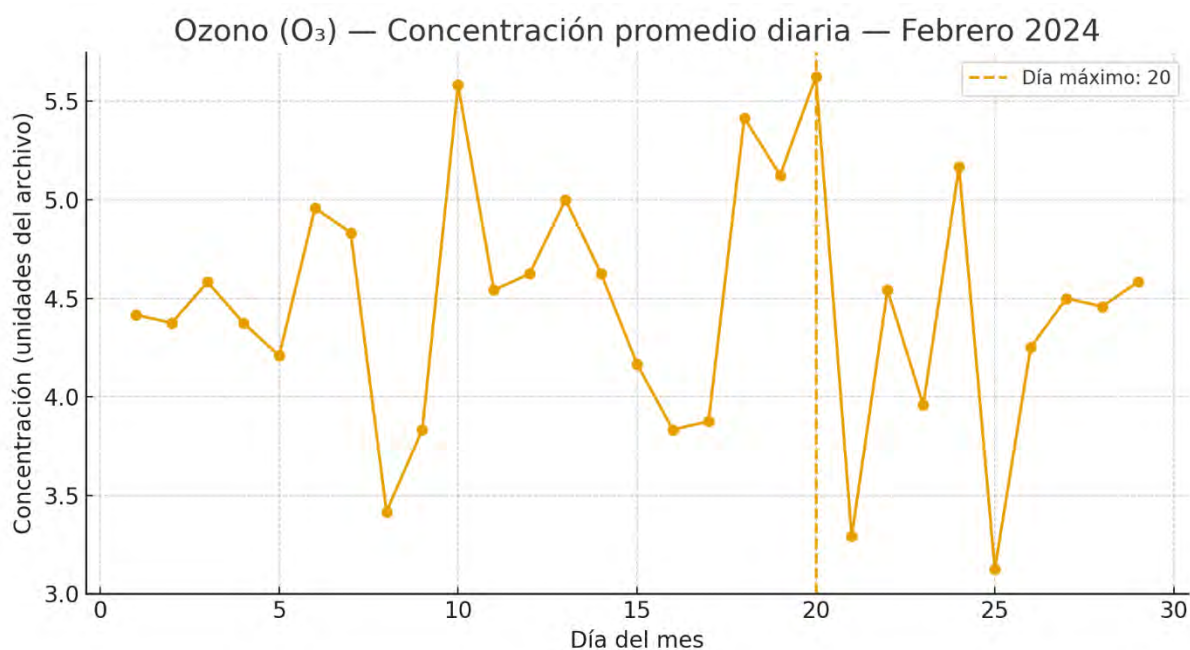
El análisis de la rosa de viento para el día de máxima concentración muestra predominio de vientos del sureste (SE) y suroeste (SW), con velocidades moderadas entre 3 y 5 m/s. Este patrón sugiere la posible influencia de fuentes precursoras en los cuadrantes del sur y suroeste, así como una moderada capacidad de dispersión. La ausencia de calmas prolongadas indica que la concentración observada se debe principalmente a la formación fotoquímica y no a acumulación por estancamiento.

Figura137: Isoconcentraciones del mes de enero de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



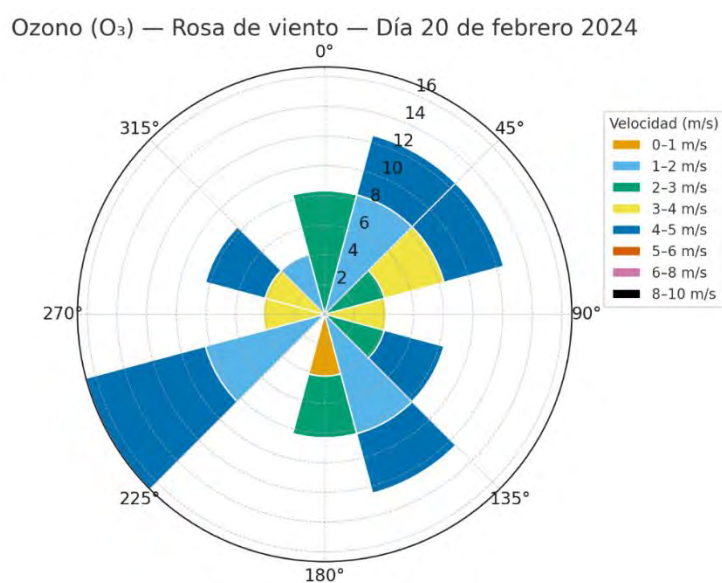
En la Figura se muestran las isoconcentraciones del mes de enero de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. Las concentraciones más elevadas se localizan en el centro de la zona de estudio, con un valor máximo aproximado de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, disminuyendo gradualmente hacia los bordes del dominio. La dispersión presenta un patrón circular uniforme, lo que refleja condiciones atmosféricas estables y una adecuada difusión del contaminante.

Figura 138: O_3 — Concentración promedio diaria — Febrero 2024



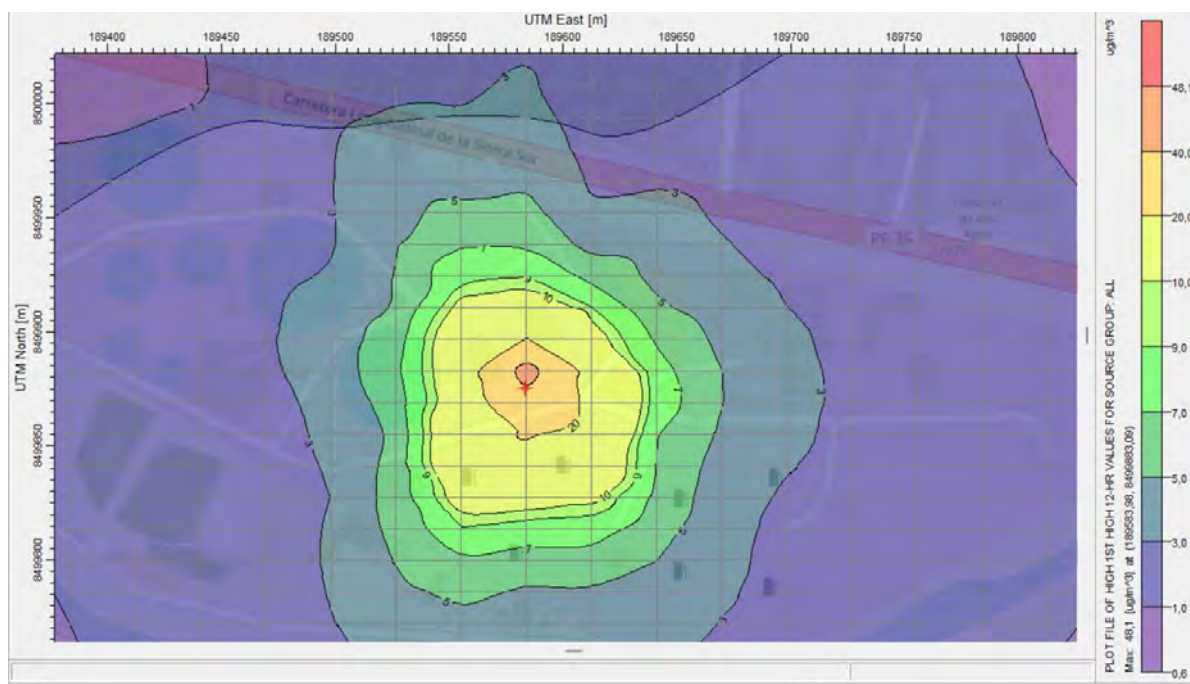
En febrero, las concentraciones se mantienen en un rango similar, con valores entre 3.2 y 5.6 unidades, alcanzando el máximo el día 20. Se observa un patrón de variabilidad más marcada en la segunda mitad del mes, probablemente relacionada con cambios de masa de aire y mayor estabilidad atmosférica. El incremento de radiación solar respecto a enero favorece la formación secundaria de ozono.

Figura 139: O_3 — Rosa de viento — Día 20 de febrero 2024



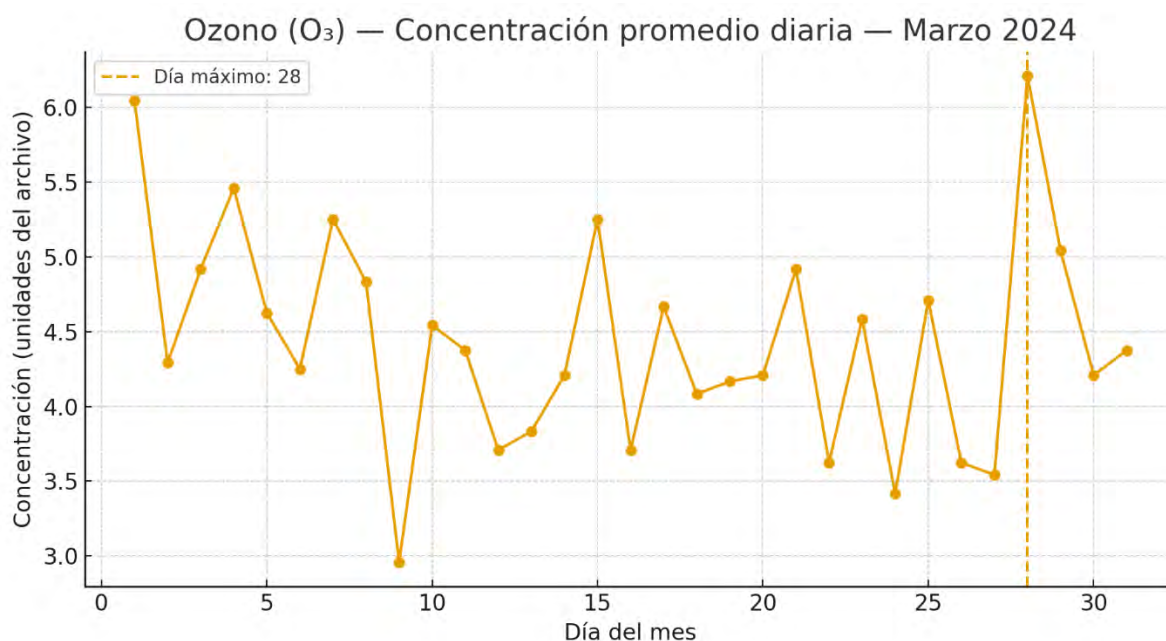
El viento dominante provino del sur (S) y este (E), con velocidades entre 2 y 5 m/s, destacando también aportes del suroeste (SW). Este régimen de viento permitió una mezcla moderada, pero con lapsos de calma en torno a 1 m/s que pudieron favorecer la acumulación local del contaminante. Las direcciones predominantes coinciden con zonas potencialmente emisoras de precursores de ozono.

Figura 140: Isoconcentraciones del mes de febrero de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



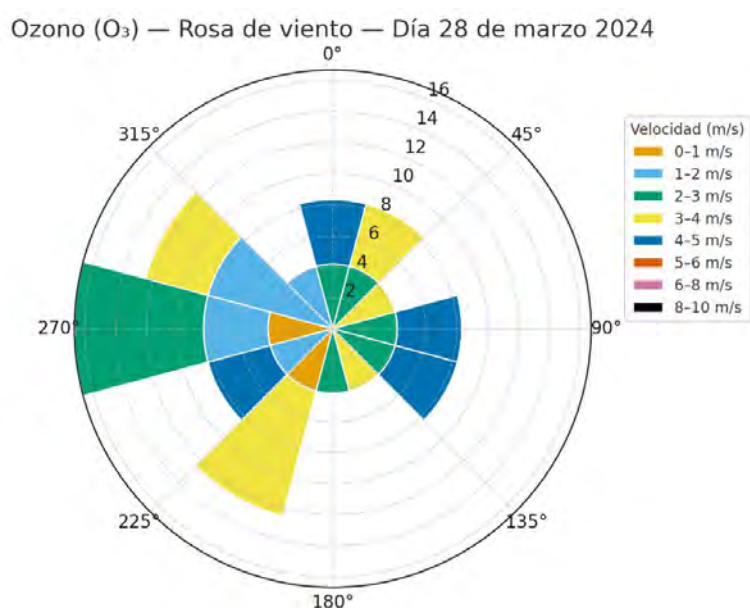
La Figura corresponde a las isoconcentraciones del mes de febrero, donde se observa una distribución ligeramente asimétrica, con una elongación de la pluma hacia el noreste. El valor máximo de concentración alcanza cerca de $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando un incremento respecto al mes anterior. Las isolíneas mantienen una disposición concéntrica en torno a la fuente, indicando un control adecuado del gradiente de concentración.

Figura 141: O_3 — Concentración promedio diaria — Marzo 2024



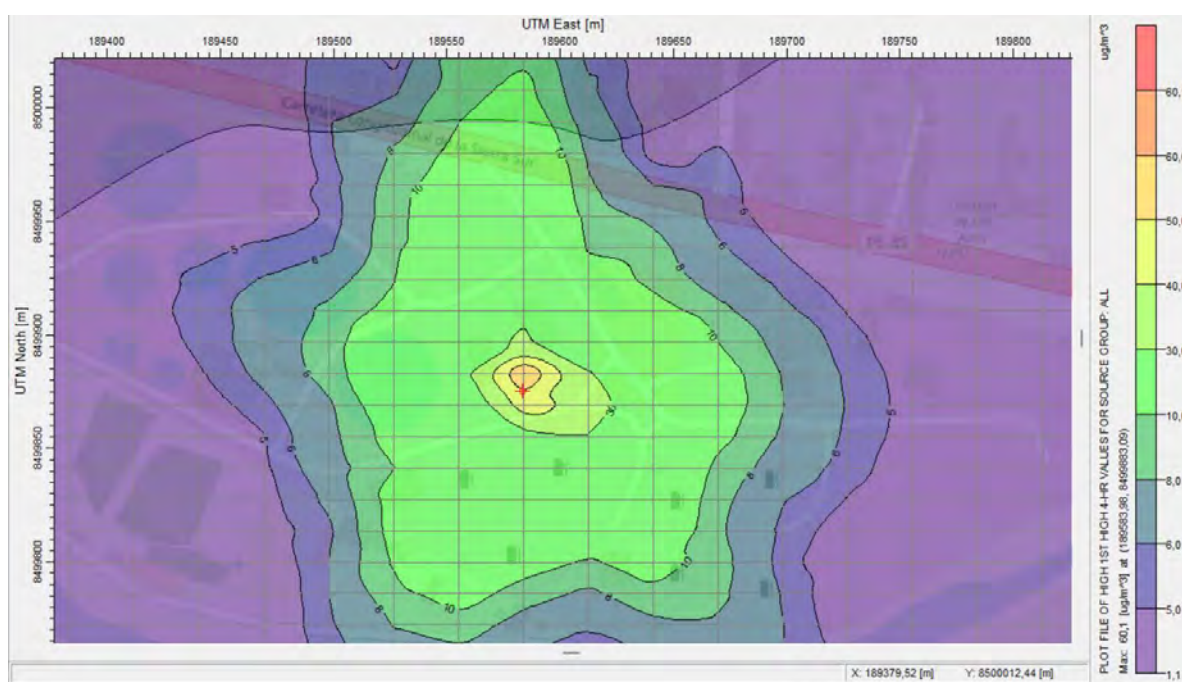
Durante marzo se registra una concentración máxima de 6.1 unidades el día 28, siendo el valor más alto del primer trimestre. El aumento está relacionado con un incremento de la radiación solar y temperaturas más elevadas, lo que intensifica los procesos fotoquímicos. Las concentraciones más bajas del mes se asocian con episodios de nubosidad o lluvias aisladas.

Figura 142: O_3 — Rosa de viento — Día 28 de marzo 2024



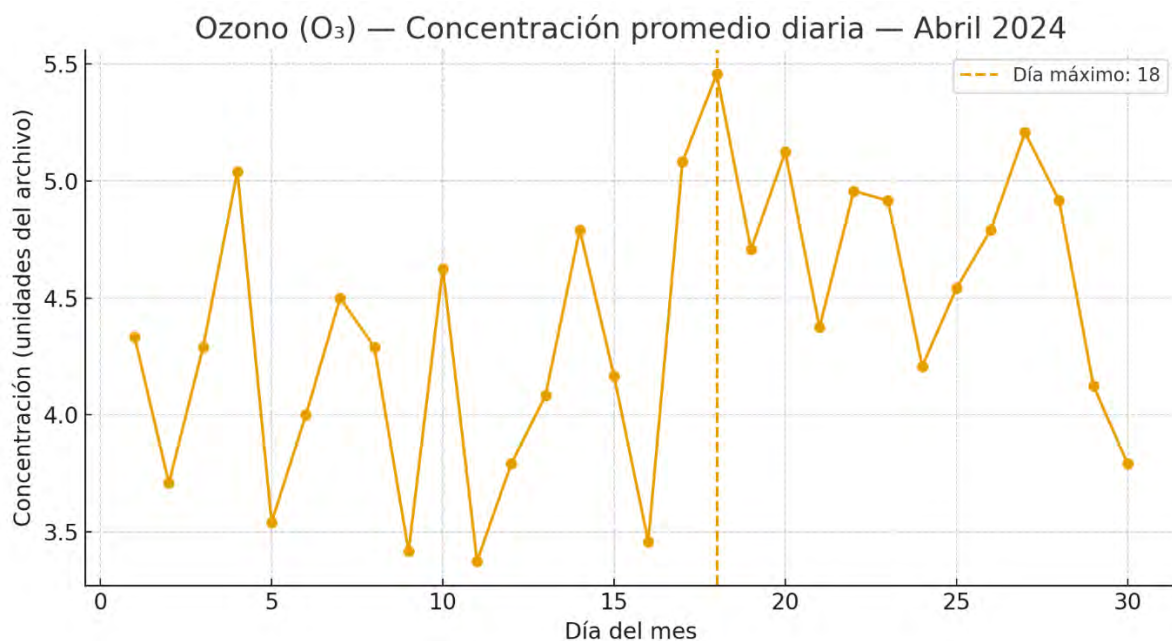
El patrón de viento indica direcciones predominantes del oeste (W) y suroeste (SW), con velocidades entre 2 y 5 m/s. Estas condiciones favorecen la dispersión moderada del ozono, pero el predominio de un flujo constante del mismo sector contribuye a la persistencia de las concentraciones elevadas observadas ese día. No se registran velocidades superiores a 6 m/s, lo que indica estabilidad atmosférica.

Figura 143: Isoconcentraciones del mes de marzo de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



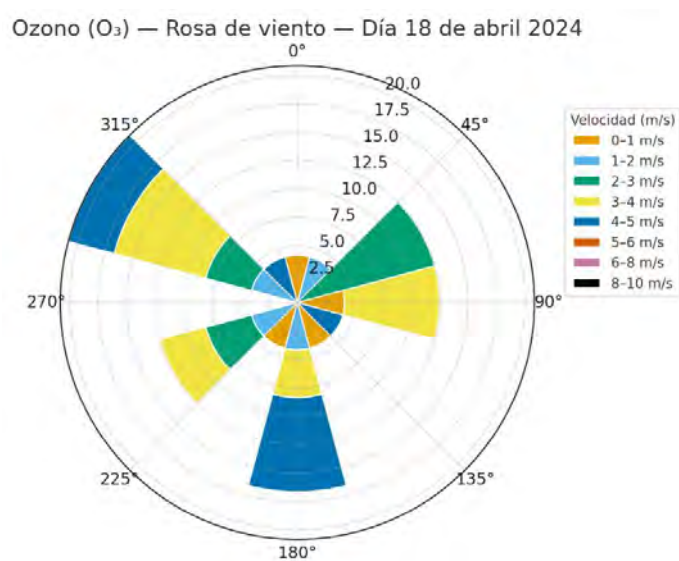
En la Figura se presentan las isoconcentraciones del mes de marzo de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se aprecia una estructura alargada en dirección norte, con un núcleo de máxima concentración en torno a $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La forma de la pluma sugiere la influencia de vientos predominantes que favorecen la dispersión longitudinal del contaminante, reduciendo su concentración lateralmente.

Figura 144: O_3 — Concentración promedio diaria — Abril 2024



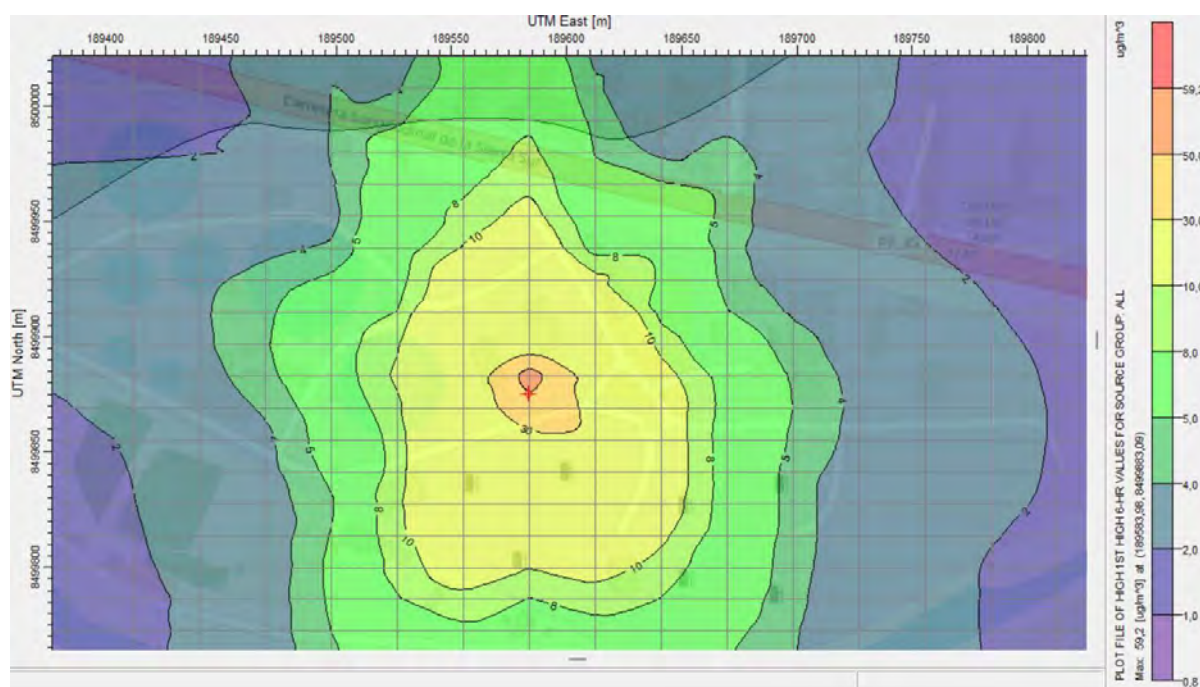
En abril se mantiene una tendencia estable, con valores entre 3.4 y 5.5 unidades, alcanzando el máximo el día 18. El comportamiento es característico del inicio de la temporada cálida, donde se incrementa la radiación ultravioleta y, con ello, la formación de ozono troposférico. Se observan fluctuaciones diarias que reflejan cambios locales en temperatura y mezcla vertical.

Figura 145: O_3 — Rosa de viento — Día 18 de abril 2024



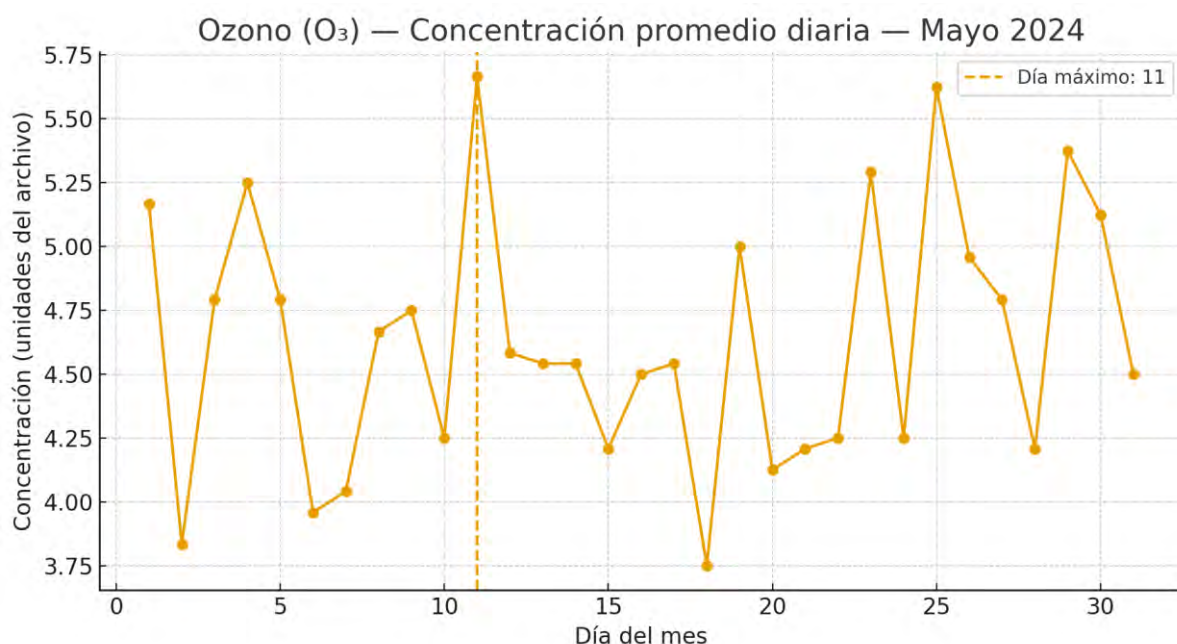
Los vientos predominantes provienen del este (E) y noroeste (NW), con velocidades entre 3 y 5 m/s. El patrón muestra una buena dispersión horizontal, sin indicios de acumulación local. Sin embargo, las corrientes del este pueden transportar precursores desde zonas industriales cercanas, contribuyendo al pico observado.

Figura 146: Isoconcentraciones del mes de abril de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



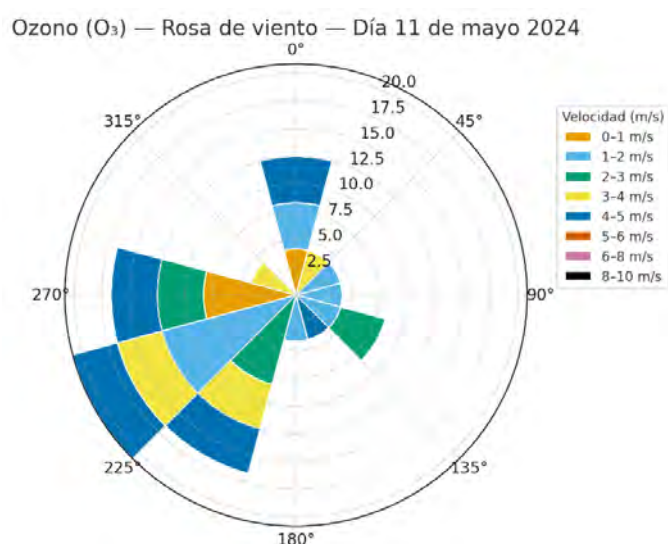
La Figura muestra las isoconcentraciones correspondientes al mes de abril, donde las concentraciones máximas se sitúan en aproximadamente $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El patrón de dispersión mantiene una orientación hacia el norte, con un contorno suavizado y un gradiente menos abrupto. Este comportamiento sugiere una mayor mezcla vertical de la masa de aire y condiciones de dispersión más eficientes.

Figura 147: O_3 — Concentración promedio diaria — Mayo 2024



Durante mayo se observan valores entre 3.8 y 5.7 unidades, con el máximo el día 11. Las concentraciones tienden a ser ligeramente superiores a las de abril, debido al aumento sostenido de radiación solar y temperatura. No obstante, la presencia de vientos más intensos reduce la persistencia de valores elevados durante varios días consecutivos.

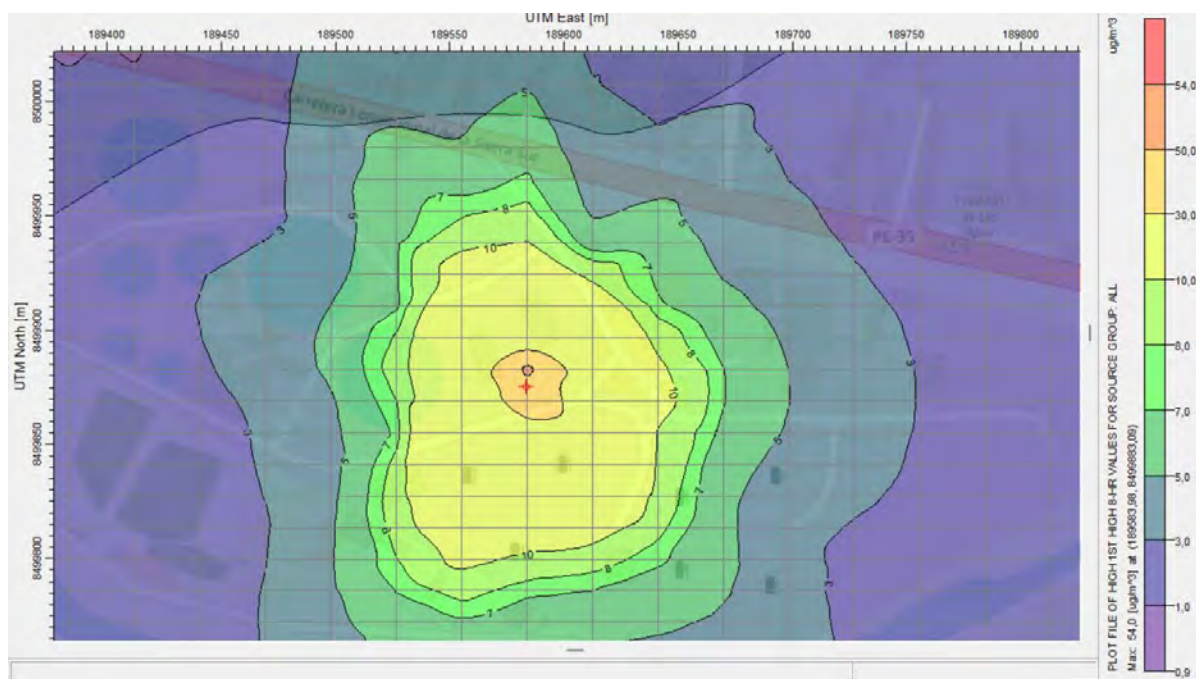
Figura 148: O_3 — Rosa de viento — Día 11 de mayo 2024



El viento dominante provino del suroeste (SW) y oeste (W), con velocidades de 3 a 5 m/s, lo cual favoreció la dispersión del ozono. El patrón circular indica variabilidad direccional

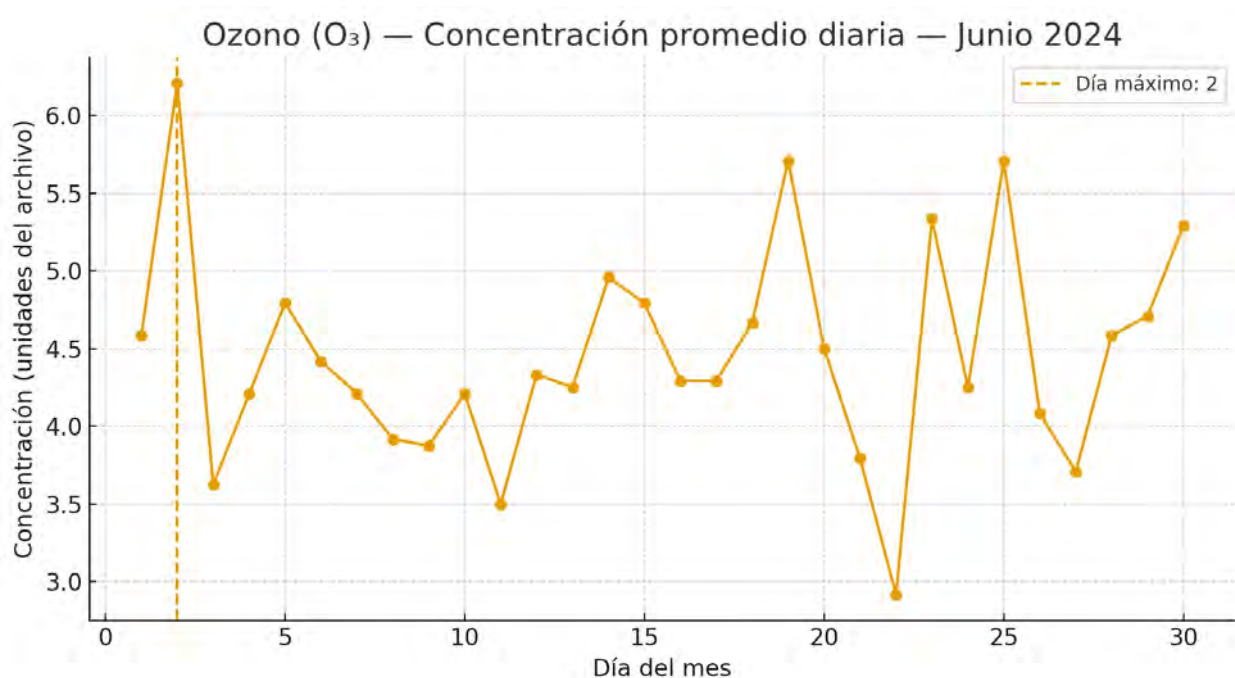
moderada y ausencia de condiciones de calma, confirmando que la concentración máxima observada se asocia con procesos fotoquímicos más que con acumulación.

Figura 149: Isoconcentraciones del mes de mayo de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



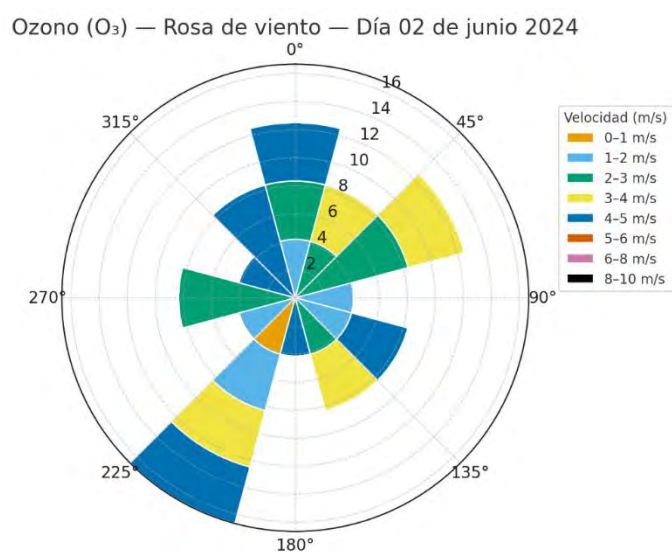
En la Figura se presentan las isoconcentraciones del mes de mayo, con un valor máximo registrado de 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución es más regular y compacta, centrada sobre la fuente emisora, lo que denota condiciones atmosféricas de estabilidad moderada y un régimen de viento con menor capacidad de transporte horizontal. La disminución de la concentración máxima respecto a los meses previos sugiere una mejora en la ventilación del área.

Figura 150: O_3 — Concentración promedio diaria — Junio 2024



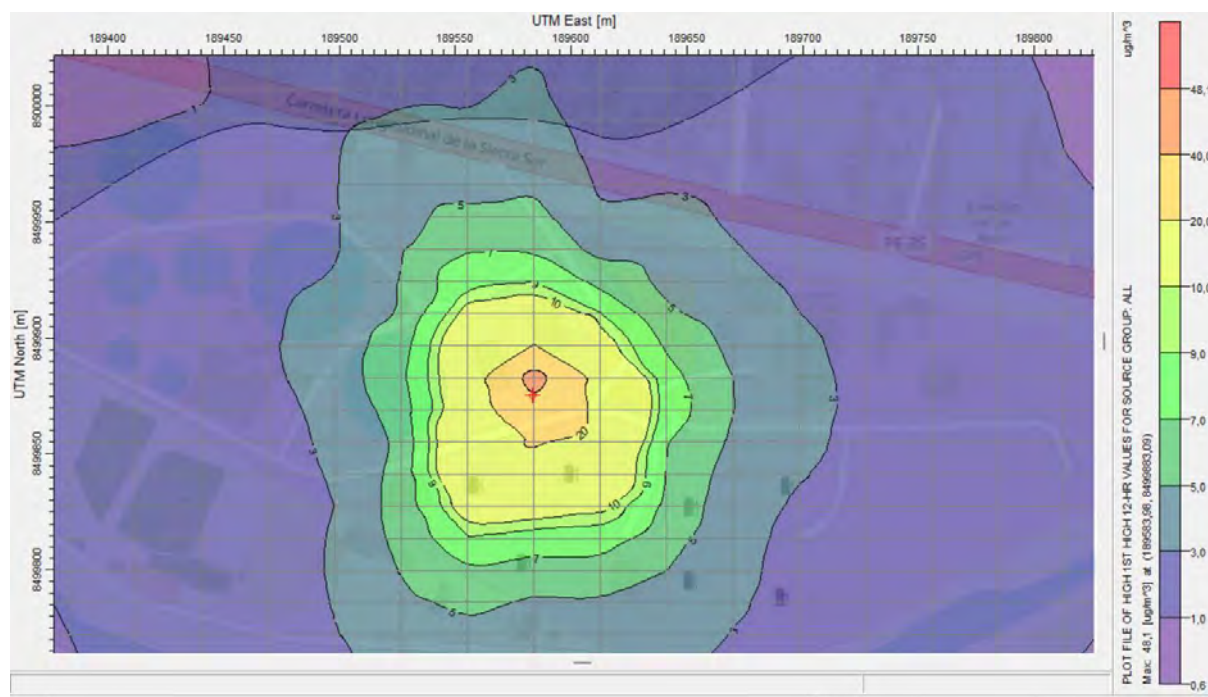
Durante junio, las concentraciones promedio diarias oscilaron entre 3.0 y 6.0 unidades, registrándose el máximo el día 2. Este incremento temprano del mes coincide con condiciones atmosféricas secas y alta radiación solar, propias del inicio del verano. Posteriormente, los valores se estabilizan con ligeras fluctuaciones, lo que sugiere un equilibrio entre la formación fotoquímica y los procesos de dispersión por vientos moderados.

Figura 151: O_3 — Rosa de viento — Día 02 de junio 2024



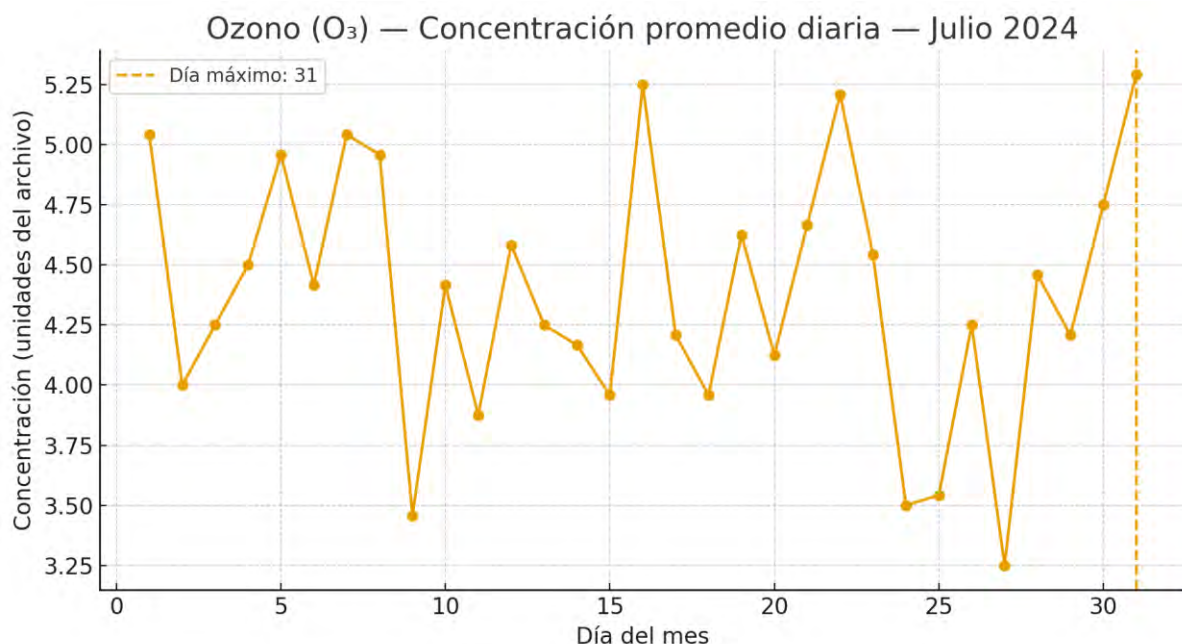
La rosa de viento muestra predominio de direcciones sur (S) y suroeste (SW) con velocidades entre 2 y 5 m/s. Este patrón favorece la ventilación moderada y evita acumulaciones prolongadas. Las corrientes del suroeste podrían transportar precursores fotoquímicos, contribuyendo a la formación de ozono observada durante el pico del mes.

Figura 152: Isoconcentraciones del mes de junio de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



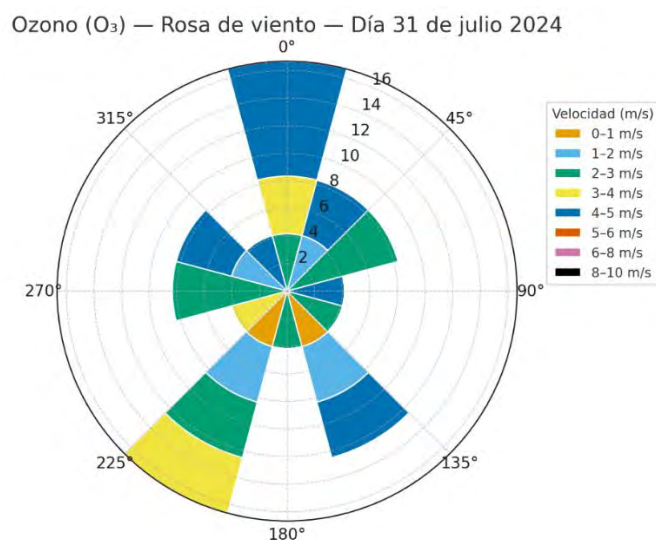
En la Figura se presentan las isoconcentraciones del mes de junio de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. Las concentraciones más elevadas se localizan en el entorno inmediato de la fuente emisora, alcanzando valores cercanos a $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un gradiente decreciente hacia los márgenes del dominio. El patrón concéntrico sugiere un régimen de dispersión uniforme, con predominio de condiciones atmosféricas estables y vientos suaves.

Figura 153: O_3 — Concentración promedio diaria — Julio 2024



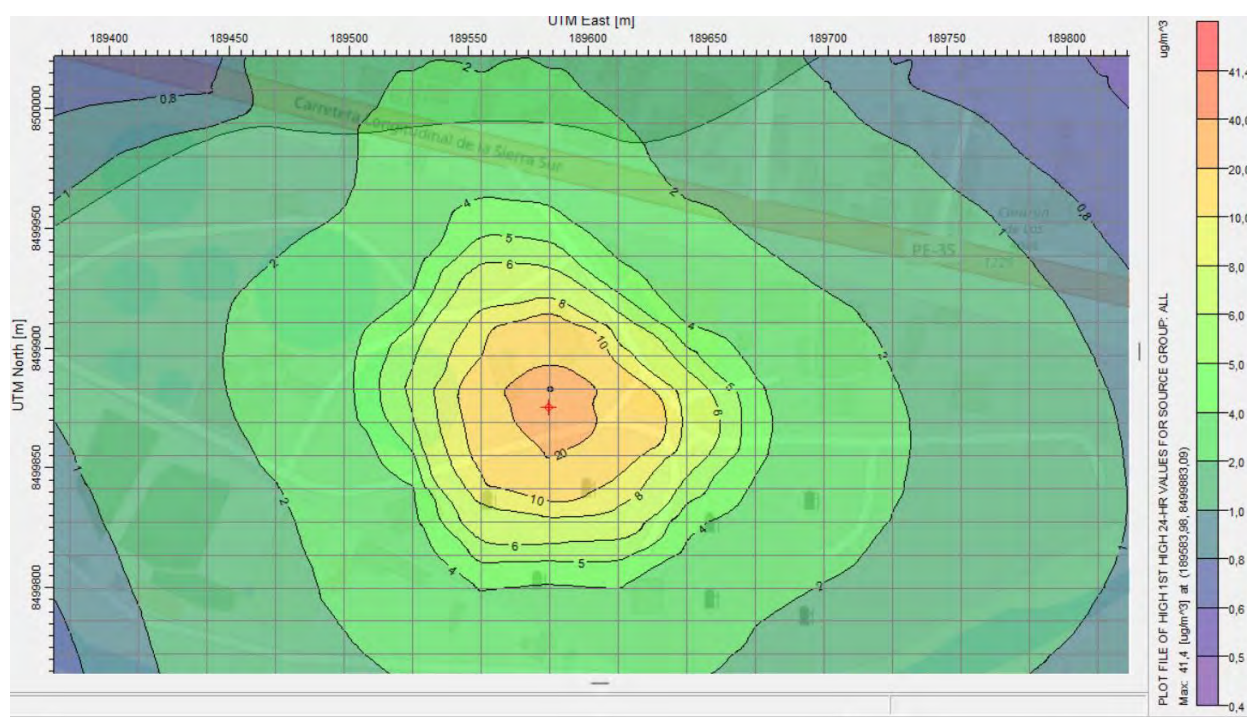
En julio se mantiene un comportamiento irregular, con concentraciones entre 3.3 y 5.3 unidades, alcanzando el máximo el día 31. Este incremento a fin de mes está asociado con días despejados, altas temperaturas y estabilidad atmosférica, condiciones que incrementan las reacciones fotoquímicas que generan ozono troposférico. La variabilidad interdiaria refleja también episodios de nubosidad y cambios de masa de aire.

Figura 154: O_3 — Rosa de viento — Día 31 de julio 2024



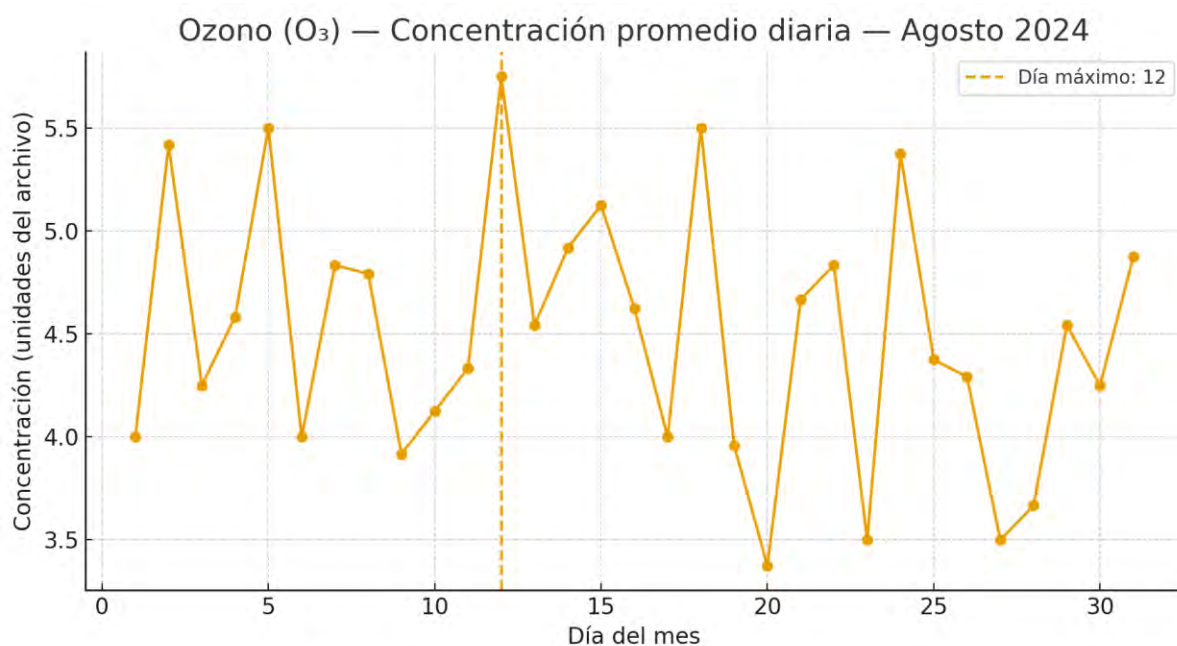
El viento dominante provino de los cuadrantes norte (N) y suroeste (SW), con velocidades moderadas entre 2 y 5 m/s. Este régimen permitió cierta dispersión, aunque el flujo constante del norte y suroeste sugiere aporte continuo de precursores desde áreas urbanas o industriales, explicando las concentraciones elevadas observadas.

Figura 155: Isoconcentraciones del mes de julio de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



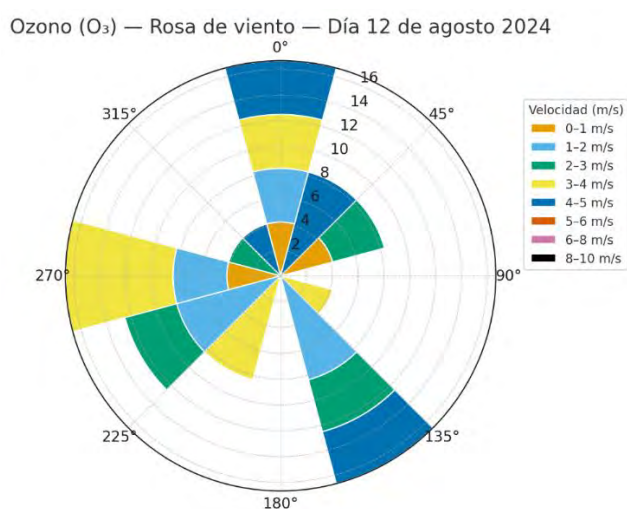
La Figura muestra las isoconcentraciones correspondientes al mes de julio, evidenciando un comportamiento similar al mes anterior, aunque con una leve disminución en los valores máximos, cercanos a 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El campo de dispersión se distribuye de forma simétrica, indicando estabilidad atmosférica y ausencia de transporte horizontal significativo del contaminante.

Figura 156: O_3 — Concentración promedio diaria — Agosto 2024



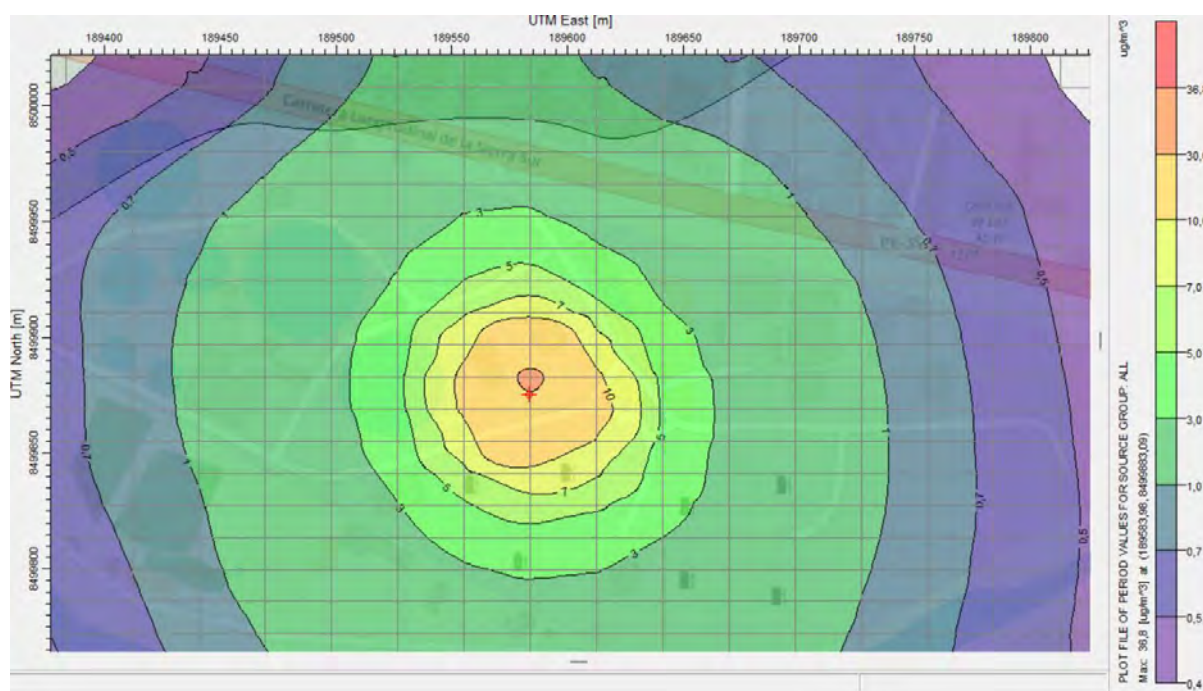
Durante agosto, las concentraciones fluctuaron entre 3.4 y 5.7 unidades, con un máximo el día 12. El comportamiento es típicamente estacional, con valores altos sostenidos debido a la combinación de radiación solar intensa y bajas precipitaciones. Se observa un descenso puntual hacia finales de mes, posiblemente asociado con sistemas convectivos o aumento de nubosidad.

Figura 157: O_3 — Rosa de viento — Día 12 de agosto 2024



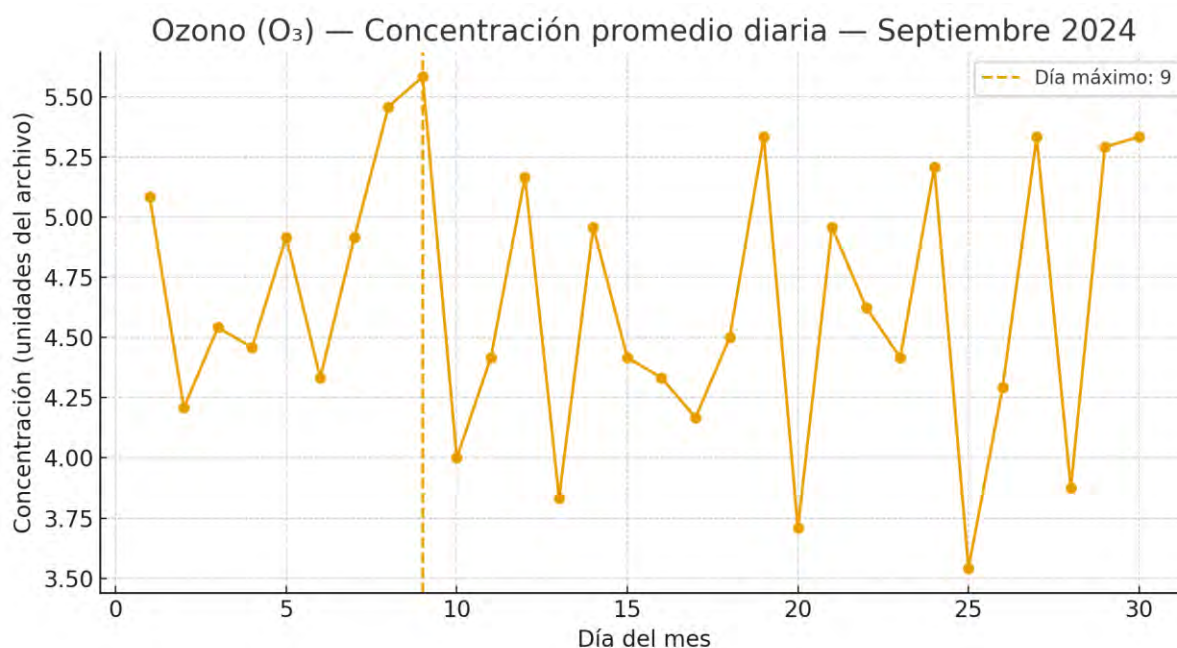
La rosa de viento muestra predominio de flujos del sureste (SE) y oeste (W), con velocidades entre 2 y 5 m/s, sin calmas significativas. El transporte de masas de aire desde el sureste podría haber contribuido a un aumento de precursores de ozono, mientras que la dispersión horizontal fue suficiente para evitar acumulaciones prolongadas. El resultado es un episodio de alta formación, pero de corta duración.

Figura 158: Isoconcentraciones del mes de agosto de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



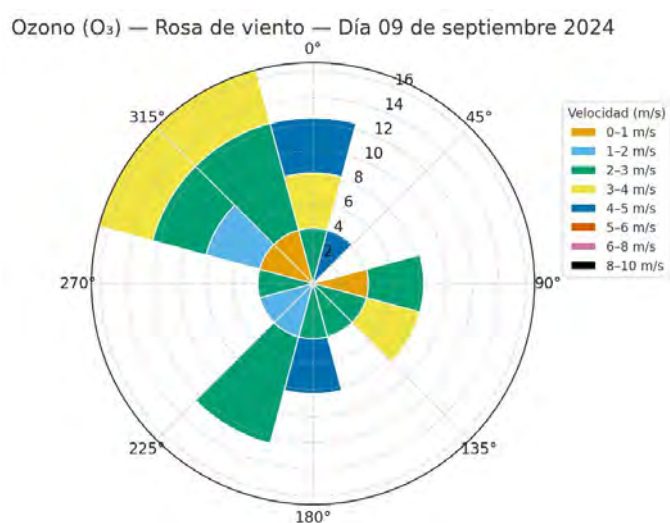
En la Figura se aprecian las isoconcentraciones del mes de agosto. Se observa un núcleo de concentración máxima en torno a 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una morfología circular bien definida. La reducción de los valores máximos sugiere una mejor ventilación del área, posiblemente vinculada a un incremento de la velocidad del viento o a una menor estabilidad térmica.

Figura 159: O_3 — Concentración promedio diaria — Septiembre 2024



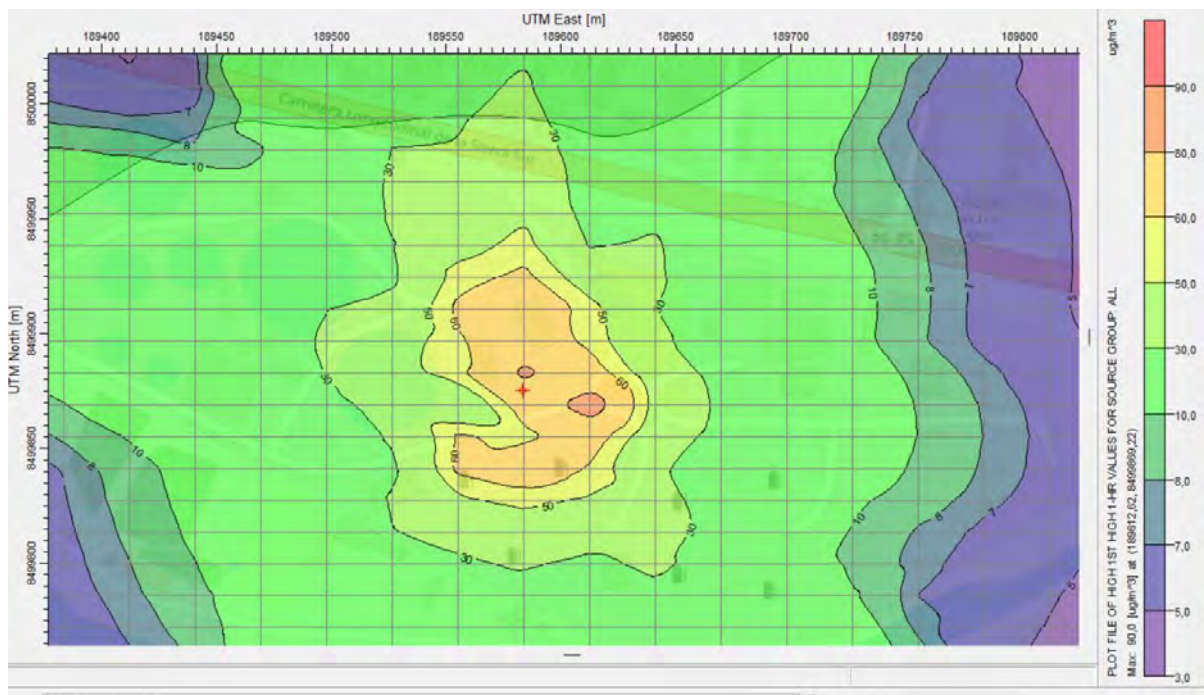
En septiembre se registran concentraciones entre 3.7 y 5.5 unidades, alcanzando el máximo el día 9. El patrón mensual indica una ligera disminución respecto al verano, coherente con la reducción paulatina de la radiación solar. Las oscilaciones observadas reflejan alternancia entre días despejados y nublados. La estabilidad atmosférica intermedia permitió aún niveles moderados de ozono.

Figura 160: O_3 — Rosa de viento — Día 09 de septiembre 2024



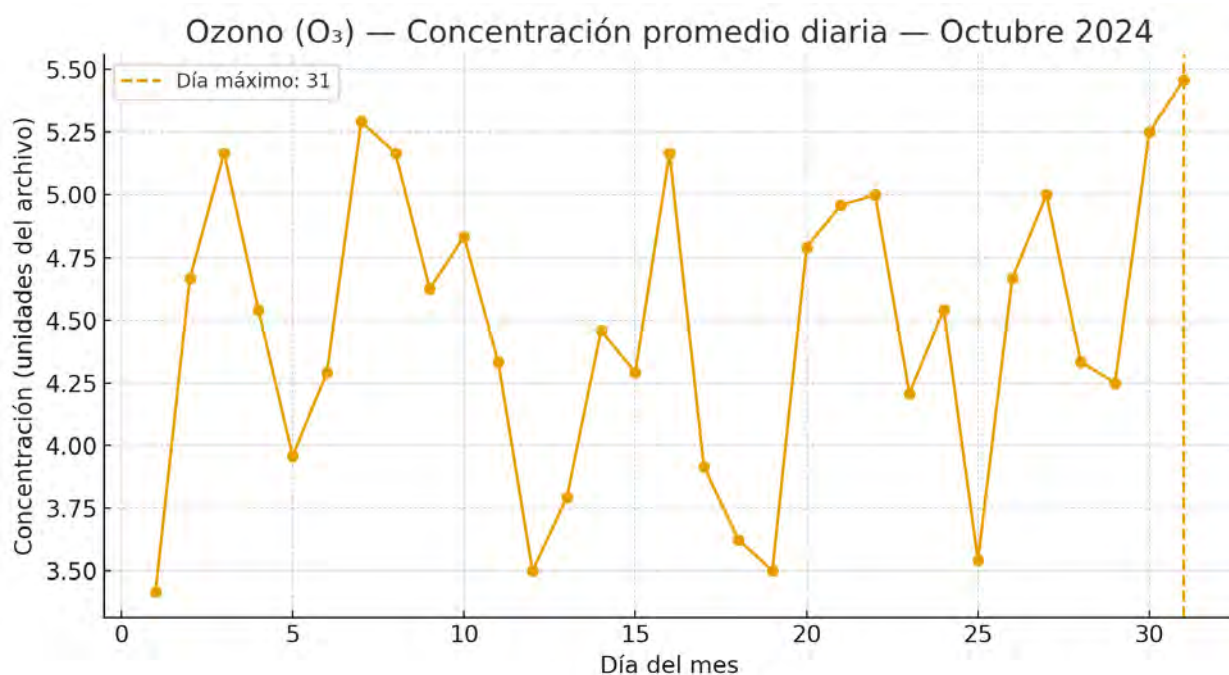
El viento dominante provino del oeste (W) y noroeste (NW), con velocidades de 3 a 4 m/s. Este patrón sugiere condiciones de dispersión aceptables, pero con momentos de calma relativa que pudieron facilitar la acumulación momentánea de ozono cerca de la superficie, contribuyendo al valor máximo registrado.

Figura 161: *Isoconcentraciones del mes de setiembre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024*



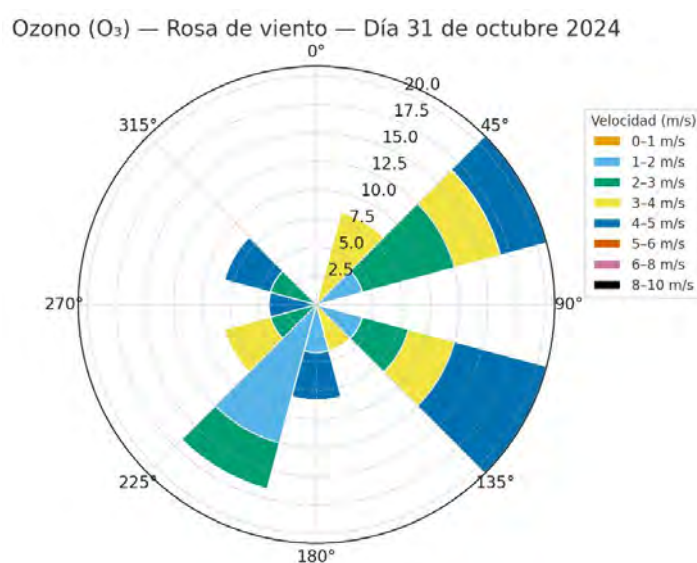
La Figura presenta las isoconcentraciones del mes de setiembre, donde se aprecia una ligera elongación de la pluma de dispersión hacia el noreste, influenciada por los vientos dominantes del suroeste. Las concentraciones máximas alcanzan aproximadamente $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando un incremento respecto a los meses previos y una distribución más irregular del campo de concentración.

Figura 162: O_3 — Concentración promedio diaria — Octubre 2024



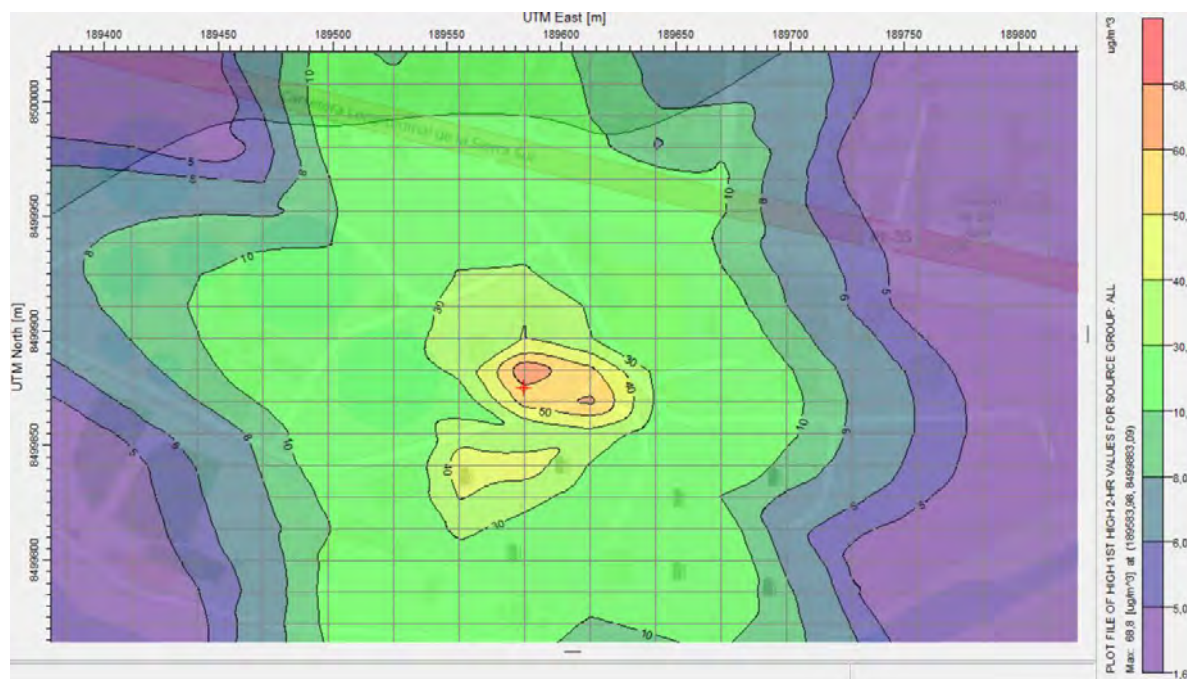
Durante octubre, las concentraciones promedio diarias se mantuvieron entre 3.5 y 5.5 unidades, alcanzando el máximo el día 31. A pesar del descenso estacional de radiación solar, se observan valores relativamente altos, posiblemente debido a una estabilidad atmosférica significativa y menor turbulencia vertical. Las variaciones abruptas indican la influencia de frentes fríos que alternan condiciones de dispersión y acumulación.

Figura 163: O_3 — Rosa de viento — Día 31 de octubre 2024



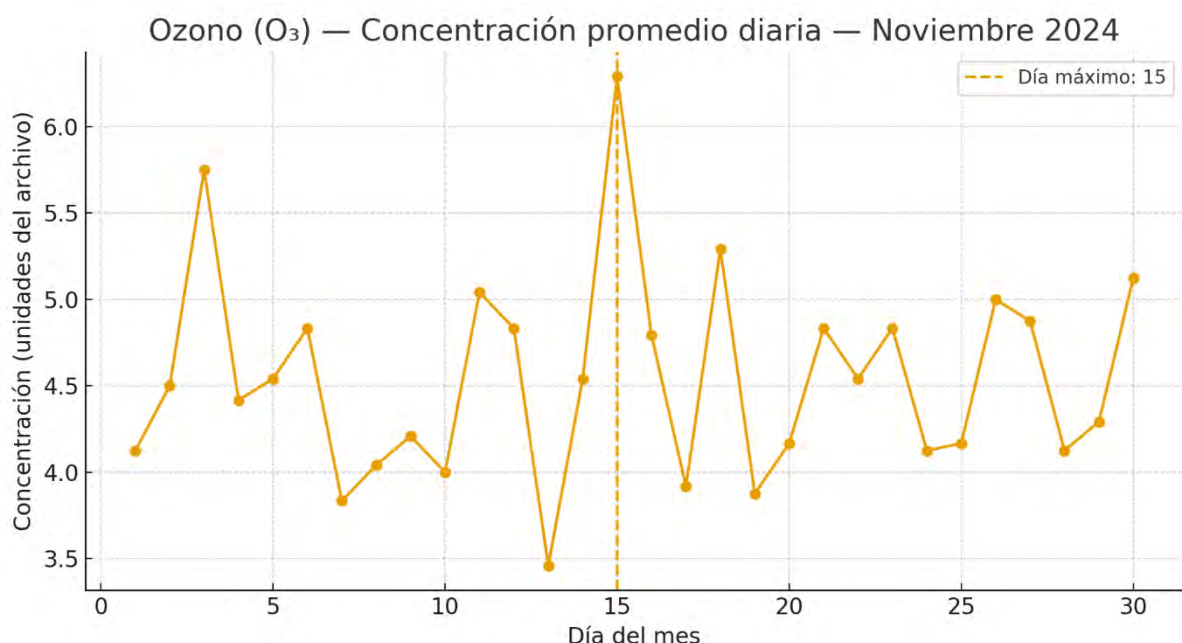
La dirección predominante del viento fue este (E) y sureste (SE), con velocidades entre 3 y 5 m/s. Este flujo limita la dispersión efectiva y puede transportar contaminantes precursores desde áreas urbanas adyacentes, lo que explica el incremento observado al cierre del mes.

Figura 164: Isoconcentraciones del mes de octubre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



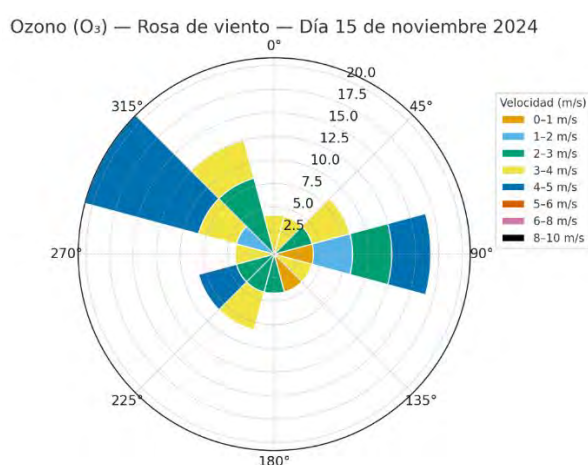
En la Figura se muestran las isoconcentraciones del mes de octubre, con valores máximos de aproximadamente 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La dispersión del O_3 presenta una forma asimétrica, indicando un transporte preferencial hacia el sector oriental. Este comportamiento está asociado a una variación en la dirección e intensidad del viento registrada durante este periodo.

Figura 165: O_3 — Concentración promedio diaria — Noviembre 2024



Durante noviembre, las concentraciones promedio diarias de ozono oscilaron entre 3.5 y 6.2 unidades, registrándose el máximo el día 15. El comportamiento mensual presenta una moderada variabilidad, con picos bien definidos y descensos breves, lo que sugiere la alternancia entre días despejados y episodios de nubosidad o precipitación. La ocurrencia del valor máximo a mediados de mes coincide con un periodo de alta radiación solar y estabilidad atmosférica, pese al inicio de la temporada fría.

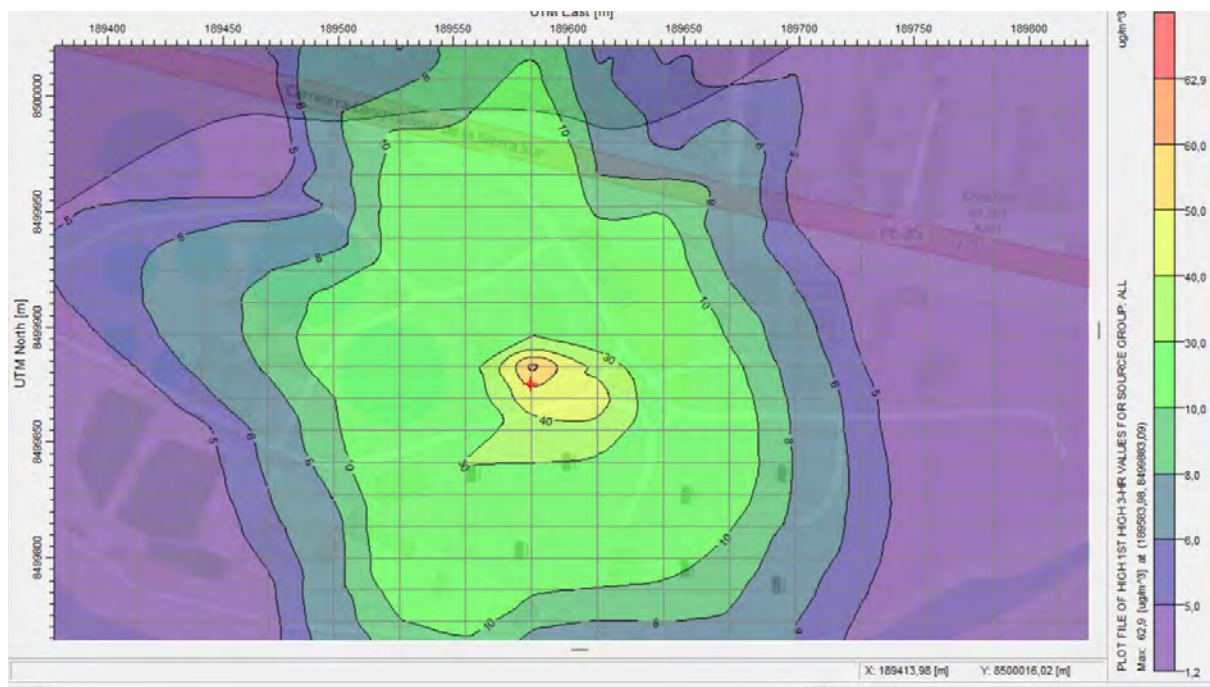
Figura 166: O_3 — Rosa de viento — Día 15 de noviembre 2024



La rosa de viento correspondiente al día de máxima concentración muestra direcciones predominantes del este (E) y noroeste (NW), con velocidades que oscilaron entre 3 y 5 m/s. Este patrón sugiere la posible advección de masas de aire desde zonas urbanas o semi-industriales, aportando precursores para la formación fotoquímica del ozono. No se observaron calmas relevantes, por lo que la concentración elevada probablemente resultó de la acumulación temporal en condiciones estables, más que de una falta de ventilación.

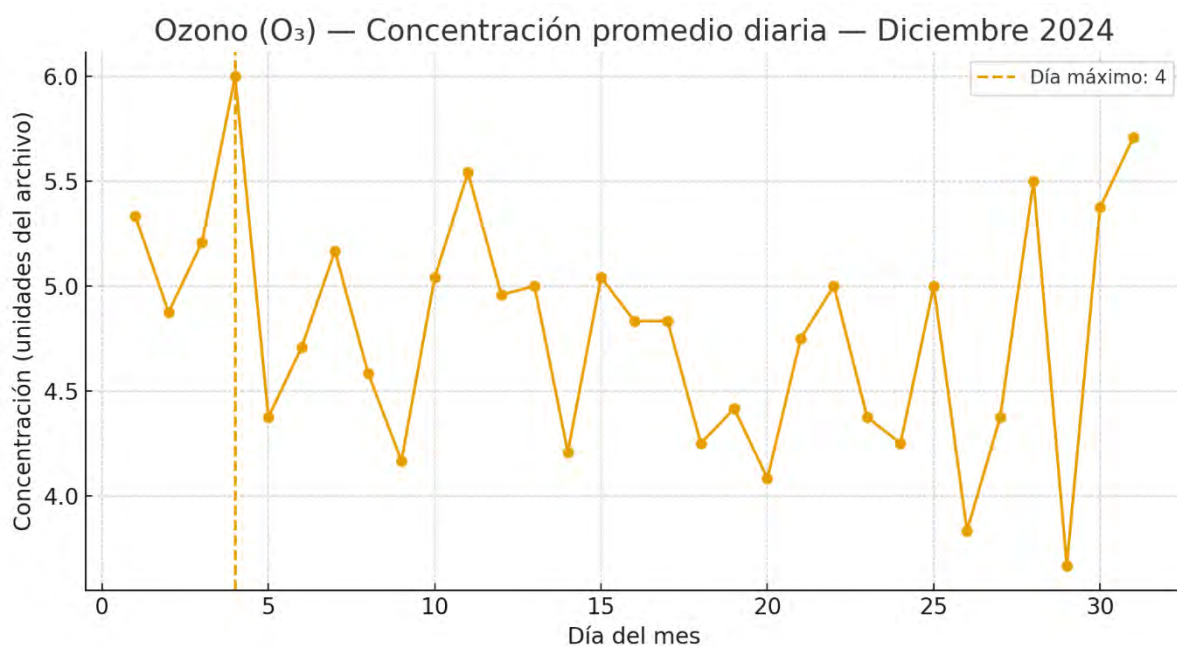
Figura 167: Isoconcentraciones del mes de noviembre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



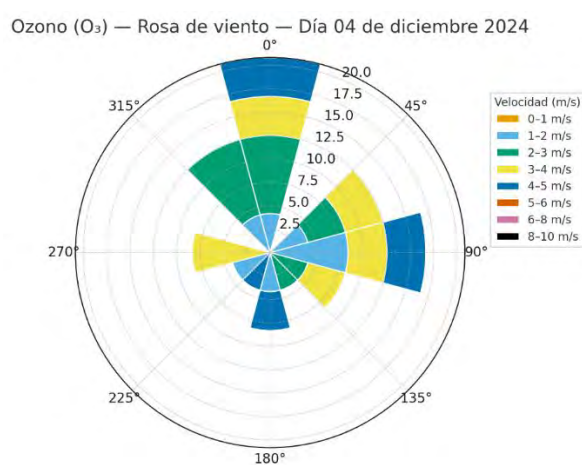
La Figura corresponde al mes de noviembre, en el que se observa una pluma alargada de concentración que se extiende hacia el norte del dominio. Las concentraciones máximas se sitúan en torno a $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un patrón irregular que evidencia la influencia de condiciones meteorológicas variables, principalmente en la dirección del viento.

Figura 168: O_3 — Concentración promedio diaria — diciembre 2024



En diciembre se mantuvieron concentraciones entre 4.0 y 6.0 unidades, con el máximo registrado el día 4. A pesar del descenso estacional de la radiación solar, los valores se mantuvieron relativamente altos, lo cual sugiere una persistencia de estabilidad atmosférica y bajas velocidades de viento. Durante el resto del mes, las variaciones fueron menores y sin episodios críticos, indicando una fase de transición hacia niveles más bajos característicos del invierno.

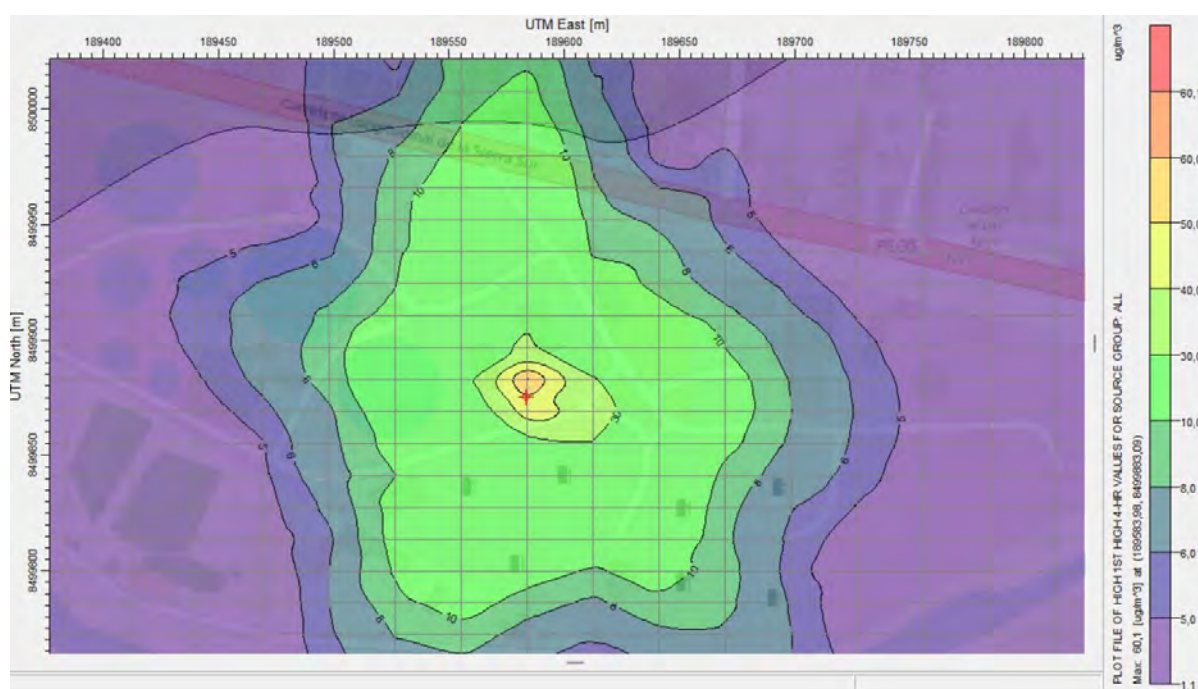
Figura 169: O_3 — Rosa de viento — Día 04 de diciembre 2024



La rosa de viento del día 4 muestra un predominio de flujos provenientes del noreste (NE) y este (E), con velocidades entre 2 y 5 m/s. Este régimen de viento favorece la acumulación local de contaminantes secundarios como el ozono, especialmente bajo condiciones anticiclónicas. Las velocidades relativamente bajas contribuyeron a la retención de masas de aire en superficie, lo que explica el pico observado en la concentración.

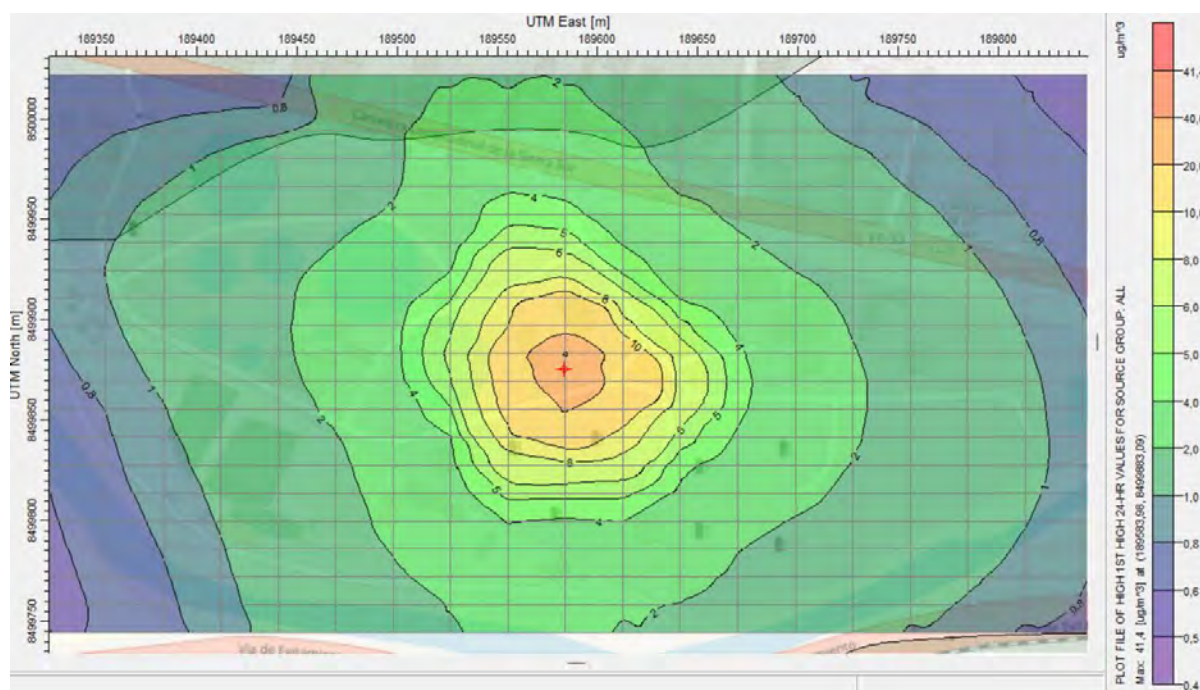
Figura 170: Isoconcentraciones del mes de diciembre de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



En la Figura se presentan las isoconcentraciones del mes de diciembre, donde se alcanza un valor máximo cercano a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución muestra una pluma alargada en sentido norte-sur, con una disminución progresiva de las concentraciones hacia los extremos, manteniendo una estructura relativamente homogénea y sin acumulaciones significativas fuera del área inmediata de emisión.

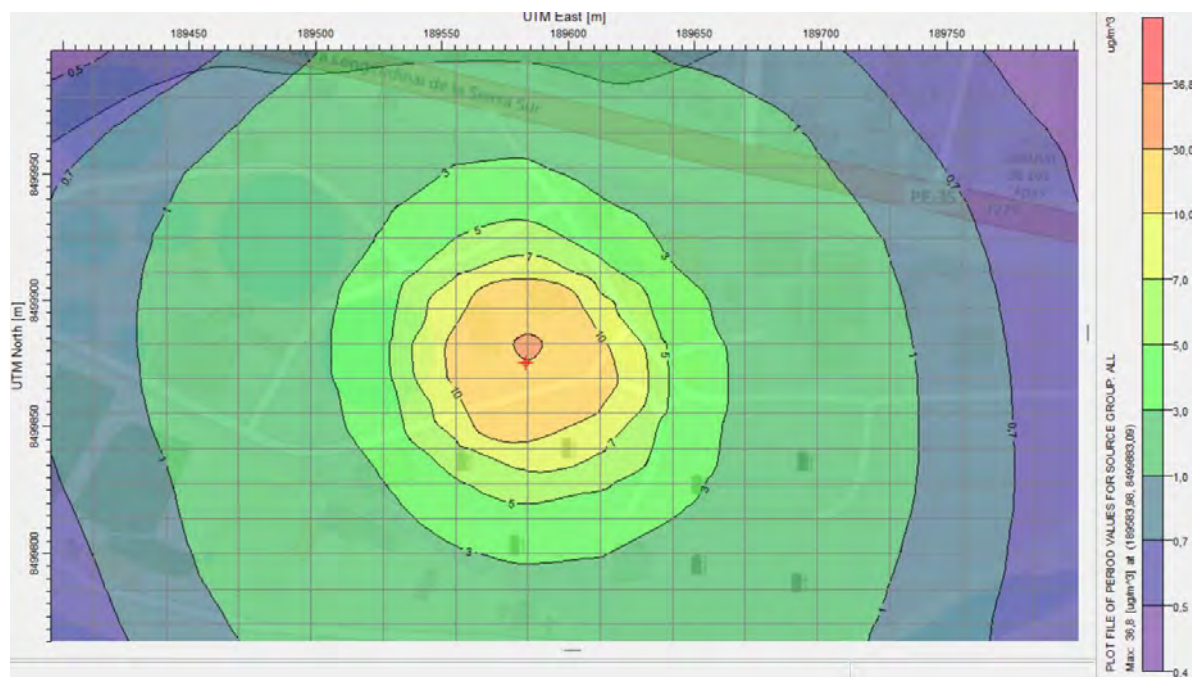
Figura 171: Distribución espacial de concentraciones máximas 24 horas de O_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco



En la Figura, que muestra la concentración máxima de ozono modelada a 24 horas, se aprecia una distribución similar, aunque con valores ligeramente menores, llegando a un máximo de $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El patrón espacial se mantiene concéntrico, con zonas periféricas mostrando niveles por debajo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que confirma que la dispersión es homogénea y no existen picos significativos que superen los límites normativos. Esta consistencia entre los resultados mensuales y diarios evidencia estabilidad en los patrones de concentración de ozono en el área, reforzando la confiabilidad del modelo y sugiriendo que la exposición en la zona de influencia directa de la PTAR es baja para este contaminante en particular.

Figura172: Isoconcentración cada 6 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

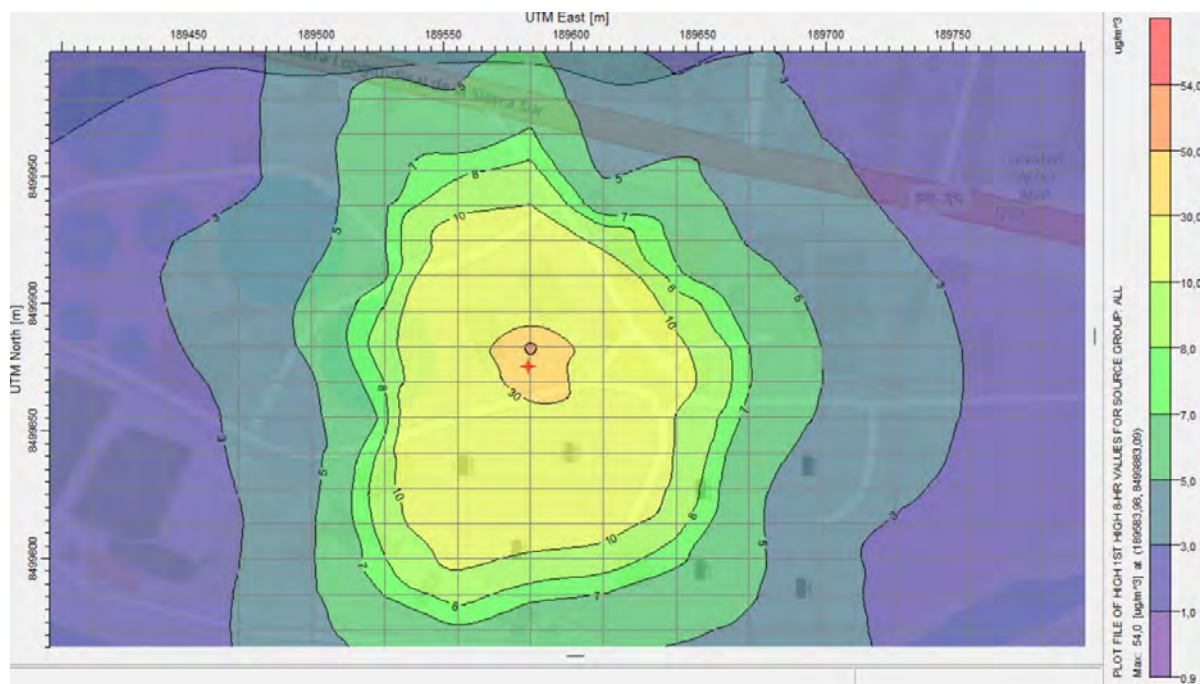
8.9.0 – 2024



Nota: *Elaboración propia*

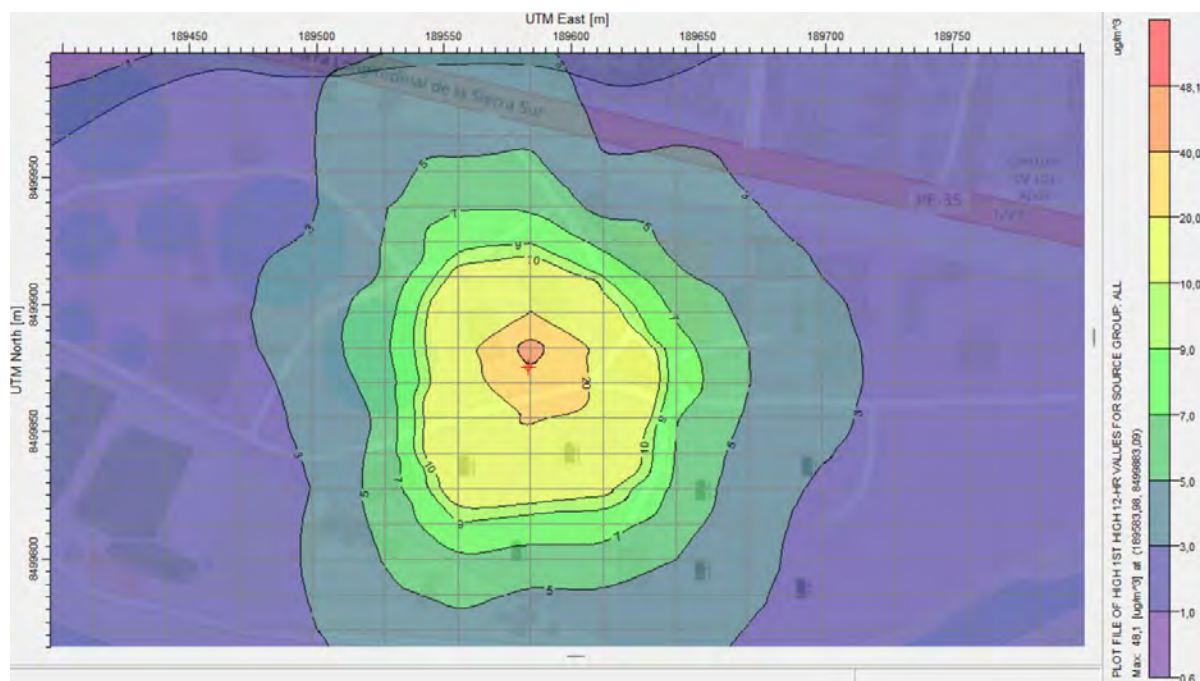
La Figura representa las isoconcentraciones promedio de las 6 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. El patrón concéntrico es claro y compacto, con un máximo de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ centrado en la fuente emisora. Las isolíneas reflejan una dispersión uniforme, indicando estabilidad atmosférica y baja influencia de transporte horizontal en estas horas críticas.

Figura 173: Isoconcentración cada 12 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



En la Figura se muestran las isoconcentraciones correspondientes a las 12 horas más altas de concentración de O_3 . Los valores máximos alcanzan aproximadamente $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una forma ligeramente elongada hacia el noreste. Este comportamiento sugiere episodios de baja ventilación y condiciones de estabilidad que favorecen la acumulación temporal del contaminante.

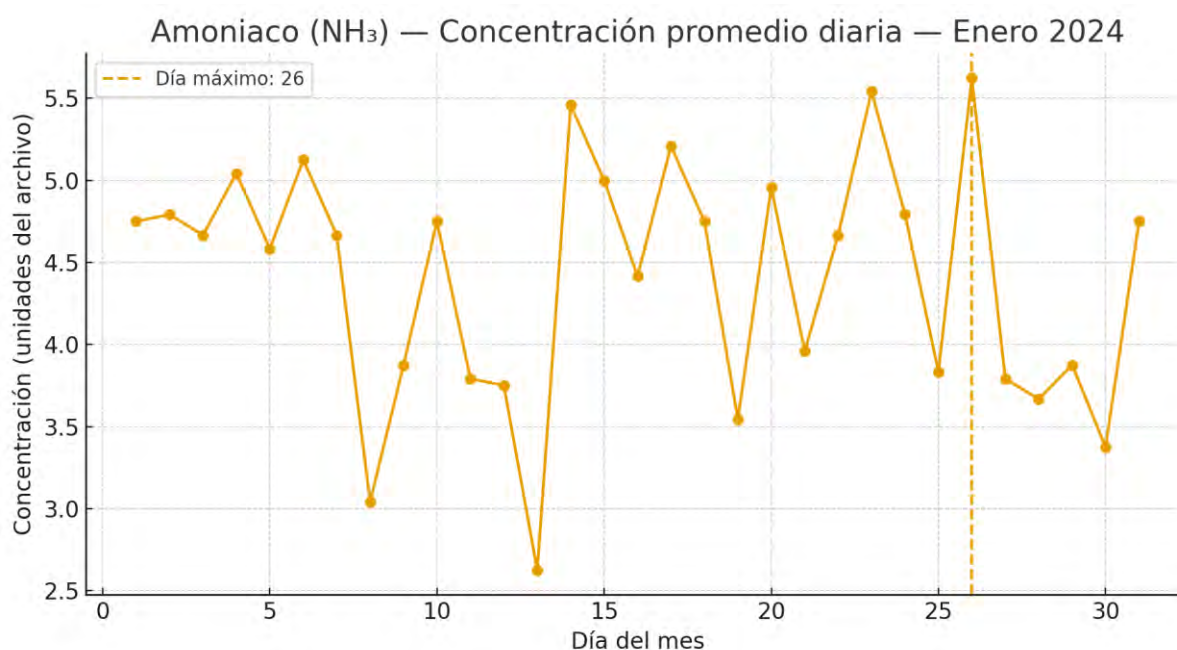
Figura 174: Isoconcentración cada 18 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 – 2024



La Figura ilustra las isoconcentraciones de las 18 horas más altas de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. Las concentraciones máximas, cercanas a $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se localizan en torno al punto de emisión, disminuyendo progresivamente hacia los bordes del dominio. El contorno simétrico y el gradiente suave evidencian condiciones atmosféricas estables con dispersión efectiva del contaminante en el área inmediata.

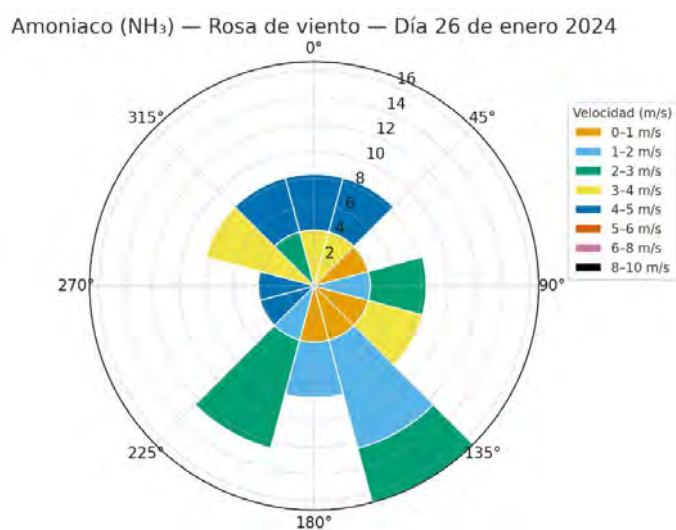
4.1.5 Dispersión de amoniaco (NH_3) en el aire.

Figura 175: NH_3 — Concentración promedio diaria — Enero 2024



Durante enero, las concentraciones promedio diarias de amoniaco oscilaron entre 2.7 y 5.6 unidades, con un máximo el día 26. El comportamiento mensual muestra una variabilidad moderada, con descensos bruscos a inicios y mediados del mes, seguidos de una recuperación hacia el final. El pico máximo coincide con un episodio de estabilidad atmosférica, donde la limitada dispersión favoreció la acumulación local del gas, posiblemente asociado a fuentes urbanas o agrícolas cercanas.

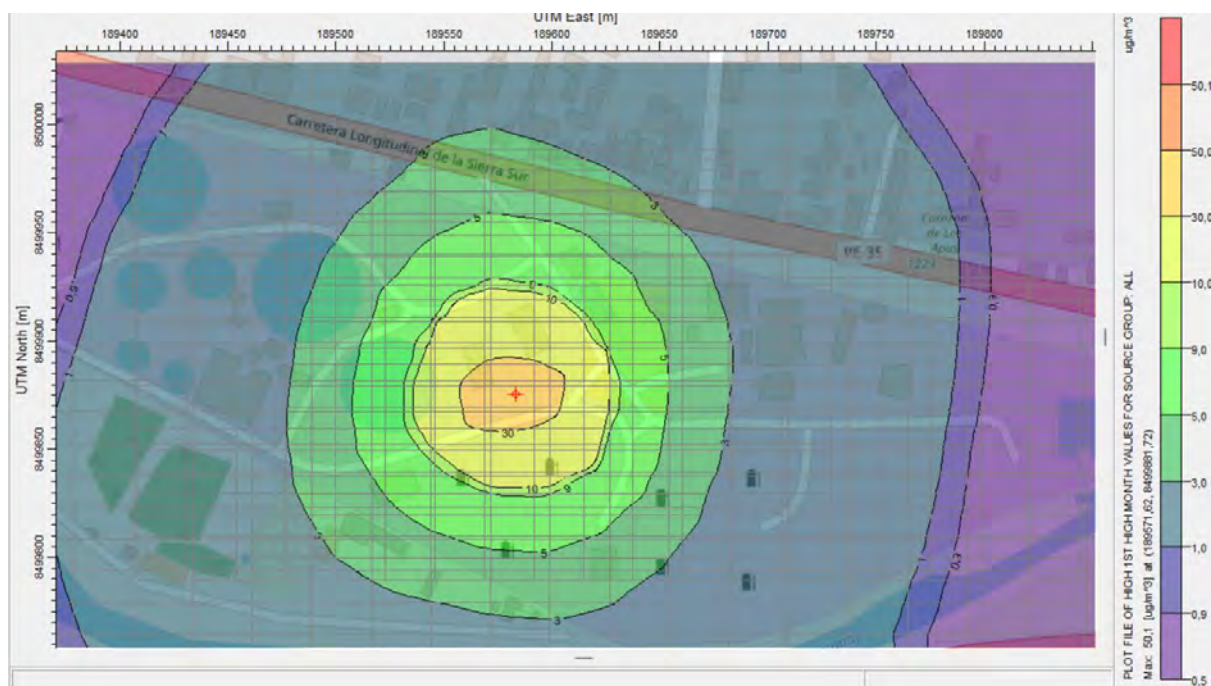
Figura 176: NH_3 — Rosa de viento — Día 26 de enero 2024



La rosa de viento del día de máxima concentración presenta flujos dominantes del sureste (SE) y sudoeste (SW) con velocidades entre 2 y 4 m/s. Estos vientos podrían haber transportado emisiones desde zonas agrícolas o áreas con actividad ganadera, reforzando la presencia de amoniaco en el sitio receptor. La ausencia de vientos fuertes indica baja dispersión horizontal, favoreciendo la acumulación detectada.

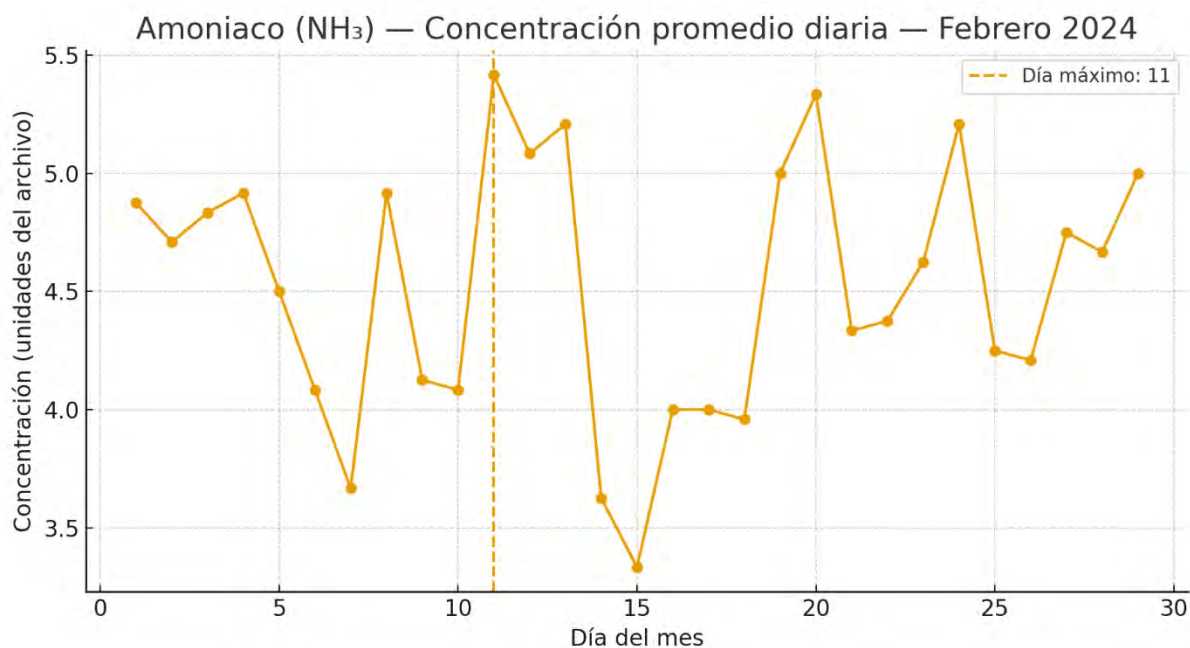
Figura 177: Isoconcentraciones del mes de enero de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD

8.9.0 2024



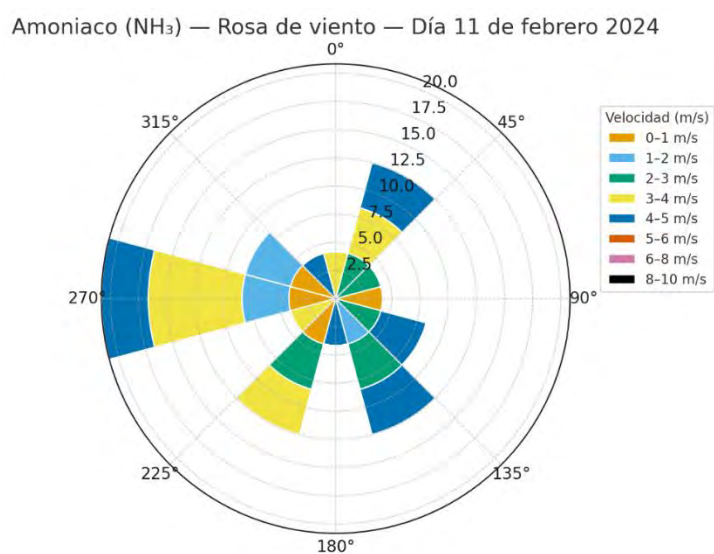
La Figura muestra las isoconcentraciones modeladas del mes de enero de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) utilizando AERMOD 8.9.0 – 2024. Se observa una distribución simétrica de las concentraciones con un máximo de aproximadamente 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el centro del dominio. Las isolíneas presentan una disposición concéntrica que se atenúa gradualmente hacia la periferia, lo cual indica un régimen atmosférico estable y baja dispersión del contaminante.

Figura 178: NH_3 — Concentración promedio diaria — Febrero 2024



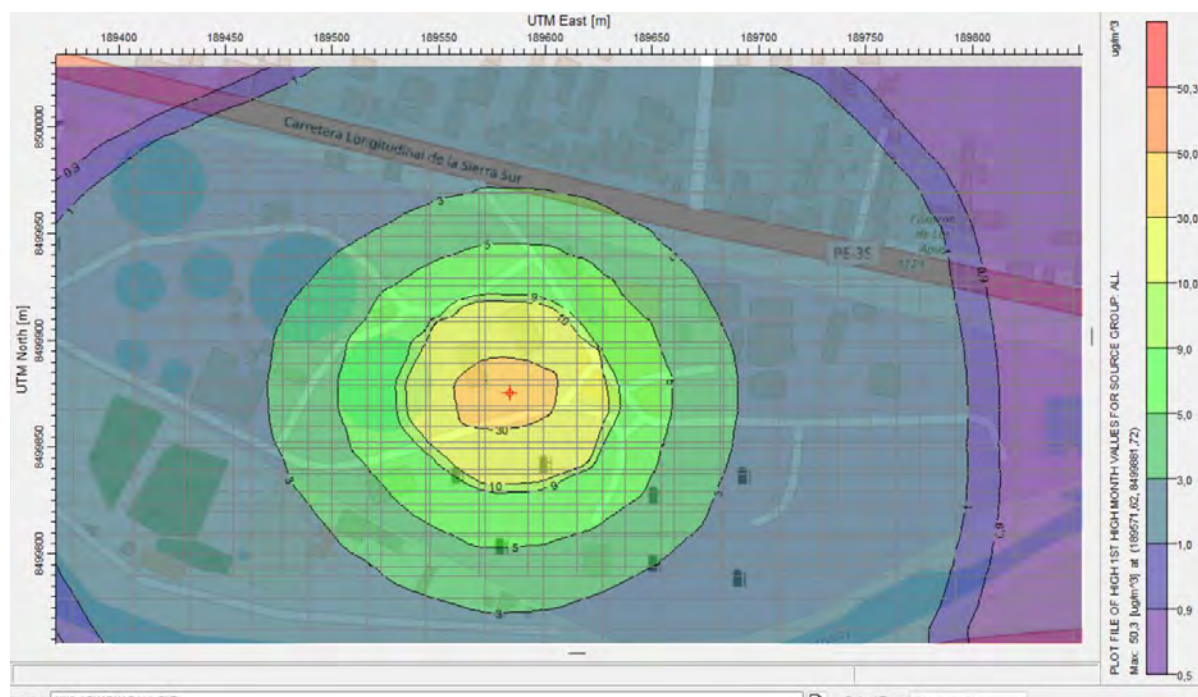
En febrero, las concentraciones se mantuvieron entre 3.5 y 5.4 unidades, alcanzando el valor máximo el día 11. El comportamiento general fue irregular, con oscilaciones entre periodos de estabilidad y disminuciones abruptas. El incremento observado a mediados del mes sugiere condiciones de baja ventilación y humedad moderada, que pueden favorecer la persistencia del amoniaco en el ambiente.

Figura 179: NH_3 — Rosa de viento — Día 11 de febrero 2024



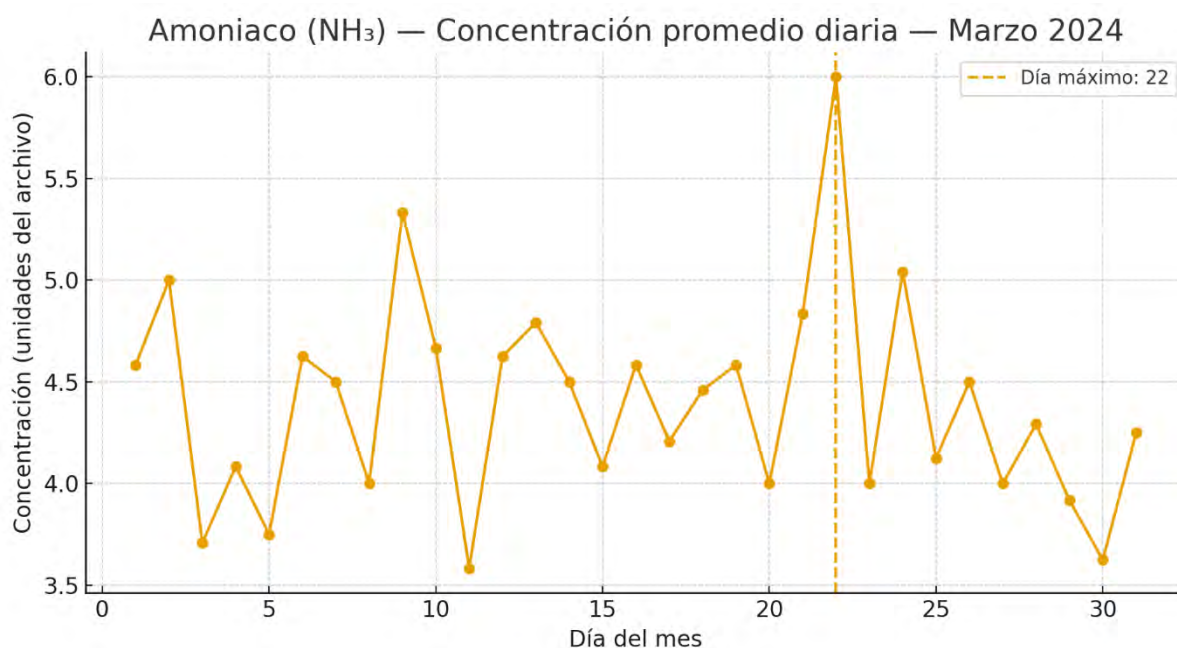
Durante el día de máxima concentración, predominaron vientos del oeste (W) y suroeste (SW), con velocidades entre 2 y 5 m/s. El patrón sugiere el arrastre de emisiones locales y una mezcla limitada en la capa baja de la atmósfera. Las bajas velocidades observadas se asocian con condiciones de estabilidad térmica, lo que coincide con la elevación del nivel de NH_3 .

Figura 180: Isoconcentraciones del mes de febrero de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



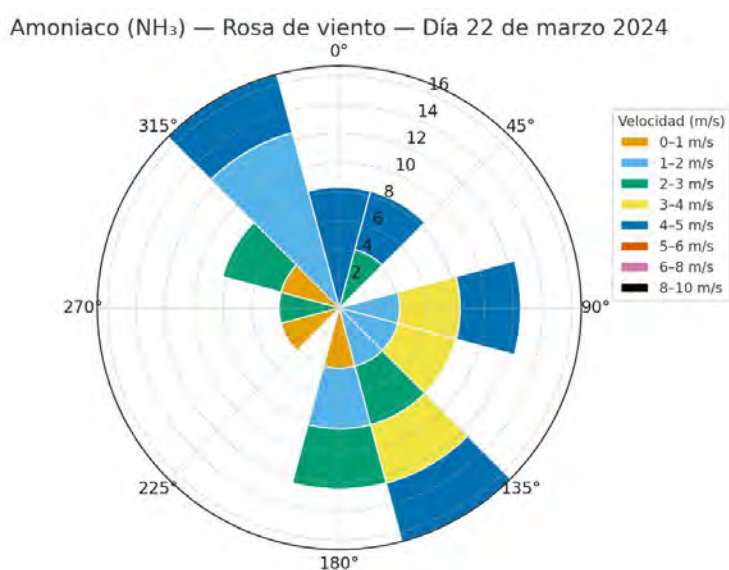
En la Figura, correspondiente al mes de febrero, el patrón de dispersión mantiene una configuración muy similar al mes anterior. El núcleo central de máxima concentración alcanza valores cercanos a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, disminuyendo progresivamente hacia los bordes del área modelada. El contorno circular y bien definido sugiere condiciones de estabilidad atmosférica y una baja velocidad del viento predominante durante este periodo.

Figura 181: NH_3 — Concentración promedio diaria — Marzo 2024



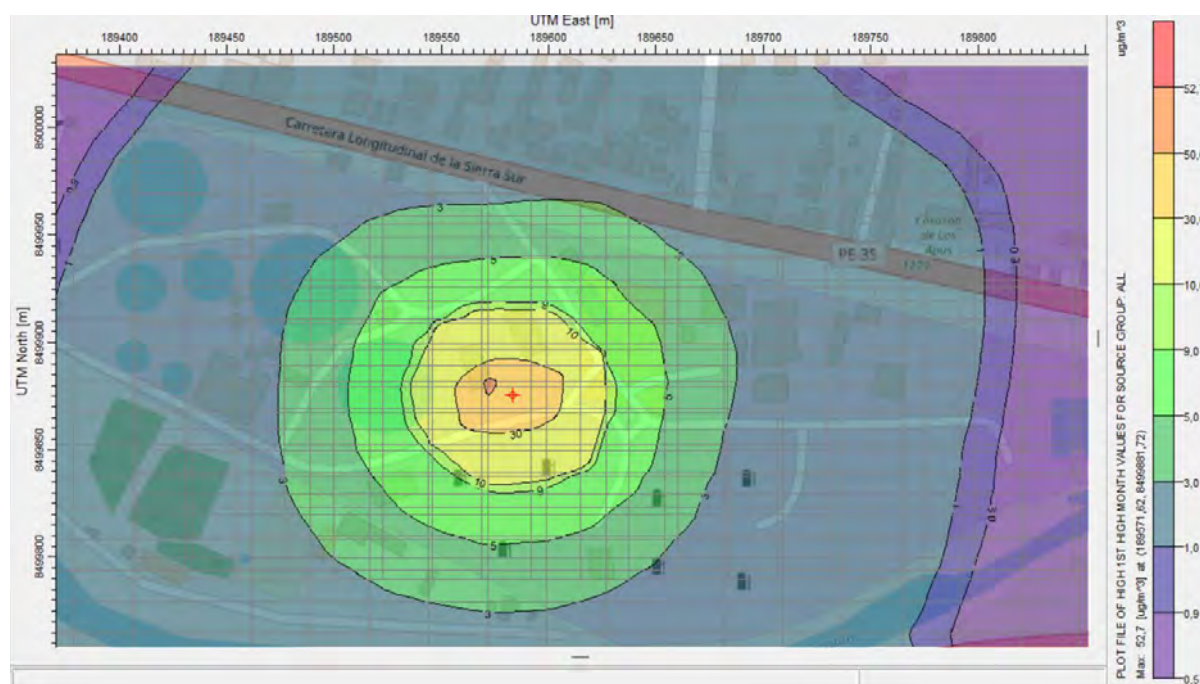
En marzo, las concentraciones diarias oscilaron entre 3.6 y 6.0 unidades, con un máximo el día 22. Se observa una mayor variabilidad respecto a los meses anteriores, con varios picos intermedios. El incremento de la radiación solar y temperaturas más altas en este mes pudieron favorecer la volatilización del amoníaco desde fuentes de suelo o fertilizantes aplicados en zonas agrícolas cercana

Figura 182: NH_3 — Rosa de viento — Día 22 de marzo 2024



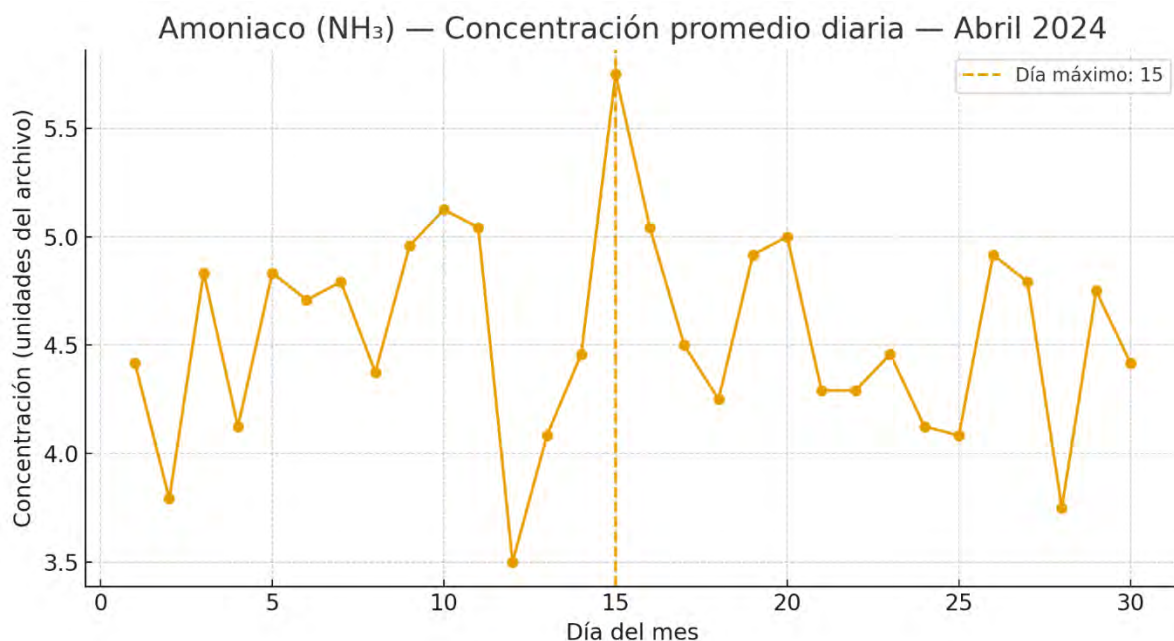
La rosa de viento indica direcciones predominantes del sureste (SE) y noreste (NE) con velocidades de 2–4 m/s. Este régimen de vientos sugiere un flujo cruzado sobre el área, con moderada dispersión. La presencia de sectores activos del SE coincide con posibles zonas de emisión puntual, contribuyendo al pico registrado ese día.

Figura 183: Isoconcentraciones del mes de marzo de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



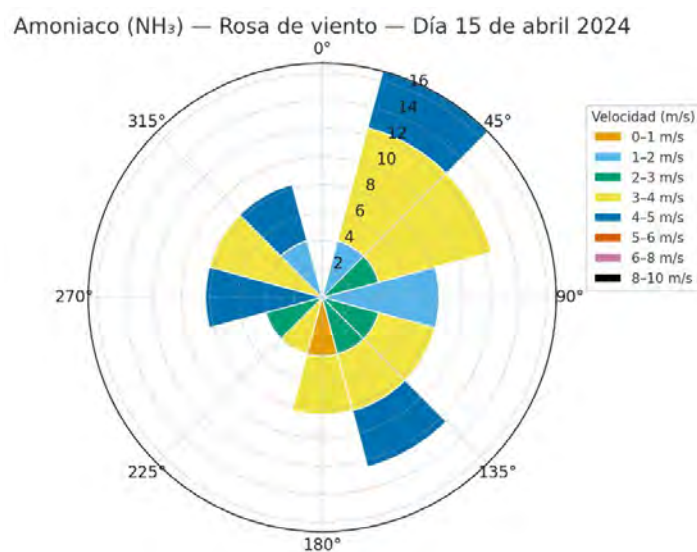
La Figura presenta las isoconcentraciones de NH_3 para el mes de marzo, evidenciando una estructura concéntrica bien desarrollada. Los valores máximos alcanzan aproximadamente 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un gradiente suave de disminución radial. Este comportamiento refleja condiciones de dispersión limitadas y un dominio de estabilidad térmica moderada, característica de la transición hacia el periodo seco en la región de Cusco.

Figura 184: NH_3 — Concentración promedio diaria — Abril 2024



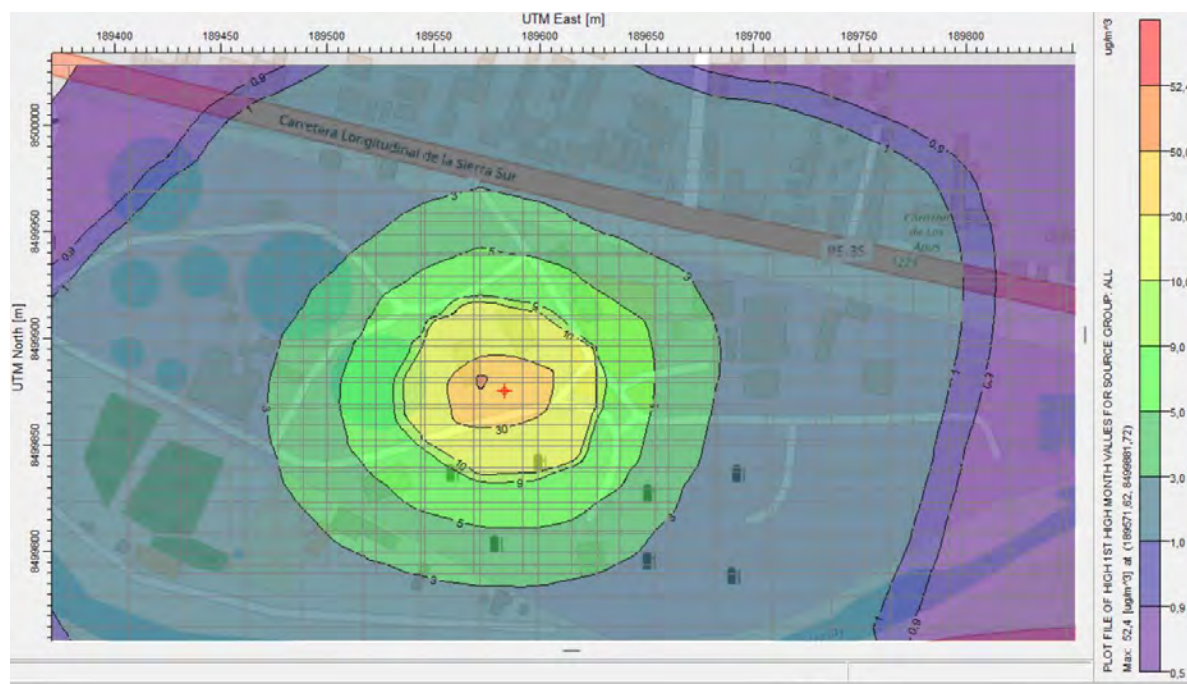
En abril, las concentraciones se mantuvieron entre 3.8 y 5.8 unidades, alcanzando su máximo el día 15. La tendencia muestra oscilaciones suaves, sin episodios de acumulación prolongada. La disminución de valores mínimos respecto a marzo indica un mejoramiento en las condiciones de dispersión, probablemente debido a incrementos en la velocidad del viento y mayor ventilación diurna.

Figura 185: NH_3 — Rosa de viento — Día 15 de abril 2024



La dirección del viento durante el día de máxima concentración fue principalmente del noreste (NE) y este (E), con velocidades entre 3 y 5 m/s. Estas condiciones reflejan un buen transporte atmosférico, lo que sugiere que el valor elevado de amoniaco se debió más a aportes externos o transitorios que a acumulación local.

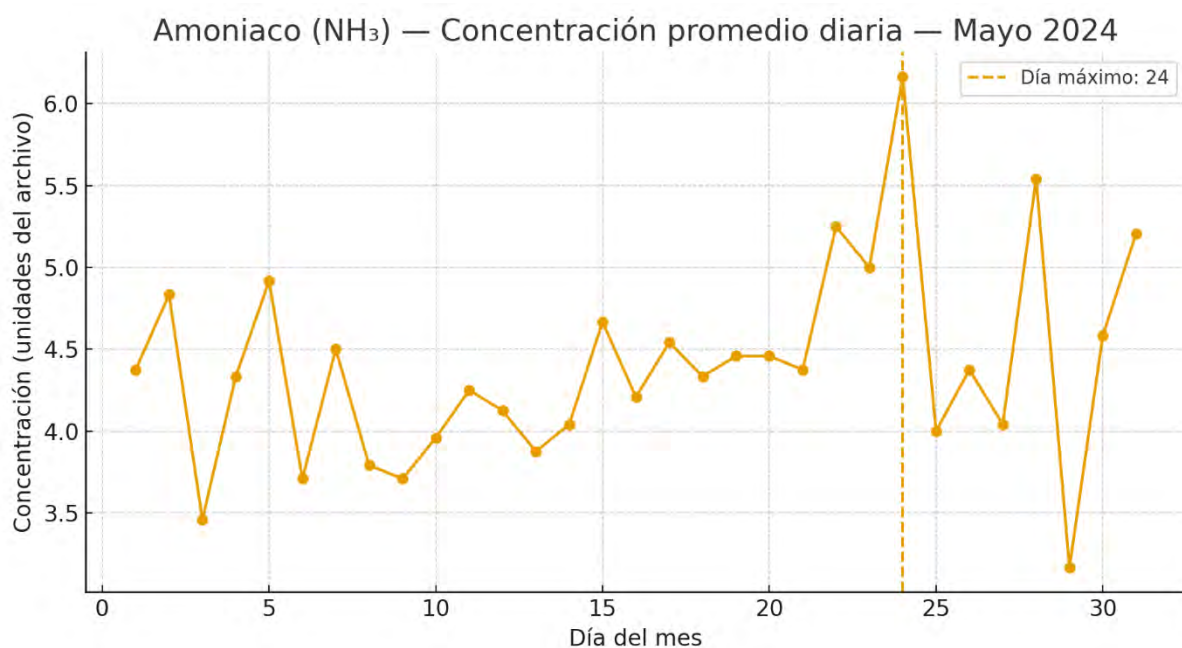
Figura 186 Isoconcentraciones del mes de abril de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



En la Figura, correspondiente al mes de abril, se mantiene el mismo patrón de distribución concéntrica, con valores máximos del orden de 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La pluma de dispersión se extiende ligeramente hacia el noreste, lo cual podría estar asociado a cambios en la dirección del viento o a ligeras variaciones en la estabilidad atmosférica. El gradiente de concentración sigue siendo regular y controlado.

Figura 187

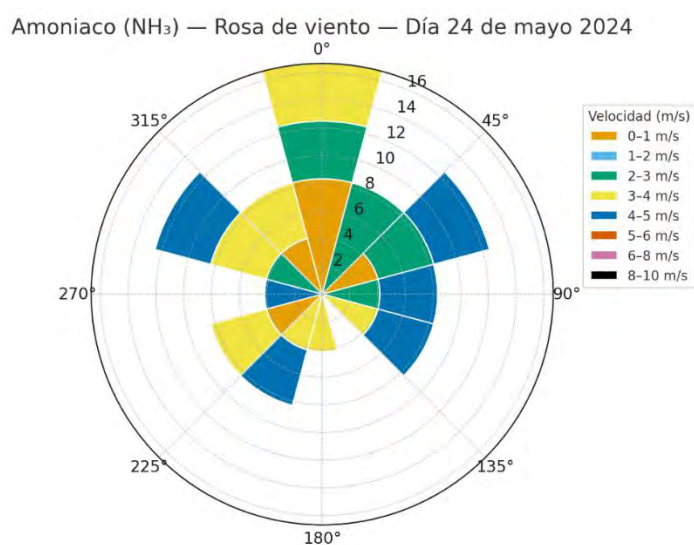
NH₃ — Concentración promedio diaria — Mayo 2024



Durante mayo, las concentraciones oscilaron entre 3.4 y 6.1 unidades, con un máximo el día 24. El mes se caracteriza por mayor estabilidad atmosférica pre-veraniega, favoreciendo picos esporádicos de NH₃. La presencia de varios valores elevados a fin de mes podría asociarse a incrementos de temperatura que intensifican la volatilización de compuestos amoniacales.

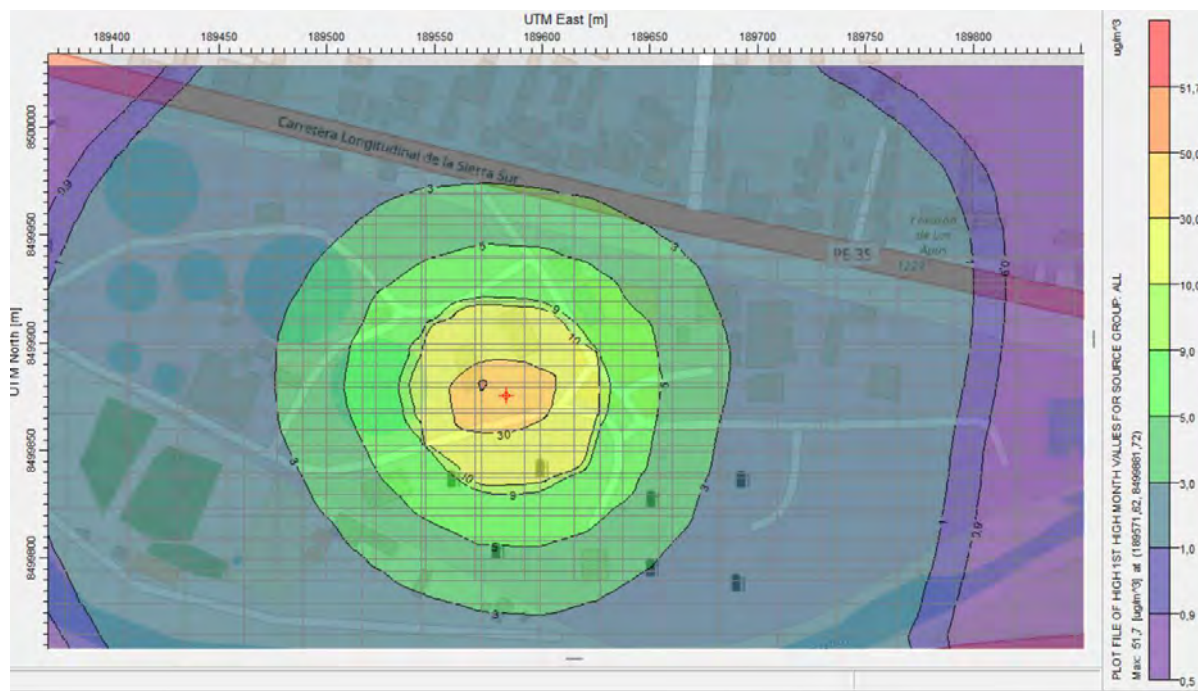
Figura 188

NH₃ — Rosa de viento — Día 24 de mayo 2024



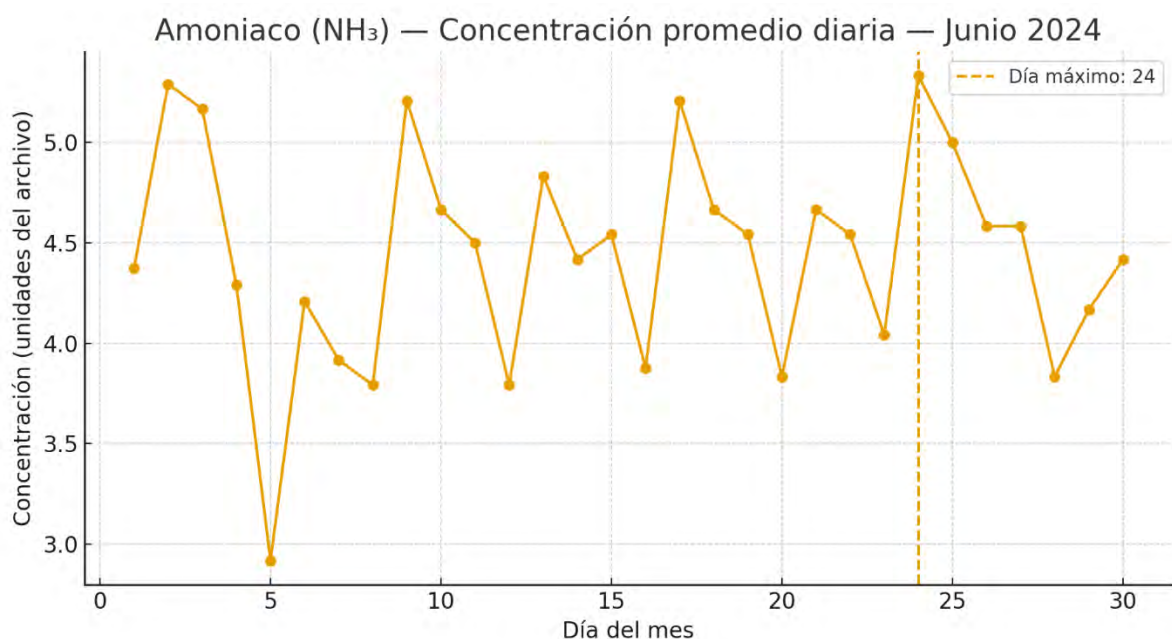
El régimen de viento fue predominantemente del norte (N) y este (E) con velocidades de 2–4 m/s. Estas condiciones, junto con la temperatura más elevada, apuntan a un fenómeno de acumulación local, posiblemente reforzado por fuentes de emisión terrestre y agroindustrial.

Figura 189: Isoconcentraciones del mes de mayo de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



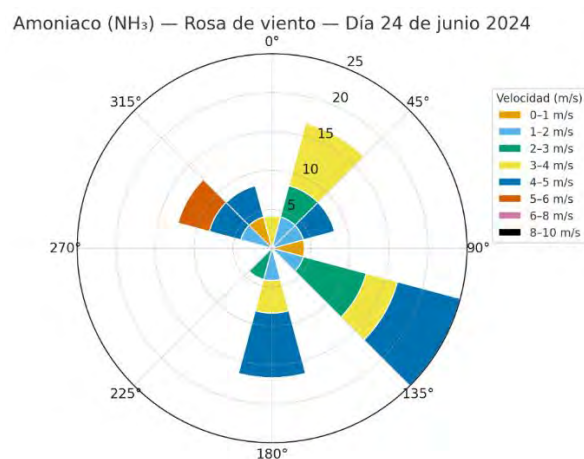
La Figura muestra las isoconcentraciones del mes de mayo, donde las concentraciones máximas alcanzan alrededor de $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La forma circular y la distribución homogénea de las isolíneas indican una persistencia de condiciones estables y una dispersión predominantemente local. La zona de mayor concentración continúa centrada sobre la fuente emisora, con un decaimiento gradual hacia los extremos del dominio modelado.

Figura 190: NH_3 — Concentración promedio diaria — Junio 2024



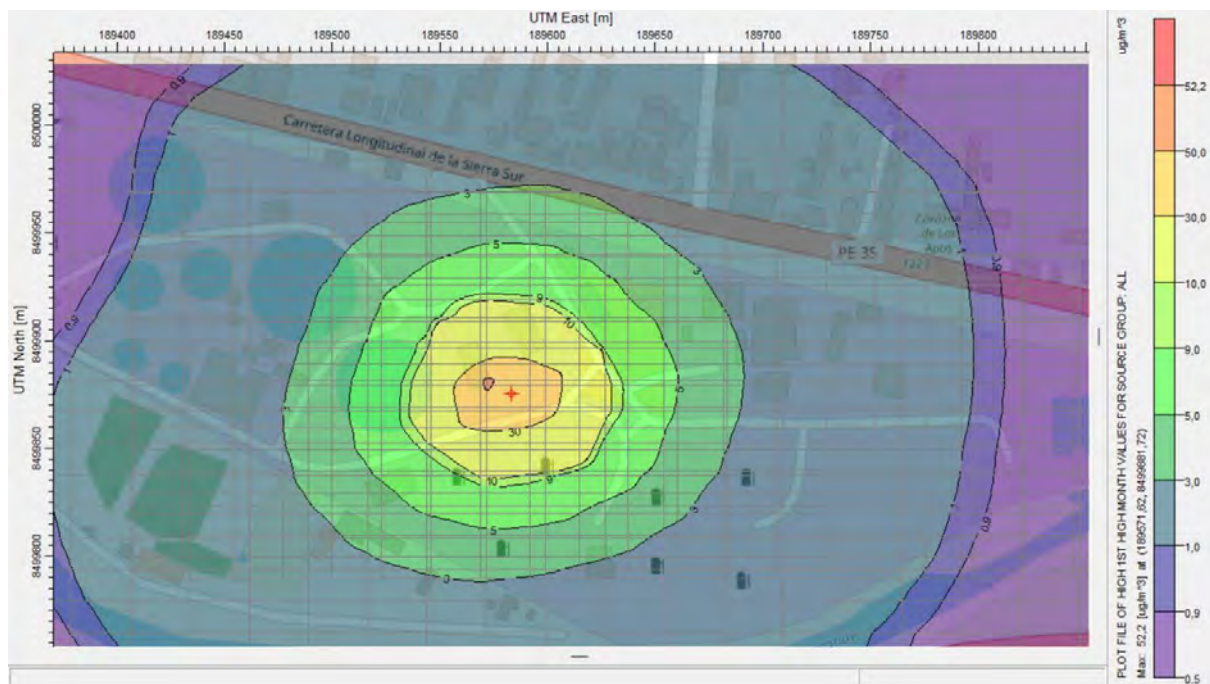
Durante junio, las concentraciones promedio diarias fluctuaron entre 3.0 y 5.3 unidades, con un máximo el día 24. El comportamiento mensual muestra una tendencia irregular, con varios picos intermedios y disminuciones notables hacia el inicio del mes. Las condiciones meteorológicas típicas del inicio del verano —temperaturas elevadas y baja humedad relativa— favorecieron la volatilización del amoniaco, lo que explica los valores más altos en la segunda mitad del mes.

Figura 191: NH_3 — Rosa de viento — Día 24 de junio 2024



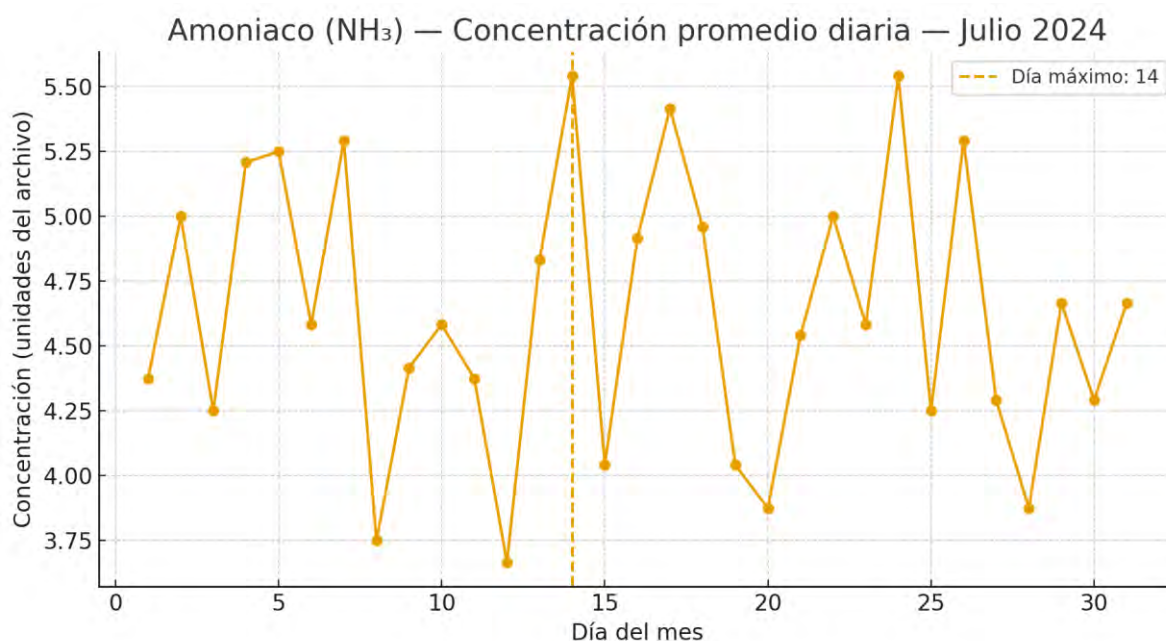
El viento predominó de los sectores sureste (SE) y suroeste (SW), con velocidades de 2 a 5 m/s y presencia de ráfagas aisladas superiores a 5 m/s. El patrón indica una dispersión moderada, aunque los flujos del SE podrían haber arrastrado emisiones provenientes de fuentes agrícolas o zonas periurbanas, contribuyendo a la concentración máxima observada.

Figura 192: Isoconcentraciones del mes de junio de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



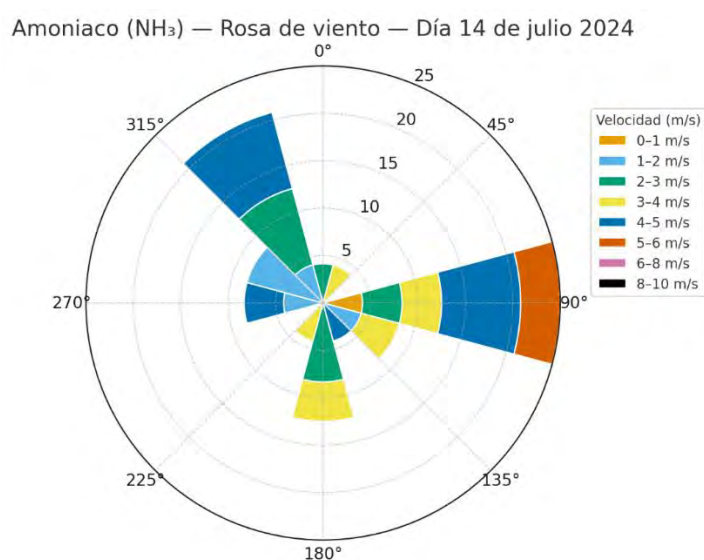
En la Figura se observan las isoconcentraciones del mes de junio de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. Se aprecia un núcleo de mayor concentración en el área central, alcanzando valores máximos cercanos a $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una distribución concéntrica y simétrica. La dispersión se muestra controlada, indicando condiciones atmosféricas estables y una difusión limitada hacia los bordes del dominio.

Figura 193: NH_3 — Concentración promedio diaria — Julio 2024



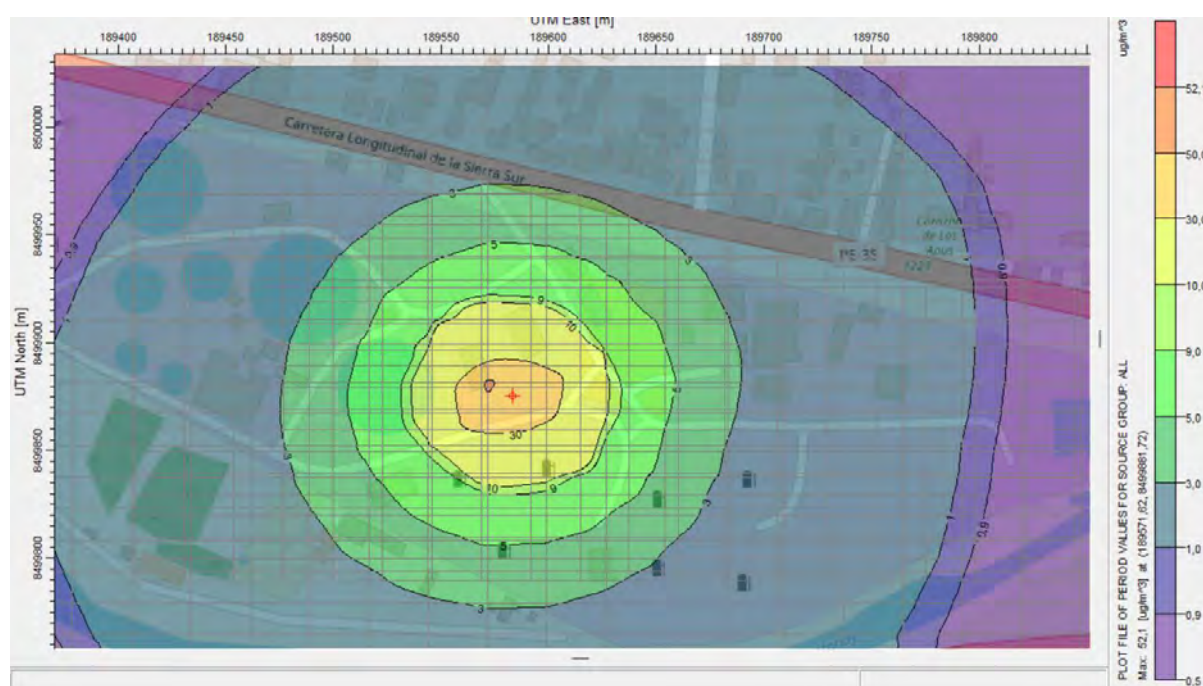
En julio, las concentraciones oscilaron entre 3.8 y 5.6 unidades, con un máximo el día 14. El mes se caracterizó por valores relativamente altos y frecuentes oscilaciones, atribuibles a condiciones térmicas elevadas y actividad agrícola estacional. El pico de mediados de mes coincide con un periodo de baja velocidad del viento y estabilidad atmosférica, lo que pudo favorecer la acumulación local del contaminante.

Figura 194: NH_3 — Rosa de viento — Día 14 de julio 2024



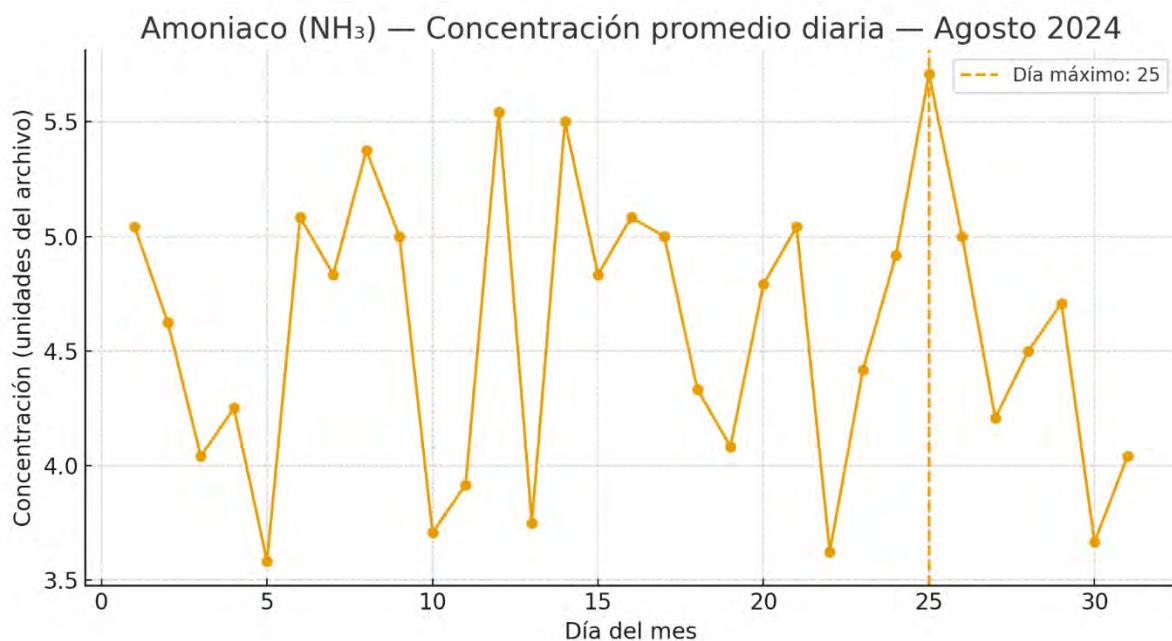
La rosa de viento muestra flujos predominantes del este (E) y noreste (NE), con velocidades de 3 a 5 m/s, y componentes menores desde el suroeste. La orientación indica una posible influencia de zonas rurales del este, con buena mezcla atmosférica. Las condiciones no favorecieron una acumulación sostenida, lo que sugiere un episodio puntual de incremento de emisiones.

Figura 195: Isoconcentraciones del mes de julio de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



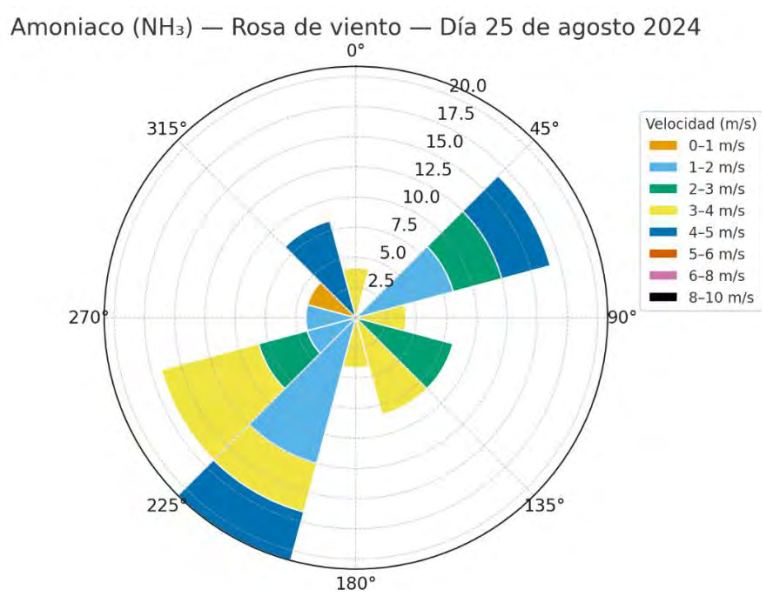
La Figura presenta las isoconcentraciones correspondientes al mes de julio, donde el patrón de concentración se mantiene similar al mes previo, con un máximo de aproximadamente $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución se caracteriza por un contorno circular bien definido y gradientes suaves, lo cual sugiere una leve estabilidad atmosférica y escasa influencia del viento en la dispersión horizontal del contaminante.

Figura 196: NH_3 — Concentración promedio diaria — Agosto 2024



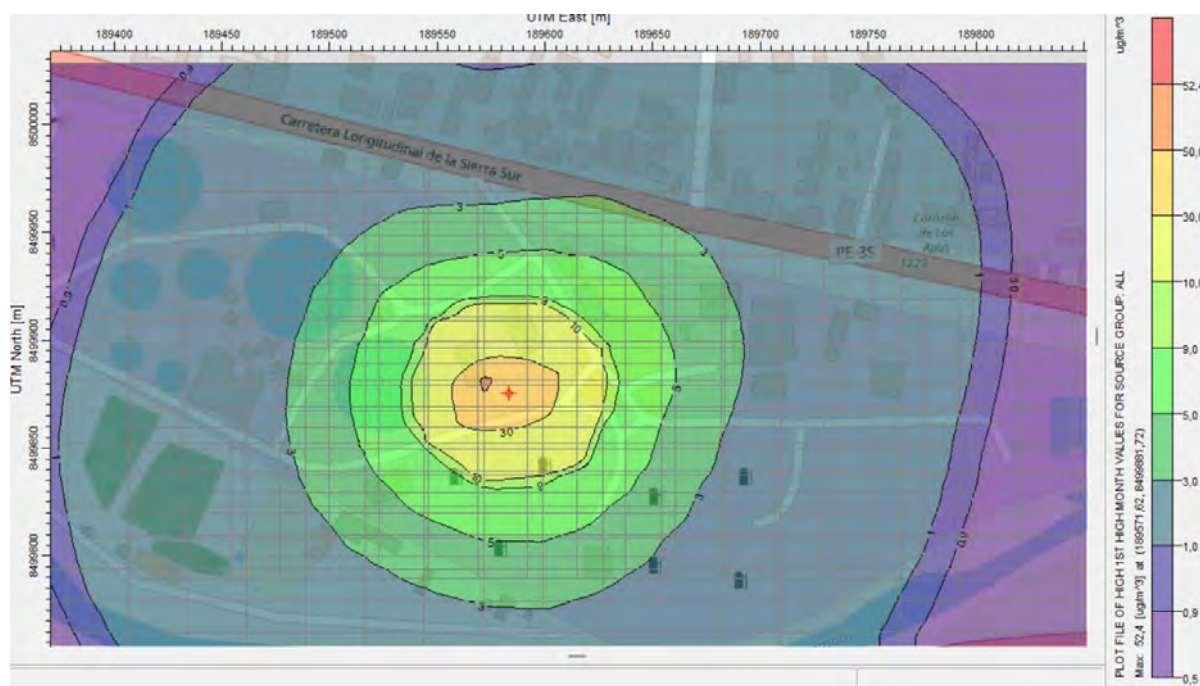
Las concentraciones de agosto se mantuvieron entre 3.6 y 5.6 unidades, con el máximo el día 25. Durante este mes, la frecuencia de picos se incrementa, posiblemente debido a condiciones secas y mayor actividad agrícola o ganadera. La amplitud de variación indica un entorno con emisiones intermitentes y dispersión variable.

Figura 197: NH_3 — Rosa de viento — Día 25 de agosto 2024



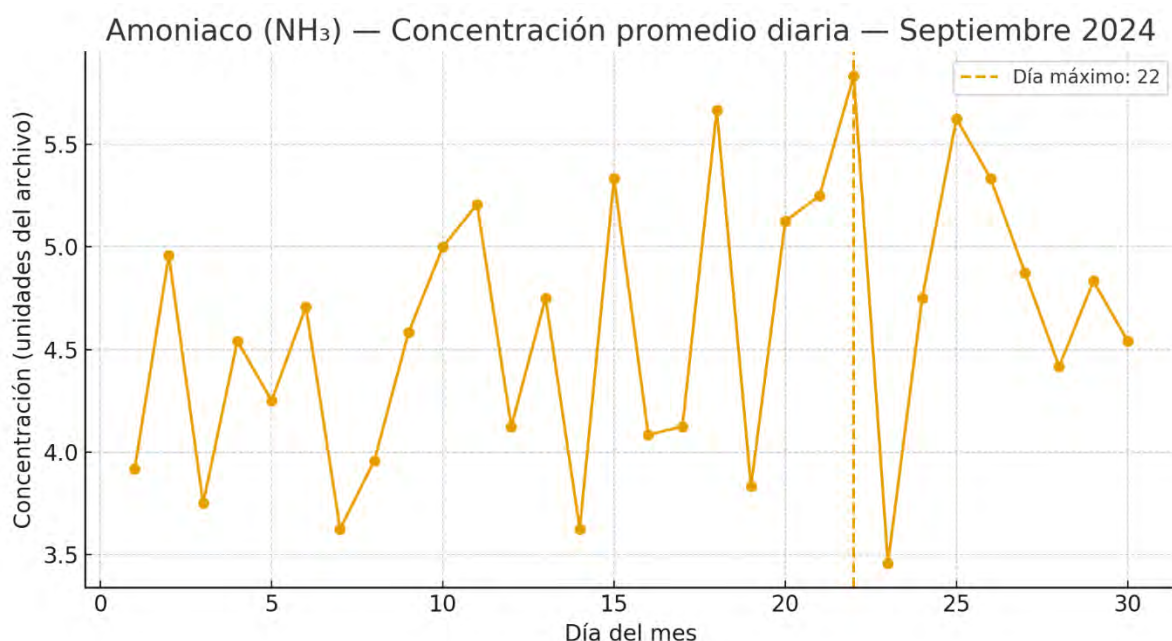
El viento predominó del sur (S) y suroeste (SW) con velocidades entre 2 y 4 m/s, sin presencia significativa de ráfagas intensas. Este régimen sugiere una dispersión limitada, compatible con el aumento de concentración detectado. La dirección dominante podría estar vinculada a zonas con manejo de fertilizantes o residuos animales al sur del área.

Figura 198: Isoconcentraciones del mes de agosto de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



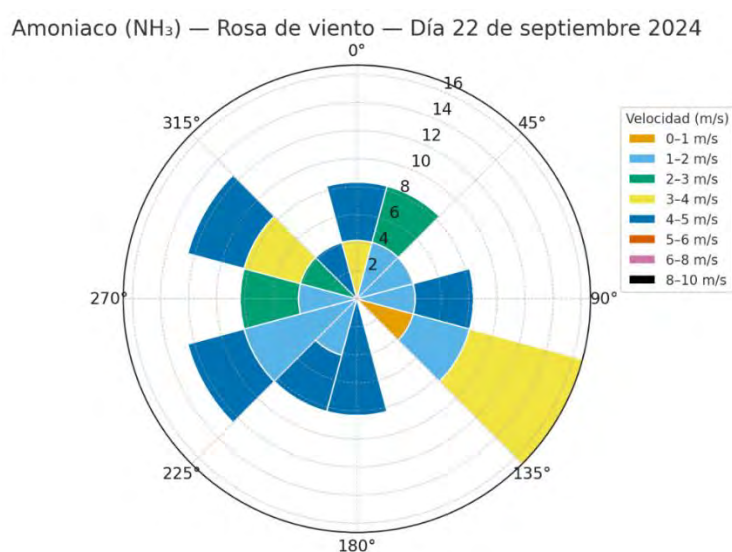
En la Figura se muestran las isoconcentraciones del mes de agosto, evidenciándose un comportamiento comparable al observado en los meses anteriores. El valor máximo de concentración alcanza alrededor de 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una pluma simétrica centrada sobre la fuente. Las condiciones de estabilidad atmosférica se mantienen, sin indicios de dispersión significativa en ninguna dirección predominante.

Figura 199: NH_3 — Concentración promedio diaria — Septiembre 2024



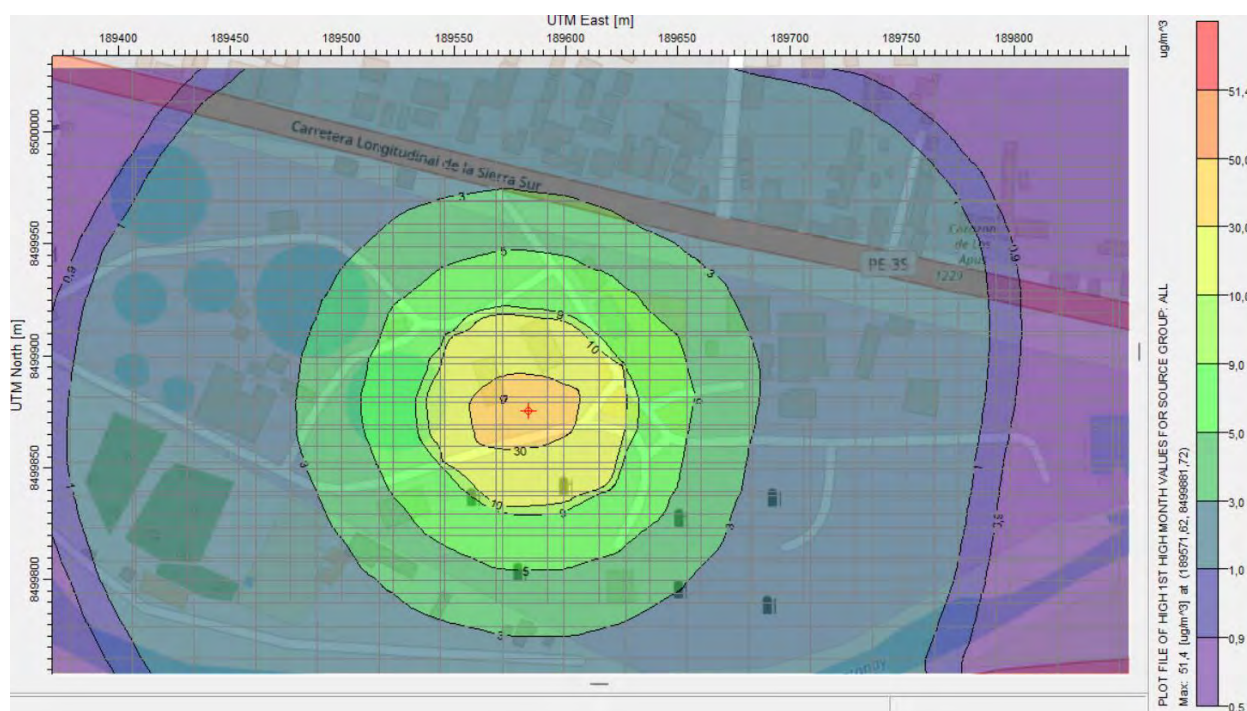
En septiembre, las concentraciones variaron entre 3.7 y 5.7 unidades, alcanzando el valor máximo el día 22. El comportamiento mensual evidencia una ligera tendencia ascendente hacia la tercera semana, con varios picos menores. Este patrón se asocia con el inicio de la transición estacional, donde el enfriamiento nocturno y menor mezcla vertical favorecen la persistencia del NH_3 en superficie.

Figura 200: NH_3 — Rosa de viento — Día 22 de septiembre 2024



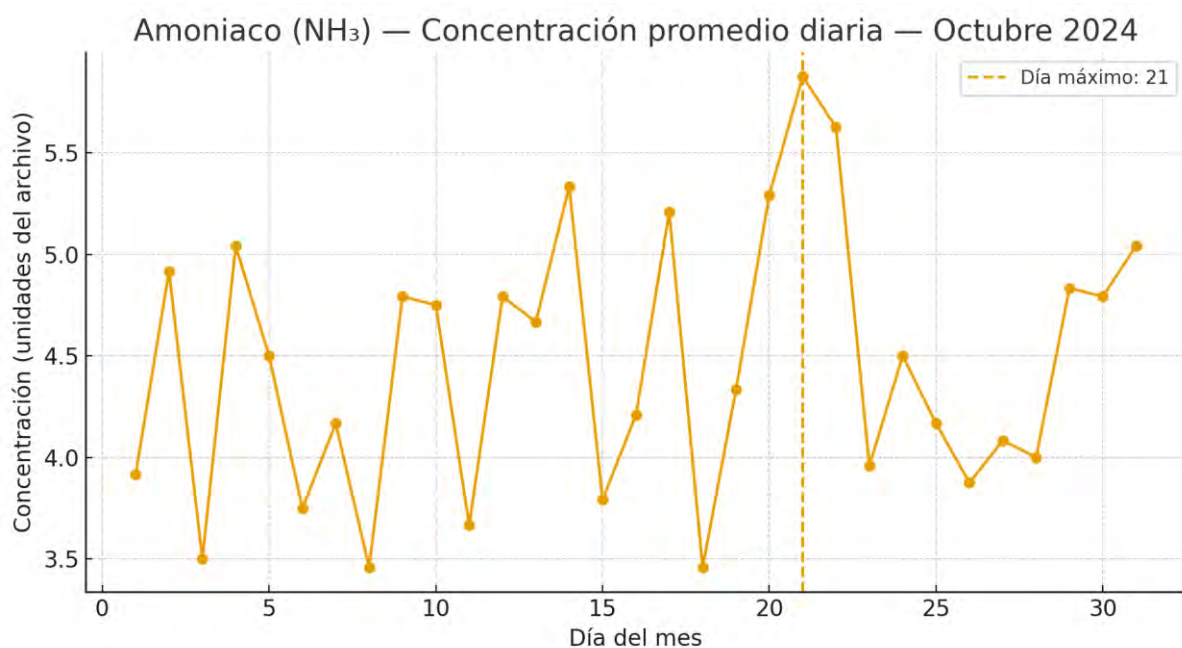
Los vientos provinieron principalmente del sur (S) y suroeste (SW), con velocidades de 2–4 m/s. El patrón circular muestra buena distribución direccional, lo que indica un entorno ventilado, aunque con momentos de baja velocidad que habrían permitido la acumulación temporal del amoniaco en la zona.

Figura 201: Isoconcentraciones del mes de setiembre de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



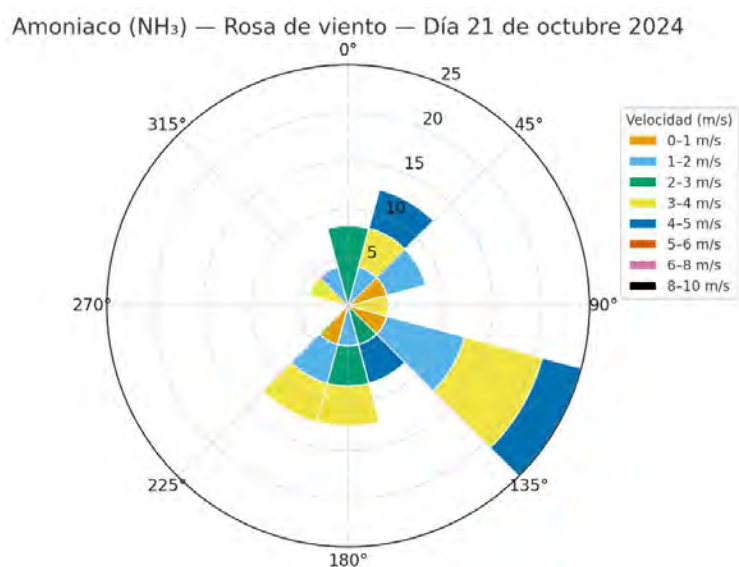
La Figura corresponde al mes de setiembre, donde la distribución de NH_3 muestra un patrón uniforme, con valores máximos cercanos a $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa una forma casi circular, con isoconcentraciones concéntricas que se expanden suavemente hacia las zonas periféricas. Este comportamiento indica condiciones meteorológicas favorables para la retención local del contaminante.

Figura 202: *Concentración promedio diaria — Octubre 2024*



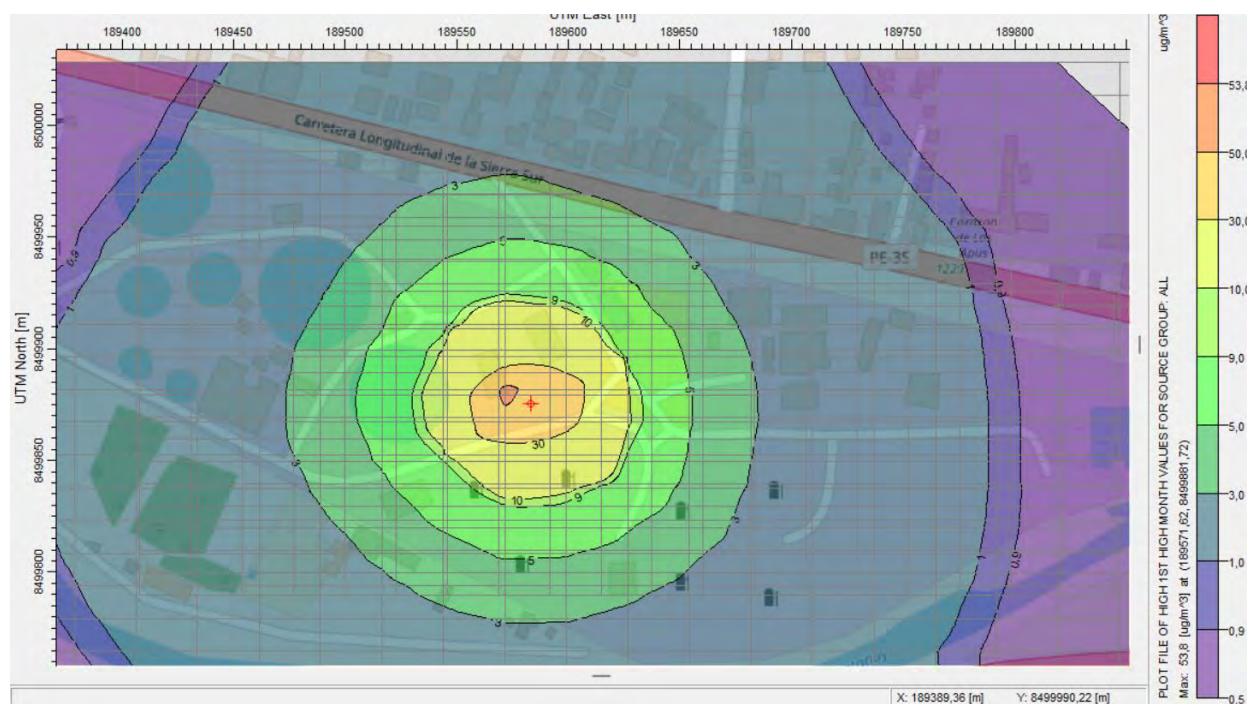
Durante octubre, las concentraciones se mantuvieron entre 3.5 y 5.8 unidades, con un pico máximo el día 21. El comportamiento general fue estable, con fluctuaciones de baja magnitud. El incremento hacia la tercera semana del mes podría relacionarse con disminuciones en la velocidad del viento y una mayor estabilidad térmica nocturna, condiciones propicias para la concentración de NH_3 en capas bajas.

Figura 203: NH_3 — Rosa de viento — Día 21 de octubre 2024



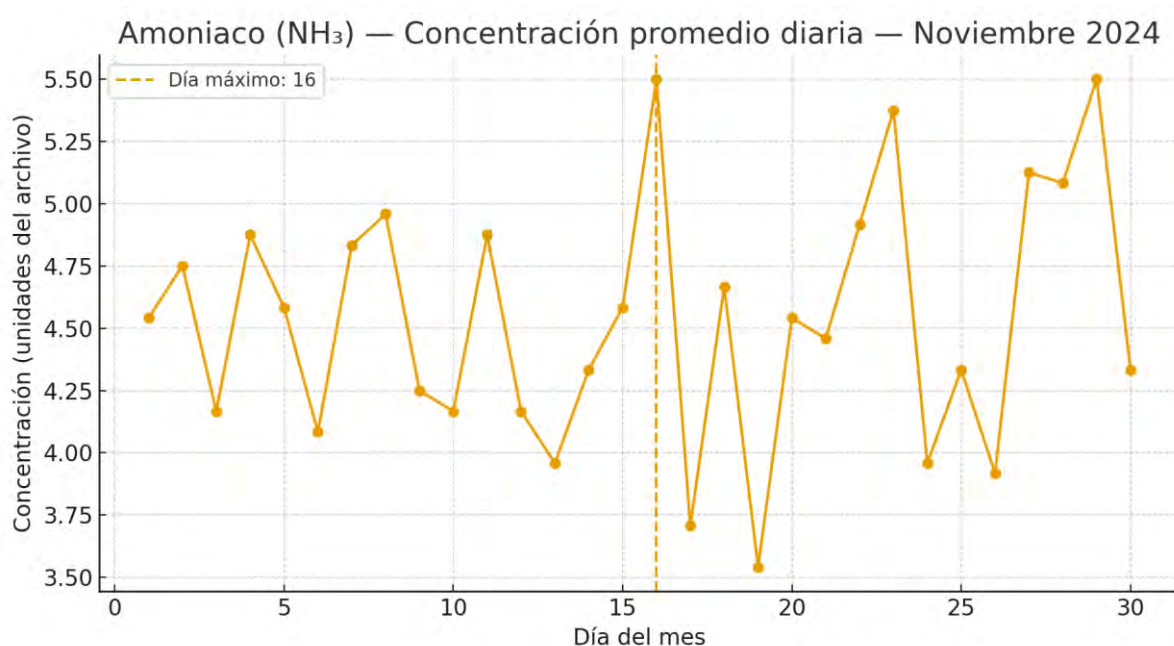
La rosa de viento muestra direcciones predominantes del sureste (SE) y sur (S), con velocidades de 1–3 m/s. La baja velocidad predominante sugiere una escasa capacidad de dispersión, lo que coincide con el aumento del contaminante observado en la concentración diaria.

Figura 204: Isoconcentraciones del mes de octubre de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



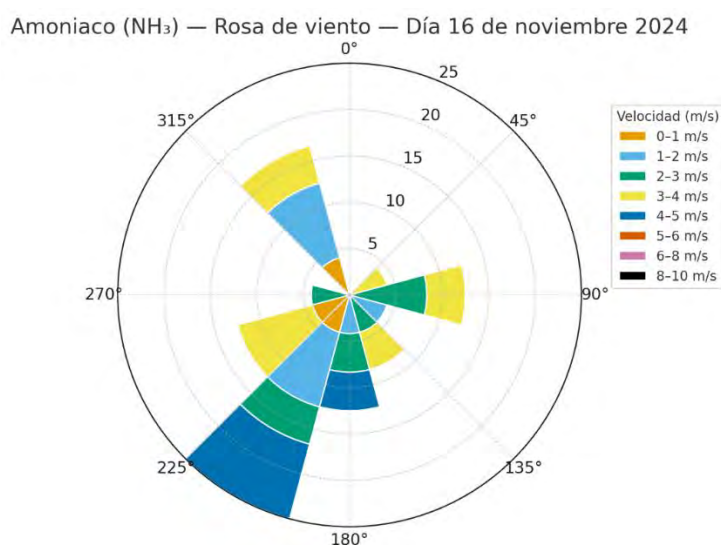
En la Figura, correspondiente al mes de octubre, las concentraciones máximas alcanzan aproximadamente $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El patrón de dispersión conserva una forma concéntrica con ligera elongación hacia el noreste, atribuible a la acción de vientos locales. El área de máxima concentración permanece centrada sobre la fuente, con un gradiente estable de disminución radial.

Figura 205: NH_3 — Concentración promedio diaria — Noviembre 2024



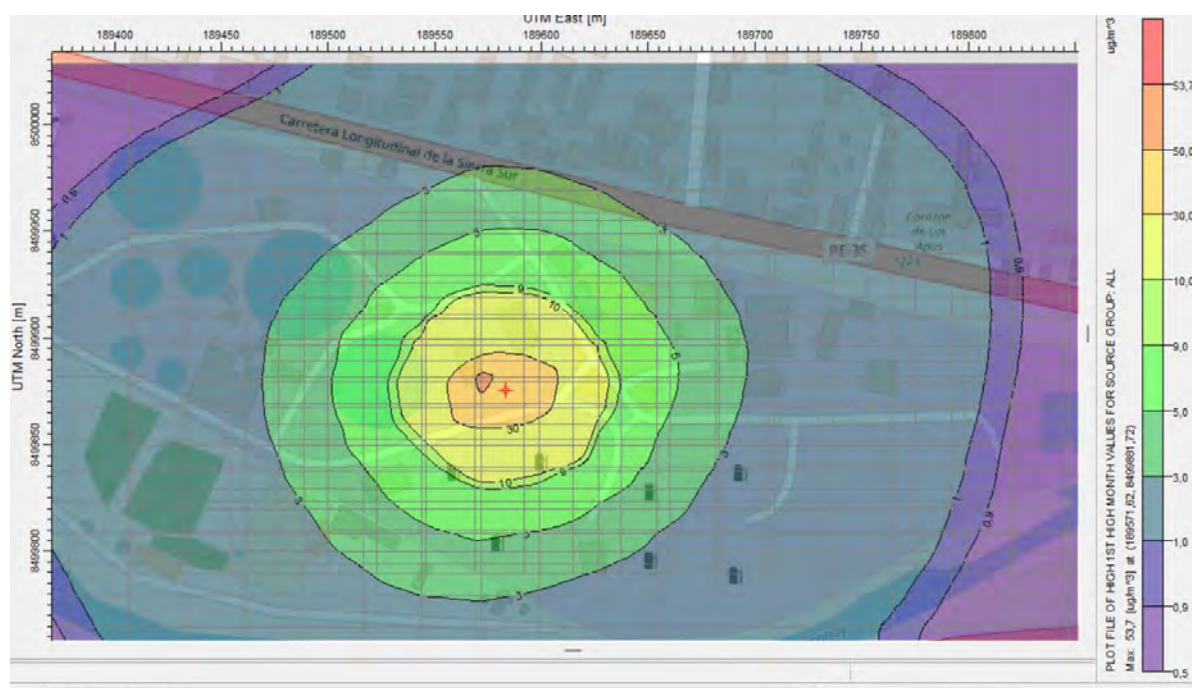
Durante noviembre, las concentraciones promedio diarias de amoníaco oscilaron entre 3.6 y 5.5 unidades, con un pico máximo el día 16. El mes mostró una variabilidad moderada, con varios incrementos hacia la segunda mitad del periodo. Este comportamiento puede estar asociado con condiciones de transición estacional, en las que el descenso de temperatura y la menor dispersión atmosférica propician la acumulación temporal de NH_3 en la capa baja.

Figura 206: NH_3 — Rosa de viento — Día 16 de noviembre 2024



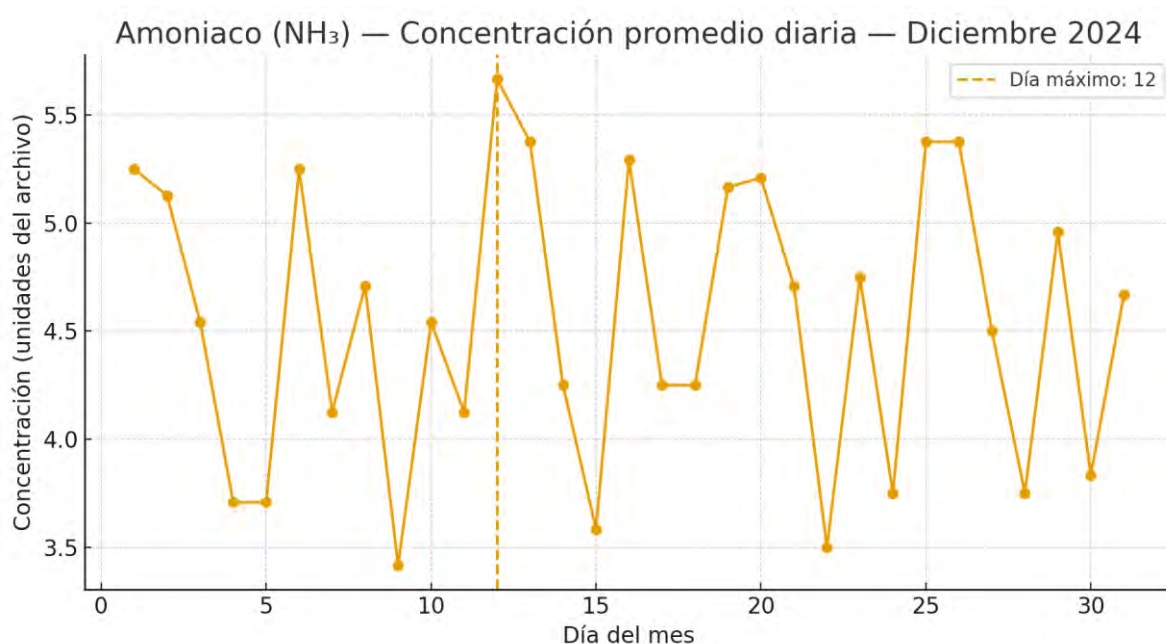
Los vientos predominantes se registraron del suroeste (SW) y sur (S), con velocidades entre 2 y 5 m/s, acompañadas de flujos secundarios del noroeste (NW). El patrón evidencia una dispersión moderada, con presencia de corrientes del cuadrante sur que podrían transportar emisiones desde zonas agrícolas o fuentes puntuales cercanas, coincidiendo con el incremento en concentración del día analizado.

Figura 207: Isoconcentraciones del mes de noviembre de NH_3 ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



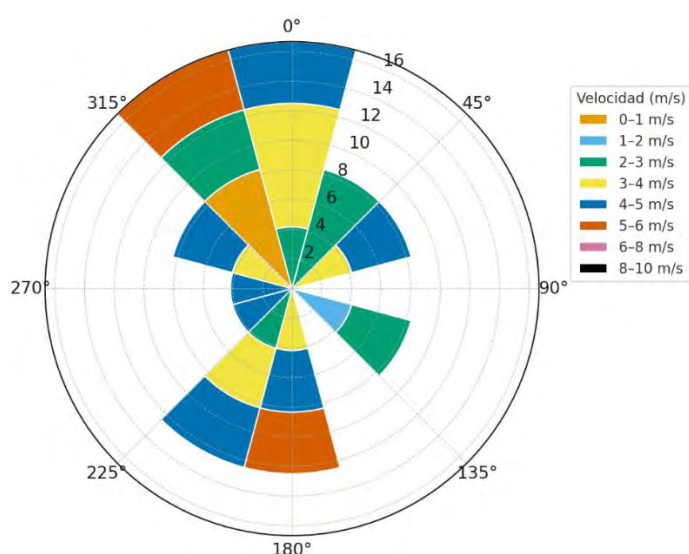
La Figura muestra las isoconcentraciones del mes de noviembre, manteniéndose la distribución circular y compacta del contaminante. El valor máximo registrado es del orden de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un gradiente descendente progresivo hacia el exterior del dominio. Se evidencia una estabilidad atmosférica constante, con mínima dispersión lateral.

Figura 208: NH_3 — Concentración promedio diaria — Diciembre 2024



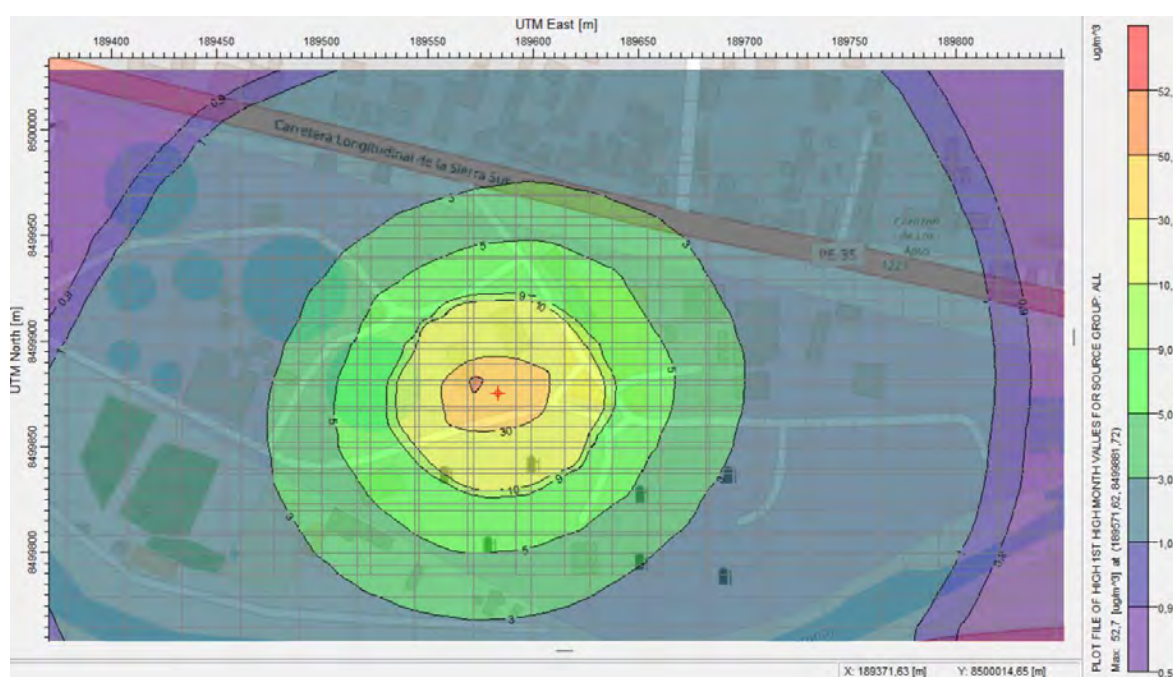
En diciembre, las concentraciones se mantuvieron entre 3.5 y 5.6 unidades, con un máximo el día 12. El comportamiento fue altamente oscilante, sin una tendencia clara, lo que refleja la influencia de procesos meteorológicos invernales: bajas temperaturas, humedad relativa elevada y vientos intermitentes. Estas condiciones reducen la volatilización del amoniaco, aunque los episodios de concentración alta pueden deberse a baja ventilación local.

Figura 209: NH_3 — Rosa de viento — Día 12 de diciembre 2024



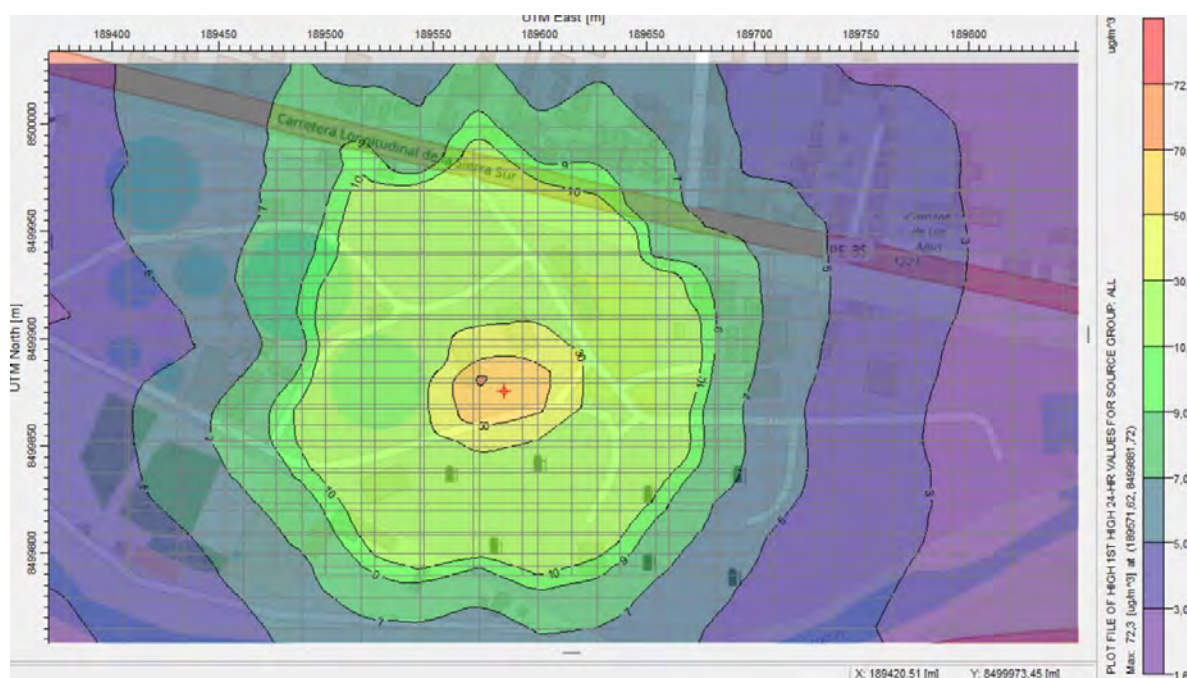
Los vientos provinieron principalmente del noroeste (NW) y suroeste (SW), con velocidades de 2 a 5 m/s, y algunos registros entre 5 y 6 m/s. La distribución direccional amplia y la presencia de velocidades medias sugiere una buena capacidad de dispersión, por lo que el pico de concentración observado probablemente se deba a emisiones locales recientes o procesos de acumulación temporal nocturna.

Figura 210: Isoconcentraciones del mes de diciembre de NH_3 ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024



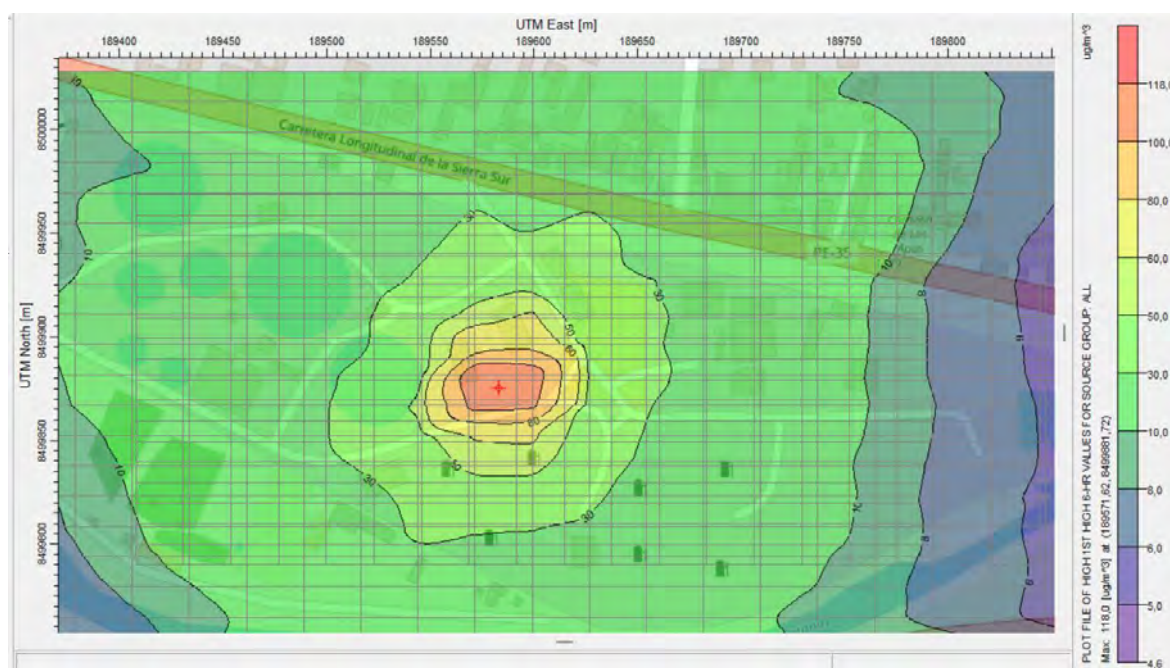
En la Figura, correspondiente al mes de diciembre, se observan concentraciones máximas de alrededor de $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, manteniendo la tendencia estable de los meses previos. La forma del penacho de dispersión es simétrica y el gradiente se atenúa gradualmente hacia los extremos, lo cual refleja condiciones meteorológicas estacionarias y baja turbulencia.

Figura 211: *Distribución espacial de concentraciones máximas 24 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco*



la Figura muestra la distribución de las concentraciones máximas de NH_3 promediadas en periodos de 24 horas, también para 2024. Las concentraciones máximas en este escenario alcanzan aproximadamente $72,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que indica picos de emisión más altos que en el promedio mensual, posiblemente asociados a condiciones específicas como bajas velocidades de viento o episodios de alta carga orgánica en la planta. La representación en intervalos de 24 horas permite identificar escenarios críticos de corta duración que no se evidencian en los promedios mensuales, aportando información clave para diseñar planes de mitigación específicos y reforzar la gestión de olores en la planta.

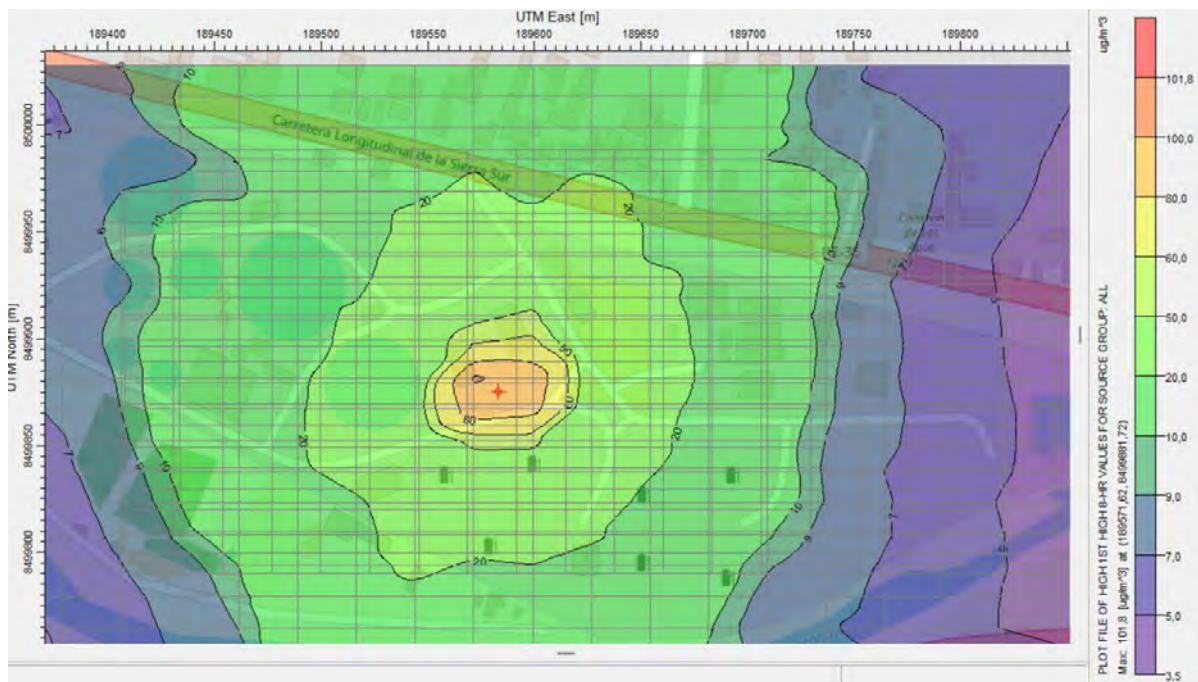
Figura 212: Distribución espacial de concentraciones 6 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco



Nota: Elaboración propia

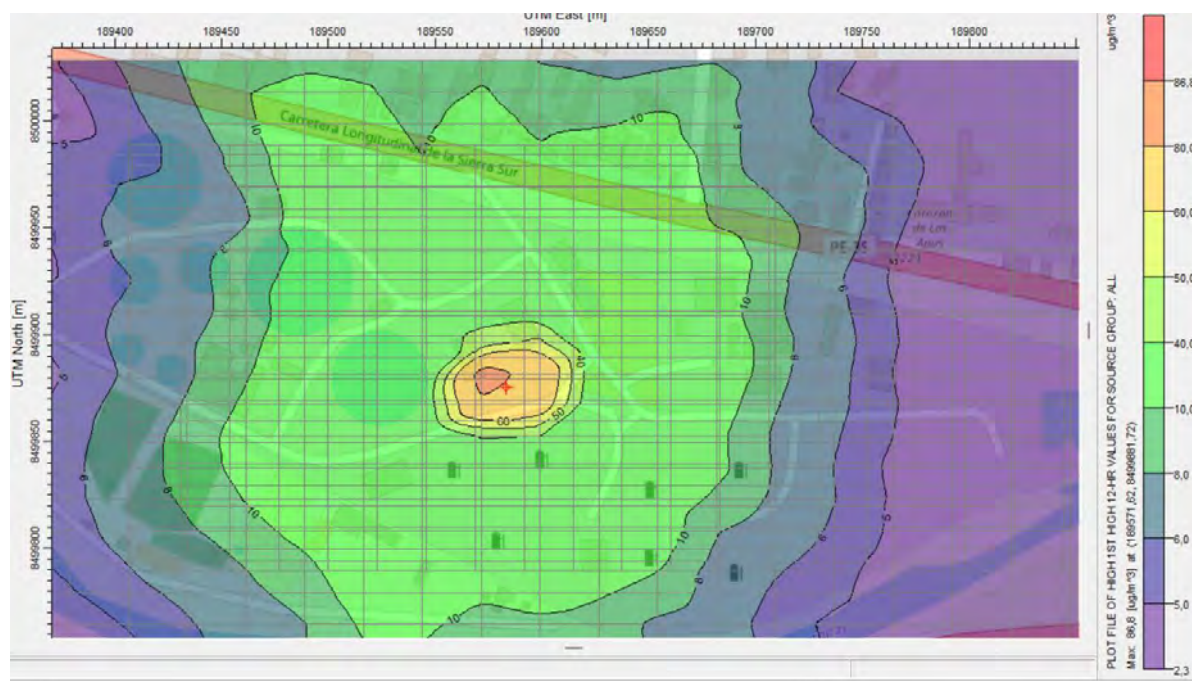
En la Figura se presentan las distribuciones espaciales de concentración de NH_3 para un período de 6 horas modeladas con AERMOD 8.9.0 en el área de San Jerónimo, Cusco. Se identifica un núcleo de máxima concentración que alcanza valores próximos a $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$, decreciendo progresivamente hacia el exterior. El patrón de dispersión sugiere condiciones de estabilidad moderada con leve influencia direccional del viento.

Figura 213: Distribución espacial de concentraciones 12 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco



La Figura representa la distribución espacial para un intervalo de 12 horas, donde las concentraciones máximas se reducen a aproximadamente $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La dispersión adquiere una forma más extendida y balanceada, mostrando una mejora en la ventilación atmosférica conforme aumenta el tiempo de promedio temporal.

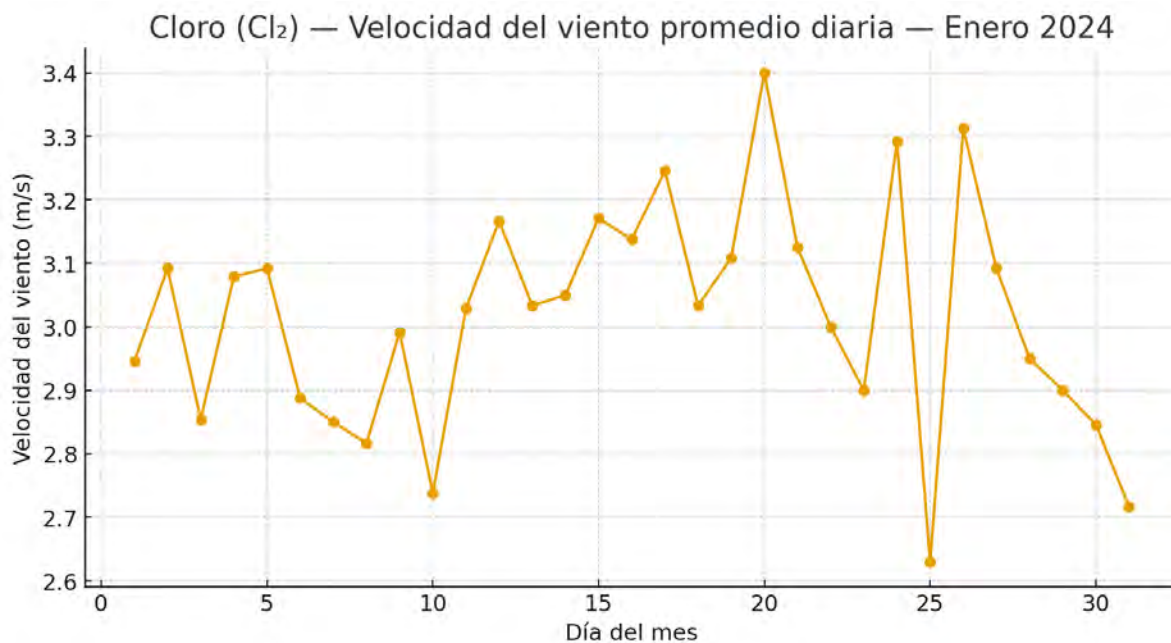
Figura 214: Distribución espacial de concentraciones 18 horas de NH_3 modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco



La Figura muestra las concentraciones de NH_3 promediadas en un período de 18 horas, con valores máximos del orden de 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa una expansión significativa del área de influencia del contaminante, con un gradiente más suave y menor concentración en el núcleo central. Este comportamiento refleja un mayor efecto de mezcla atmosférica y una dispersión más eficiente en comparación con los periodos de menor duración.

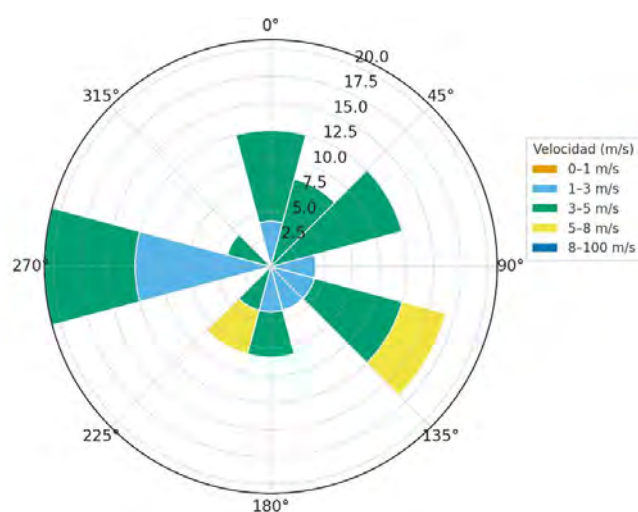
4.1.6 Dispersión de gases de cloro (Cl_2) en el aire.

Figura 215: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Enero 2024



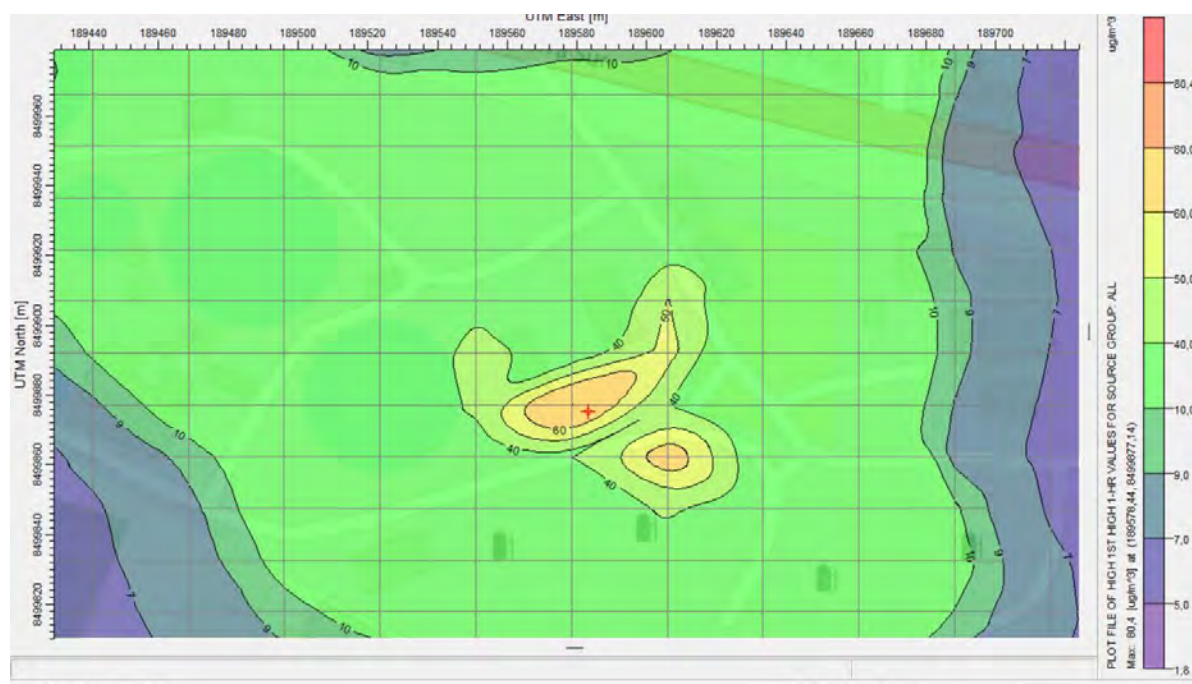
Durante enero, las velocidades promedio diarias del viento oscilaron entre 2.7 y 3.4 m/s, con un incremento gradual hacia la tercera semana del mes. La dinámica muestra una tendencia ascendente, alcanzando el valor máximo alrededor del día 22, lo que sugiere condiciones de dispersión moderada a favorable para la dilución de contaminantes en la atmósfera.

Figura 216: *Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 20 de enero 2024*



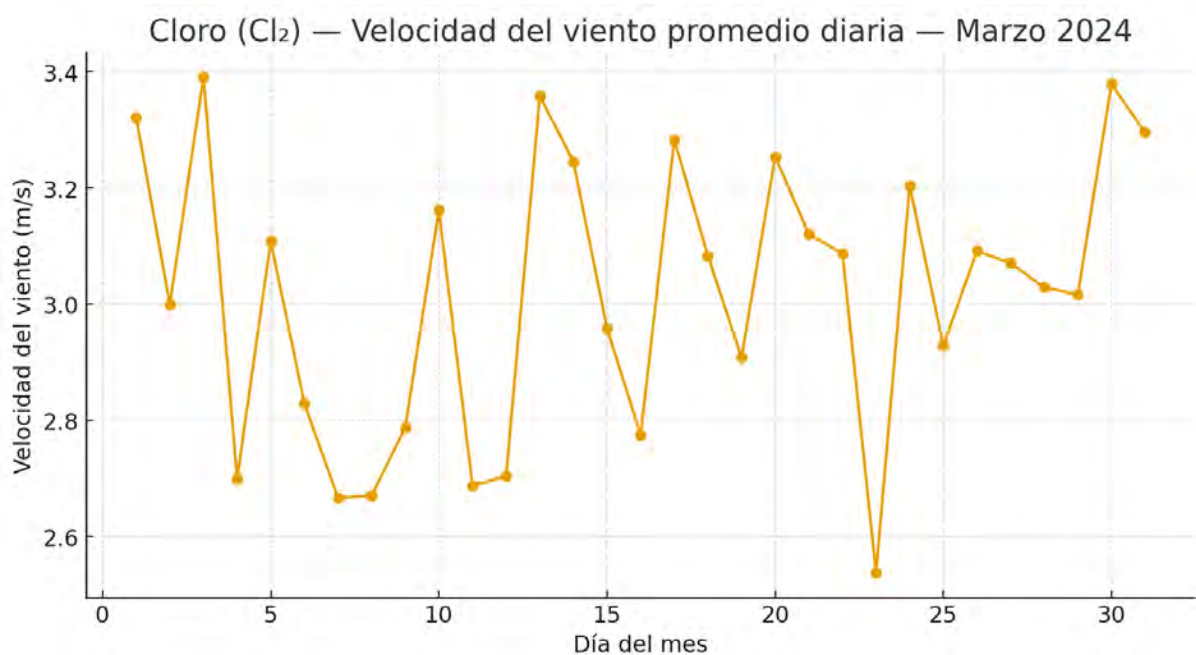
Los vientos predominantes provinieron de los cuadrantes oeste (W) y sureste (SE), con velocidades principalmente entre 3 y 5 m/s, y presencia de flujos de hasta 8 m/s. La configuración sugiere una dispersión eficiente del Cl_2 , influenciada por corrientes cruzadas que favorecen la renovación del aire en la zona.

Figura 217: *Isoconcentraciones del mes de enero de Cloro (Cl_2) ($\mu g/m^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.*



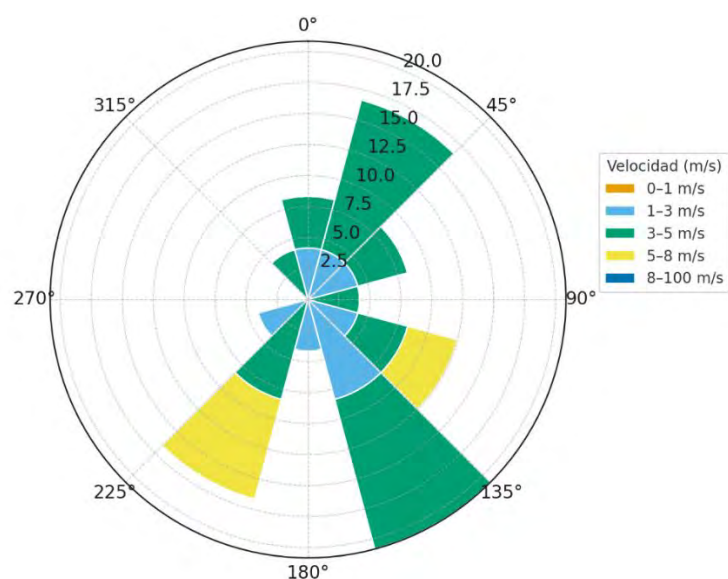
La *Figura* muestra las isoconcentraciones del mes de enero de Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 (2024). Se aprecia un núcleo principal de concentración ubicado cerca de la fuente emisora, con valores máximos aproximados de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El patrón de dispersión es irregular y se extiende ligeramente hacia el este, influenciado por los vientos dominantes. Las concentraciones disminuyen de forma progresiva hacia las zonas periféricas, reflejando una adecuada dispersión atmosférica.

Figura 218: *Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Marzo 2024*



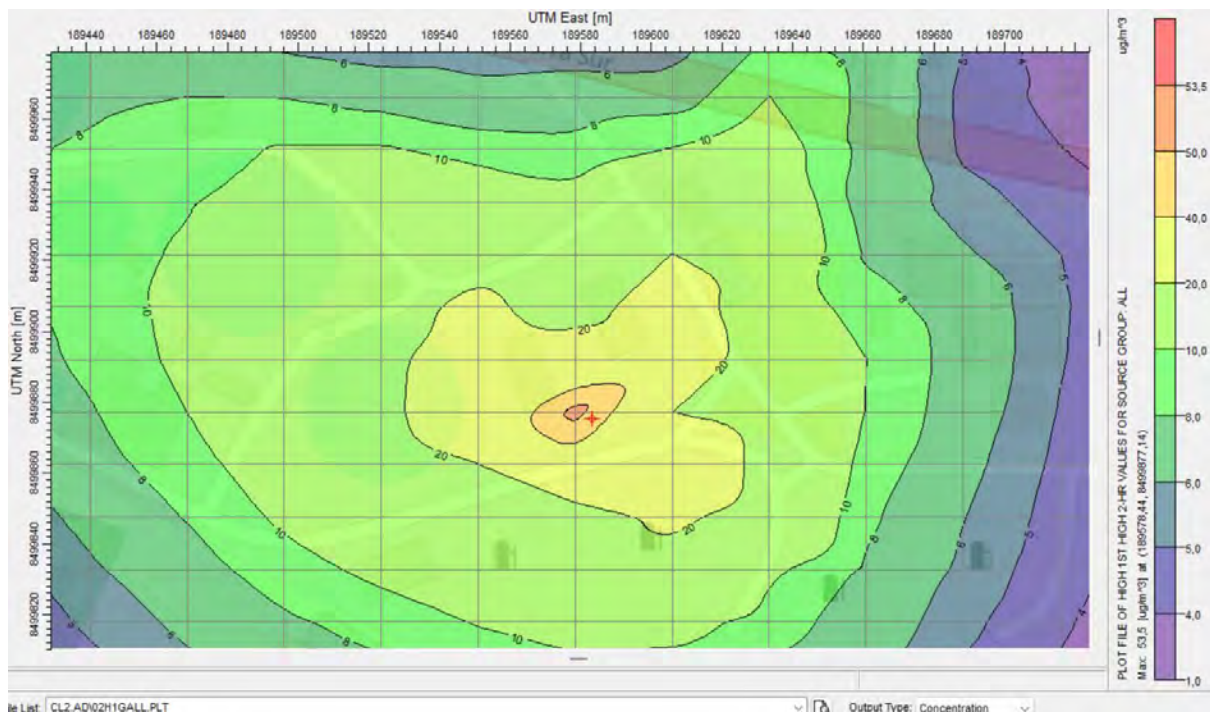
En marzo, la velocidad promedio del viento se mantuvo entre 2.6 y 3.4 m/s, mostrando variabilidad diaria alta. Los valores más bajos se presentaron entre los días 18 y 24, coincidiendo con condiciones de calma relativa que pueden favorecer acumulaciones puntuales de contaminantes.

Figura 219: *Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 3 de marzo 2024*



Los vientos dominantes provinieron del sur-sureste (SSE) y este (E), con velocidades entre 3 y 5 m/s, y ráfagas en el rango 5–8 m/s. El patrón direccional muestra una influencia dual, con corrientes alternadas que pueden dispersar el Cl_2 hacia distintos cuadrantes, dependiendo de las condiciones térmicas locales.

Figura 220: Isoconcentraciones del mes de febrero de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



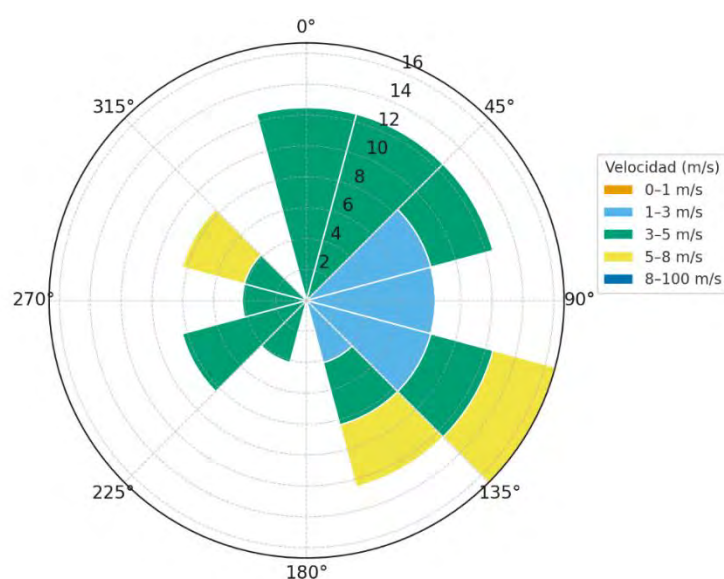
En la Figura se observan las isoconcentraciones correspondientes al mes de febrero, con una distribución similar a la del mes anterior. Las concentraciones más elevadas alcanzan valores de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un núcleo central bien definido. La pluma de dispersión mantiene una orientación hacia el noreste, evidenciando la continuidad del patrón de transporte de contaminantes en esta dirección.

Figura 221: *Cloro (Cl₂) — Velocidad del viento promedio diaria — Abril 2024*



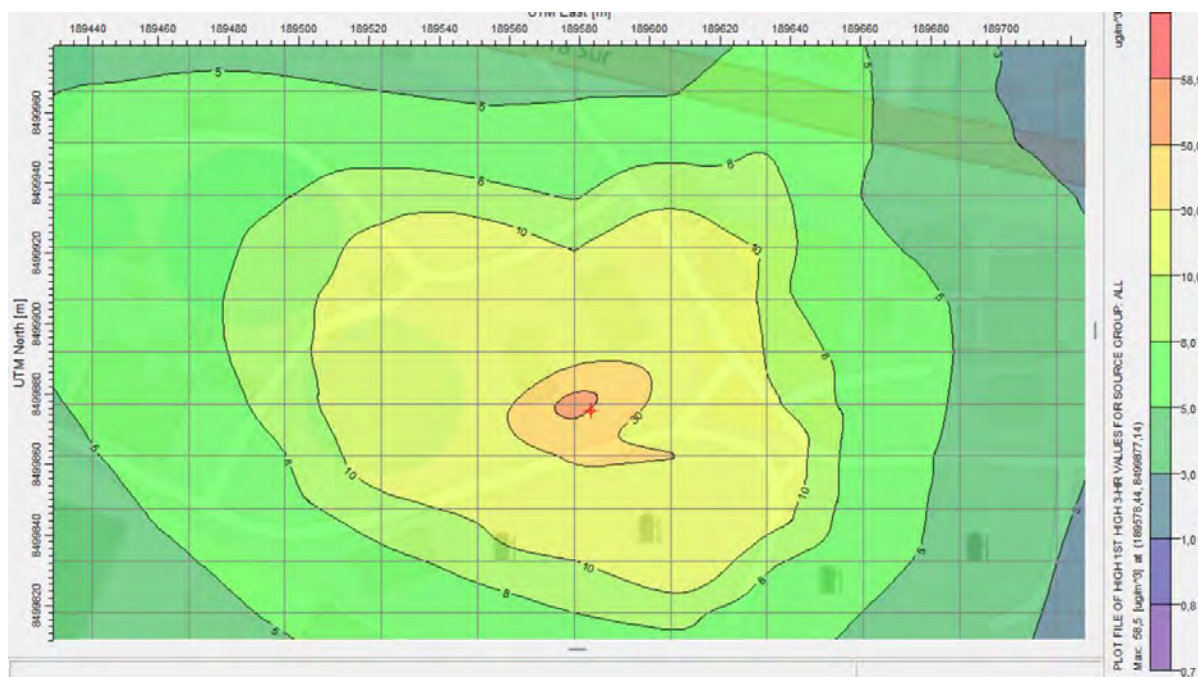
Las velocidades se situaron entre 2.6 y 3.5 m/s, con un aumento gradual hacia finales del mes. Los picos de velocidad registrados los días 5 y 25 reflejan episodios de transporte horizontal activo, lo que mejora la ventilación atmosférica y reduce la posibilidad de concentraciones elevadas.

Figura 222: *Cloro (Cl₂) — Rosa de viento — Día 25 de abril 2024*



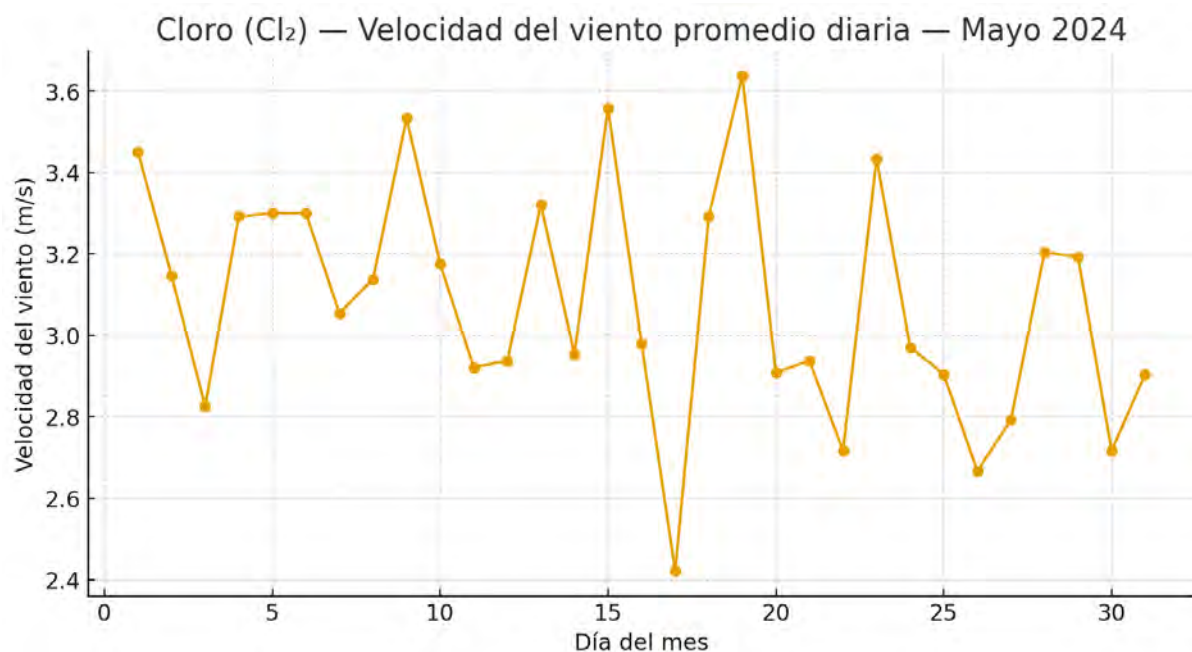
Se observó predominancia de vientos del este (E) y sureste (SE), con velocidades de 3 a 5 m/s y algunas ráfagas entre 5 y 8 m/s. La distribución de direcciones sugiere una circulación estable, favoreciendo la dispersión y evitando acumulación significativa del Cl_2 .

Figura 223 Isoconcentraciones del mes de marzo de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



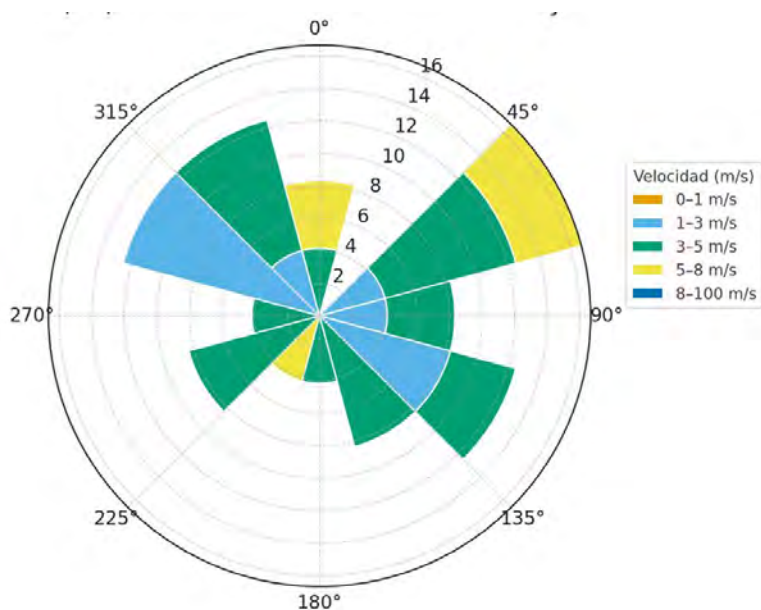
La Figura presenta las isoconcentraciones del mes de marzo, mostrando un comportamiento estable respecto a los meses previos. El valor máximo registrado alcanza aproximadamente $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una forma de penacho elíptico centrado en la fuente. La disminución radial de las concentraciones indica una dispersión controlada, manteniendo la tendencia estacional observada durante el primer trimestre del año.

Figura 224: Cloro (Cl₂) — Velocidad del viento promedio diaria — Mayo 2024



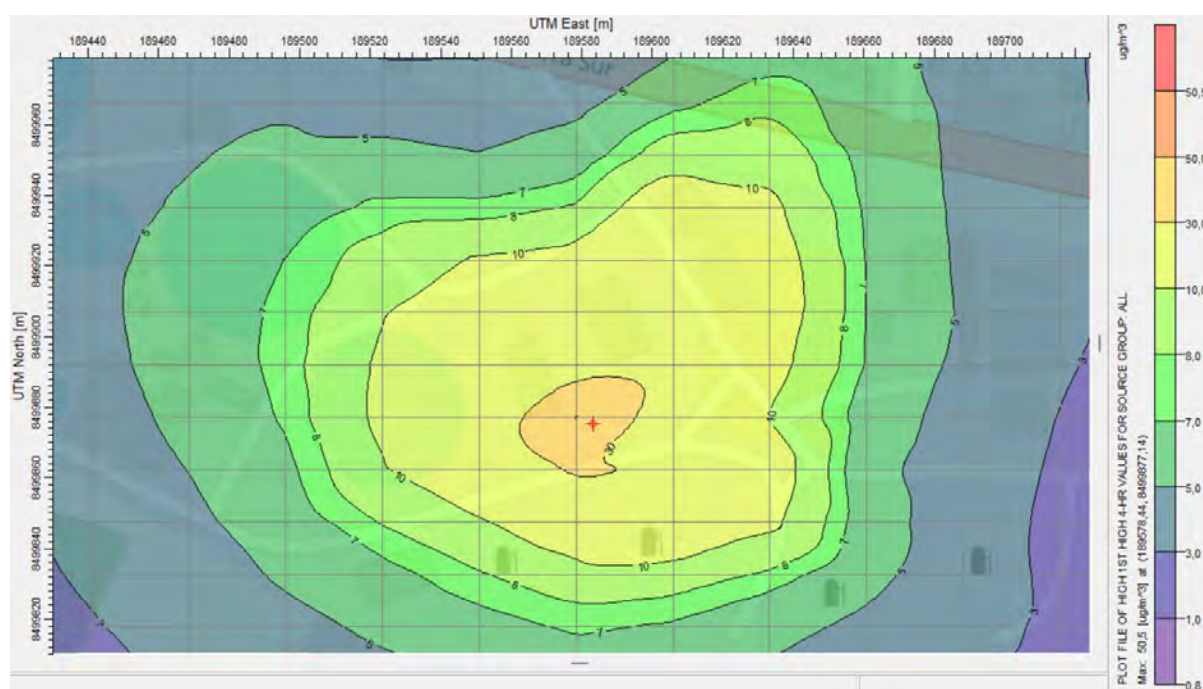
El mes de mayo presentó velocidades entre 2.4 y 3.6 m/s, con episodios de calma momentánea (día 17) y aumentos abruptos posteriores. La oscilación registrada indica una transición atmosférica de primavera a verano, donde los cambios de presión y temperatura modifican el comportamiento del viento.

Figura 225: Cloro (Cl₂) — Rosa de viento — Día 19 de mayo 2024



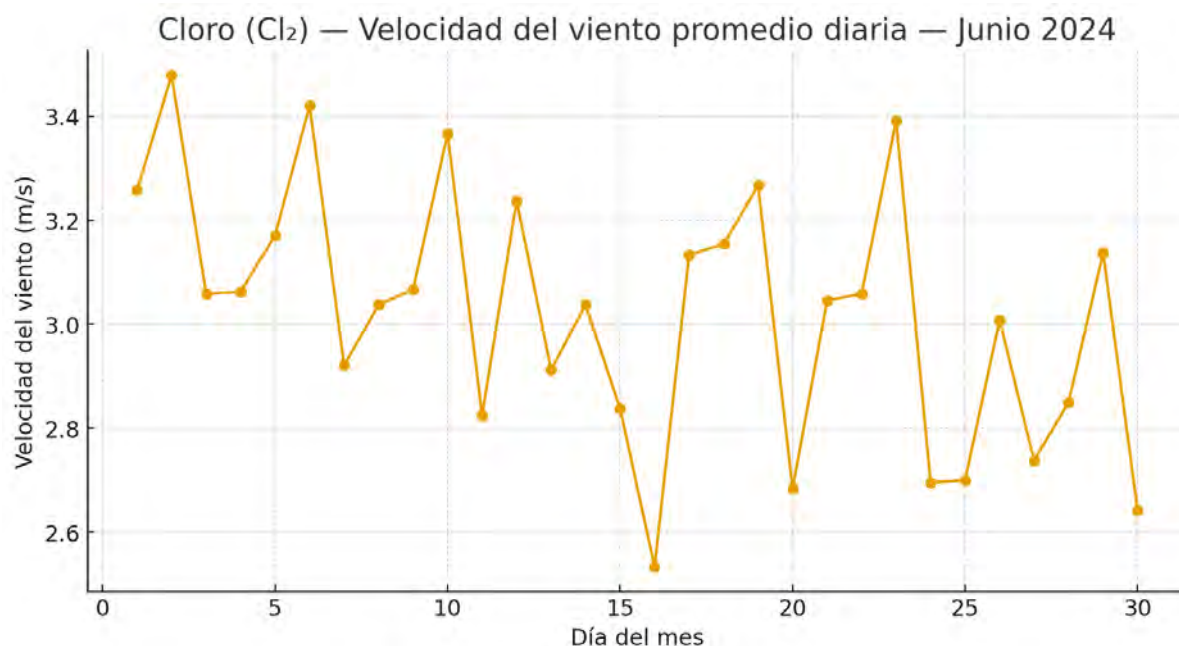
Los vientos se orientaron principalmente desde el este (E) y noreste (NE), con velocidades dominantes entre 3 y 5 m/s y ráfagas de hasta 8 m/s. El patrón direccional evidencia una rotación parcial hacia los cuadrantes orientales, lo que podría influir en la dispersión diferenciada del Cl_2 en superficie.

Figura 226 Isoconcentraciones del mes de abril de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



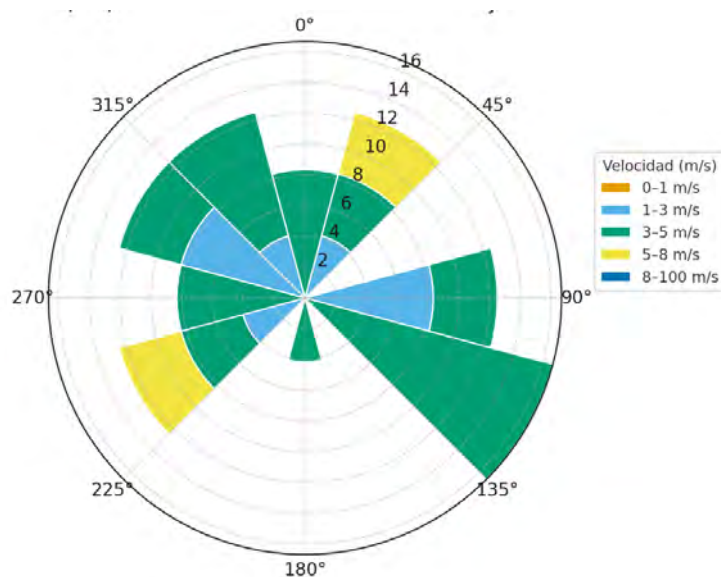
En la Figura, correspondiente al mes de abril, se observa un patrón más simétrico de dispersión con concentraciones máximas del orden de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las isolíneas adoptan una forma concéntrica, lo que sugiere condiciones atmosféricas más estables y menor turbulencia. Se evidencia un área de influencia más amplia que en los meses anteriores, reflejando un incremento en la mezcla vertical del contaminante.

Figura 227: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Junio 2024



Durante junio, las velocidades variaron entre 2.5 y 3.5 m/s, con fluctuaciones más marcadas hacia la mitad del mes. Los valores mínimos alrededor del día 15 reflejan condiciones de baja turbulencia, mientras que los picos de los días 5 y 23 indican ventilación activa.

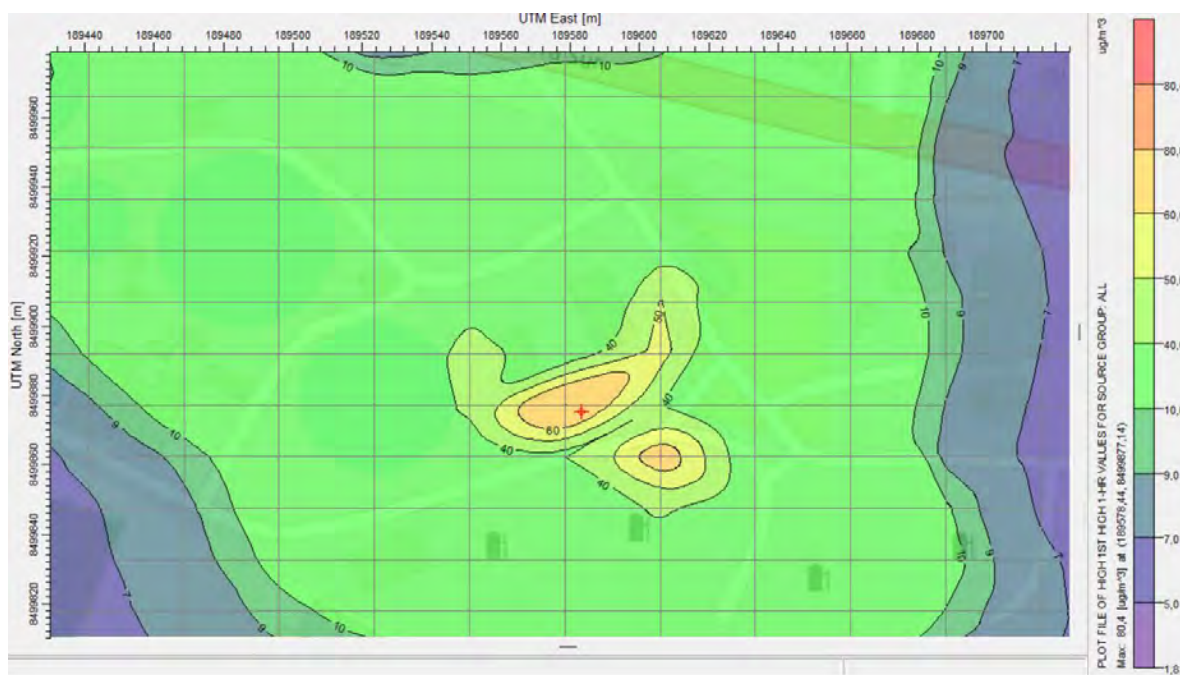
Figura 228: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 2 de junio 2024



La dirección dominante fue del sureste (SE) y este (E), con velocidades promedio entre 3 y 5 m/s y presencia de intervalos superiores a 5 m/s. Este patrón sugiere condiciones

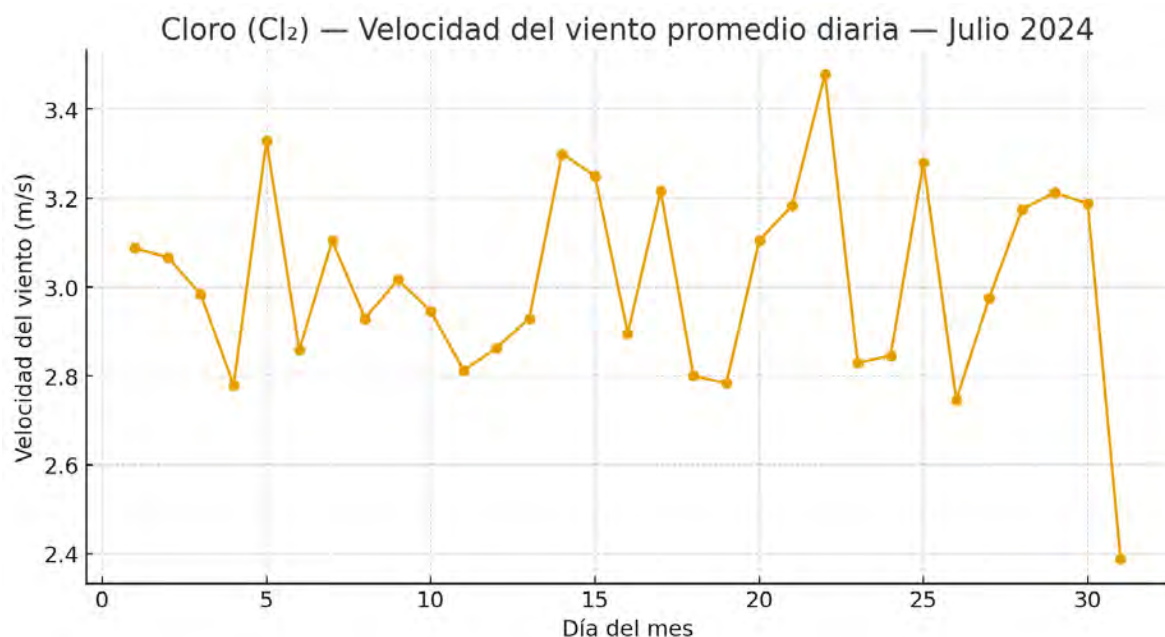
favorables de dispersión, con corrientes predominantes que facilitan la dilución del Cl_2 hacia el cuadrante occidental.

Figura 229 Isoconcentraciones del mes de mayo de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



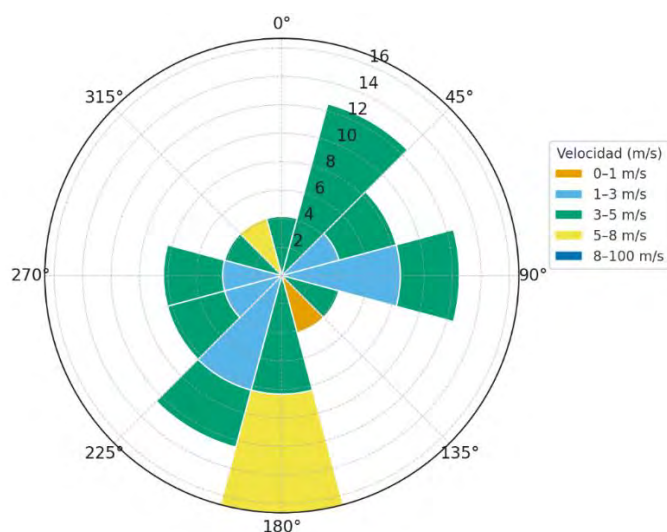
La Figura muestra las isoconcentraciones del mes de mayo, con dos núcleos de concentración diferenciados y valores máximos cercanos a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este comportamiento irregular indica una dispersión afectada por variaciones en la dirección del viento o por turbulencia local. El área de mayor concentración se encuentra próxima a la fuente, mientras que las zonas periféricas muestran valores bajos.

Figura 230: Cloro (Cl₂) — Velocidad del viento promedio diaria — Julio 2024



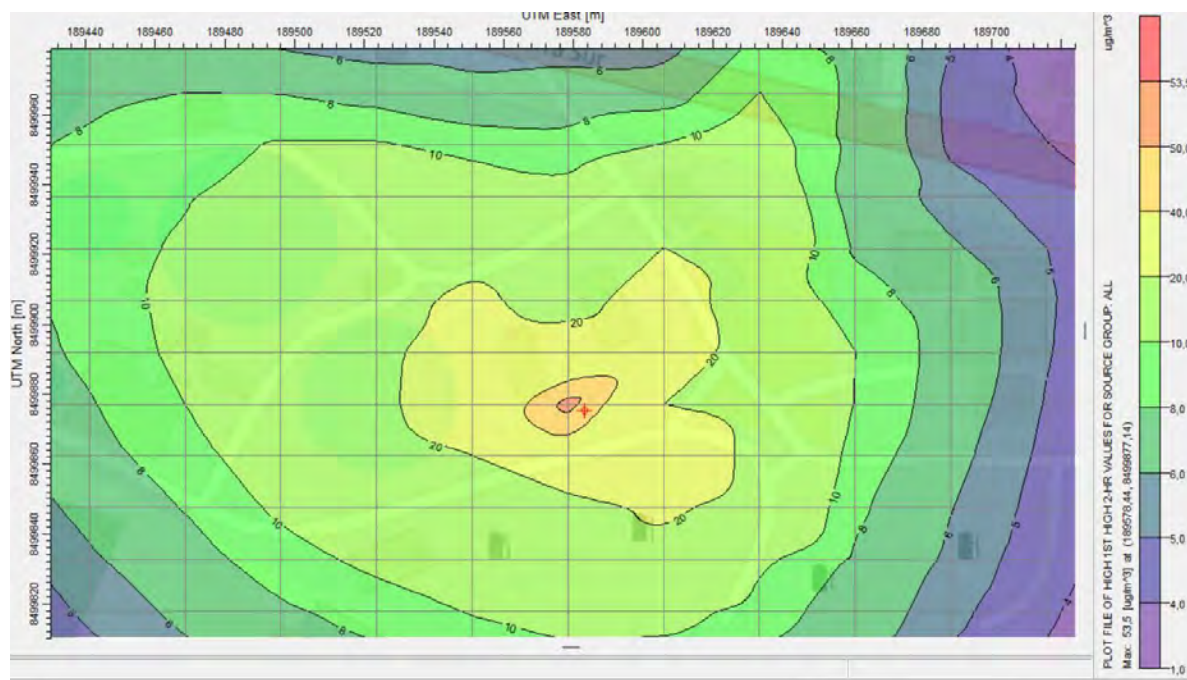
Durante julio, la velocidad promedio diaria del viento se mantuvo entre 2.4 y 3.4 m/s, con una media cercana a 3.0 m/s. Se observa una variabilidad moderada, con picos destacados hacia los días 5, 17 y 22, coincidiendo con los valores máximos mensuales. Estas condiciones reflejan una dispersión atmosférica eficiente, típica de los meses más cálidos del año, cuando la convección térmica es más activa.

Figura 231: Cloro (Cl₂) — Rosa de viento — Día 22 de julio 2024



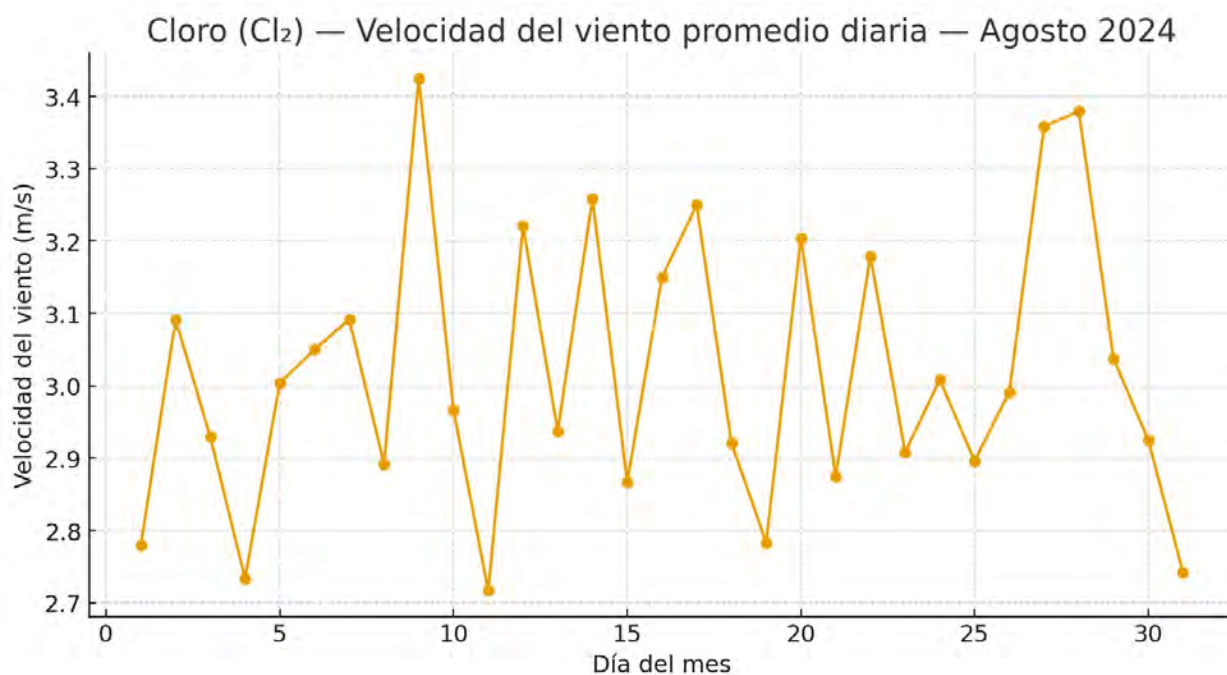
La dirección predominante del viento fue sur (S) y este (E), con velocidades de 3–5 m/s y ráfagas superiores a 5 m/s. El patrón indica una circulación mixta con predominio de flujos meridionales que favorecen la renovación del aire y reducen la acumulación del Cl_2 .

Figura 232: Isoconcentraciones del mes de junio de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



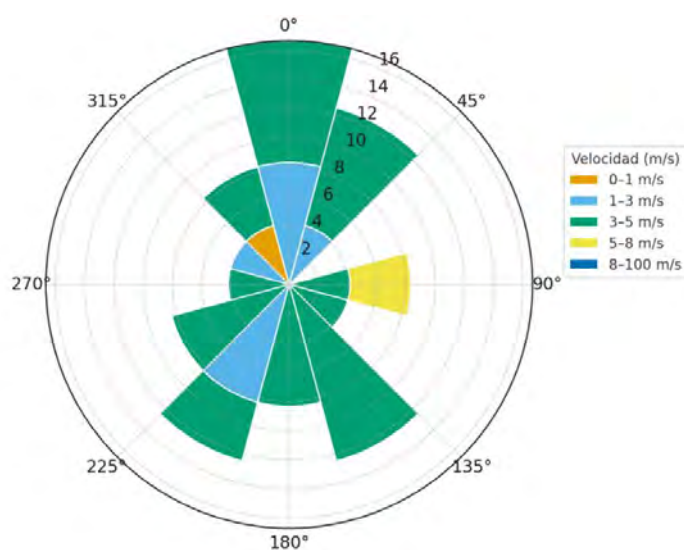
En la Figura, correspondiente al mes de junio, las concentraciones presentan un valor máximo cercano a $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El patrón de dispersión se amplía y muestra una distribución más extendida, con isolíneas que se orientan hacia el noreste. Este comportamiento sugiere condiciones atmosféricas más favorables para la dispersión, con un transporte de contaminantes más uniforme.

Figura 233: Cloro (Cl₂) — Velocidad del viento promedio diaria — Agosto 2024



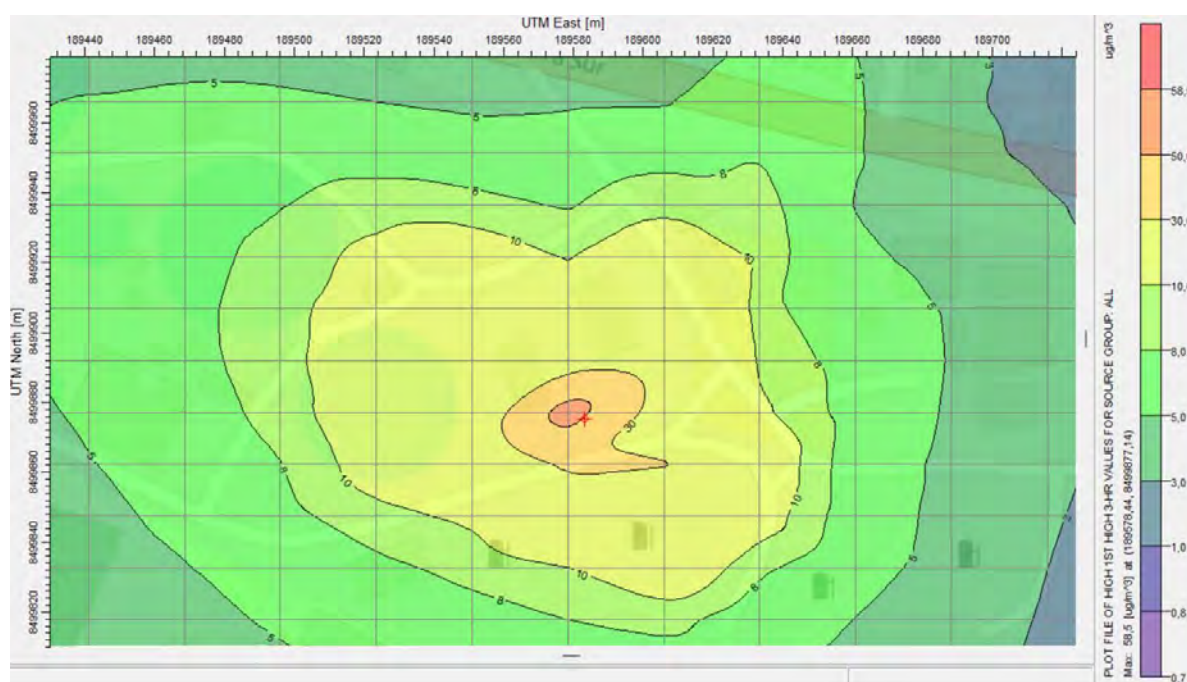
En agosto, las velocidades oscilaron entre 2.7 y 3.4 m/s, manteniendo una variación interdiaria ligera con predominio de valores cercanos a 3.0 m/s. Los días 10 y 28 registraron los valores máximos mensuales, reflejando picos asociados a frentes térmicos o variaciones locales de presión. El comportamiento general del viento sugiere una ventilación constante y efectiva durante el mes.

Figura 234: Cloro (Cl₂) — Rosa de viento — Día 9 de agosto 2024



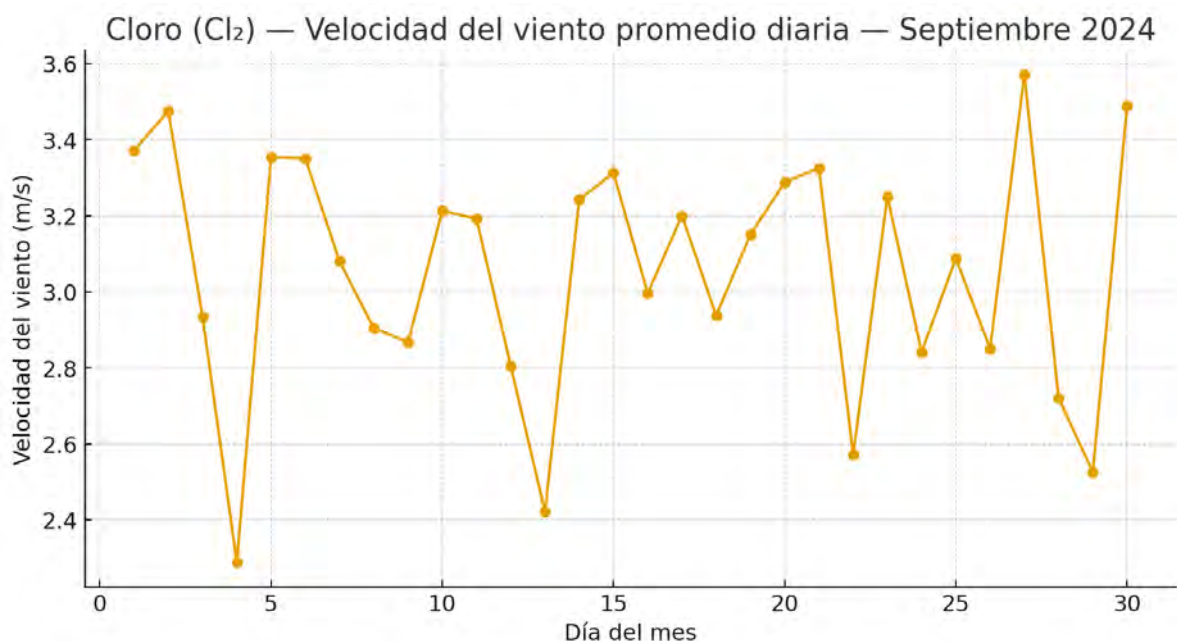
Los vientos se dirigieron principalmente desde el norte (N) y sureste (SE), con velocidades dominantes entre 3 y 5 m/s. La rosa de viento muestra una distribución moderadamente uniforme, lo que indica una dispersión homogénea del Cl_2 sin direcciones de acumulación preferente.

Figura 235: Isoconcentraciones del mes de julio de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



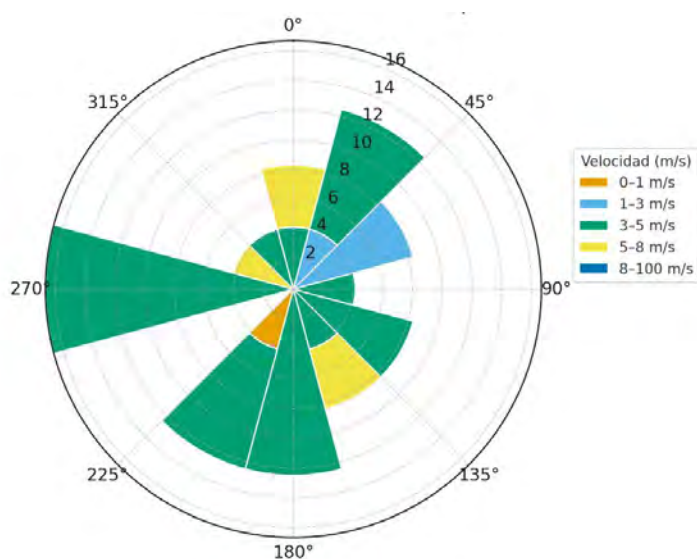
La Figura 107 muestra las isoconcentraciones del mes de julio de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0 – 2024. Se aprecia un núcleo central de mayor concentración con valores próximos a $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rodeado por isolíneas que decrecen de manera progresiva hacia los límites del dominio. La dispersión presenta una ligera orientación hacia el este, lo que sugiere influencia de vientos predominantes en dicha dirección.

Figura 236: *Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Septiembre 2024*



Durante septiembre, la velocidad promedio diaria del viento osciló entre 2.3 y 3.6 m/s, con un comportamiento irregular y picos destacados los días 2, 5 y 29. Las disminuciones notorias (días 3 y 23) sugieren episodios de calma relativa, los cuales podrían asociarse a aumentos puntuales en concentraciones de contaminantes.

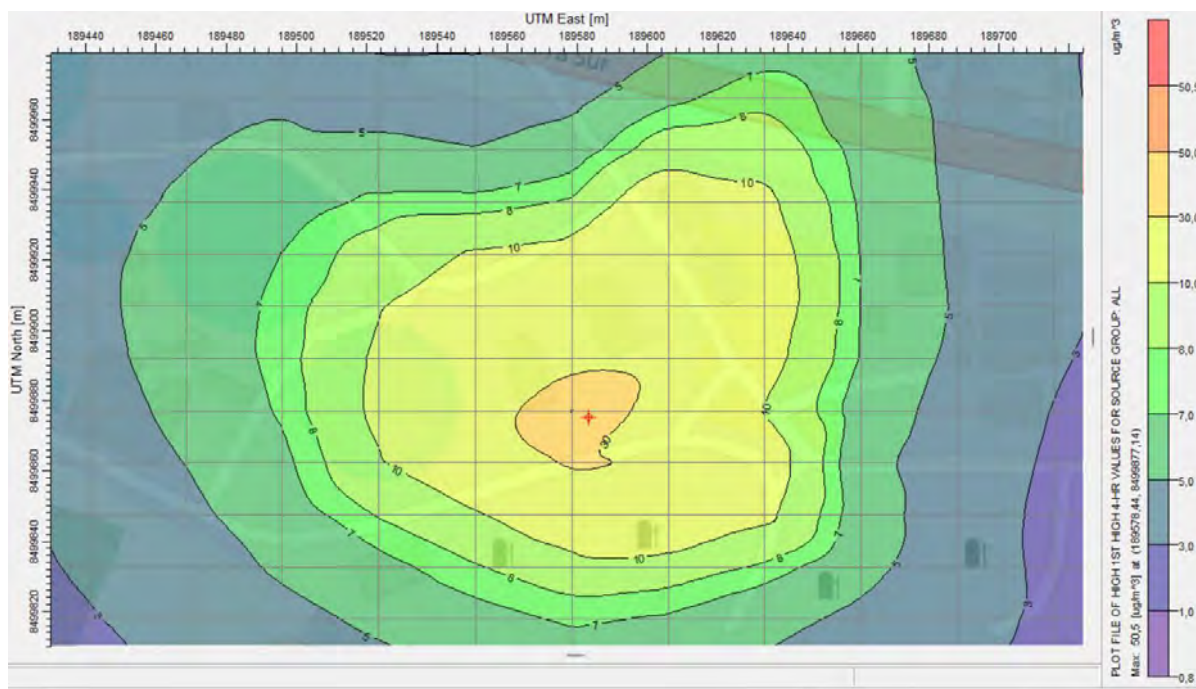
Figura 237: *Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 27 de septiembre 2024*



Predominan vientos del sur (S) y oeste (W) con intensidades de 3 a 5 m/s, y algunos flujos de 5 a 8 m/s. Este patrón muestra una dispersión activa con transporte cruzado,

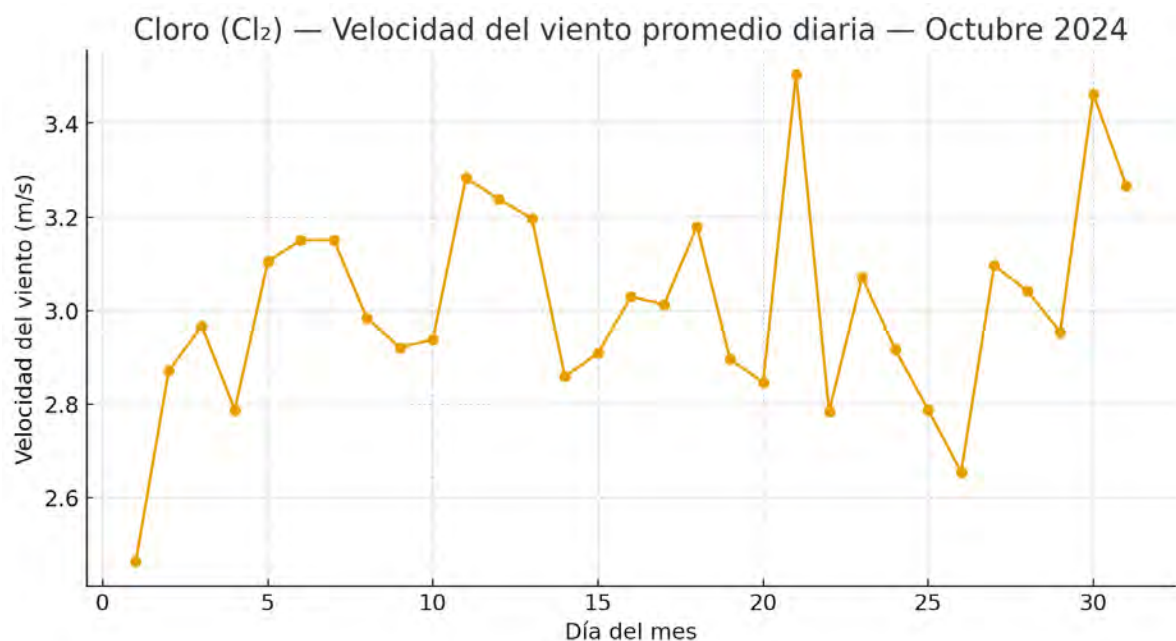
característica de la transición estacional hacia el otoño, donde los gradientes térmicos se acentúan.

Figura 238: Isoconcentraciones del mes de agosto de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



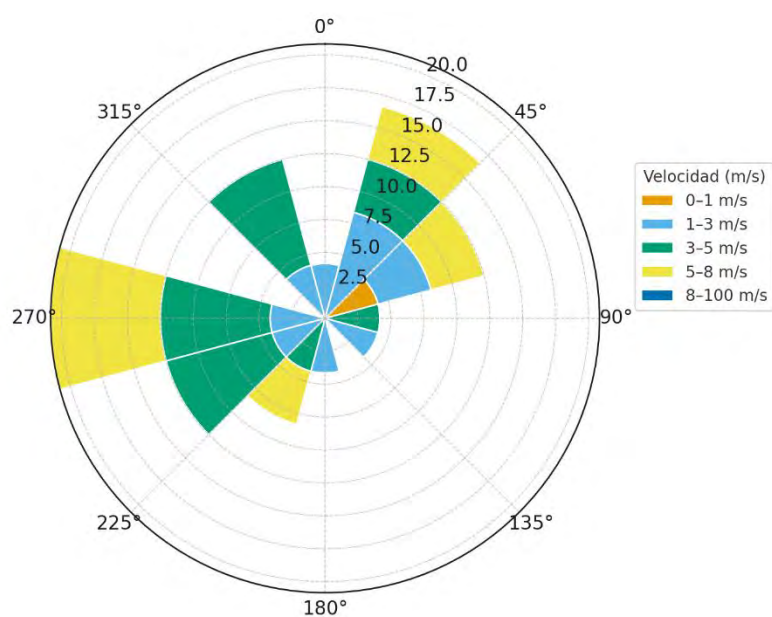
En la Figura 108, correspondiente al mes de agosto, las concentraciones máximas alcanzan aproximadamente $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución de las isolíneas muestra un patrón concéntrico, con un gradiente de concentración bien definido y un comportamiento más uniforme que el mes anterior. Esto refleja condiciones atmosféricas estables con una ventilación moderada.

Figura 239: Cloro (Cl_2) — Velocidad del viento promedio diaria — Octubre 2024



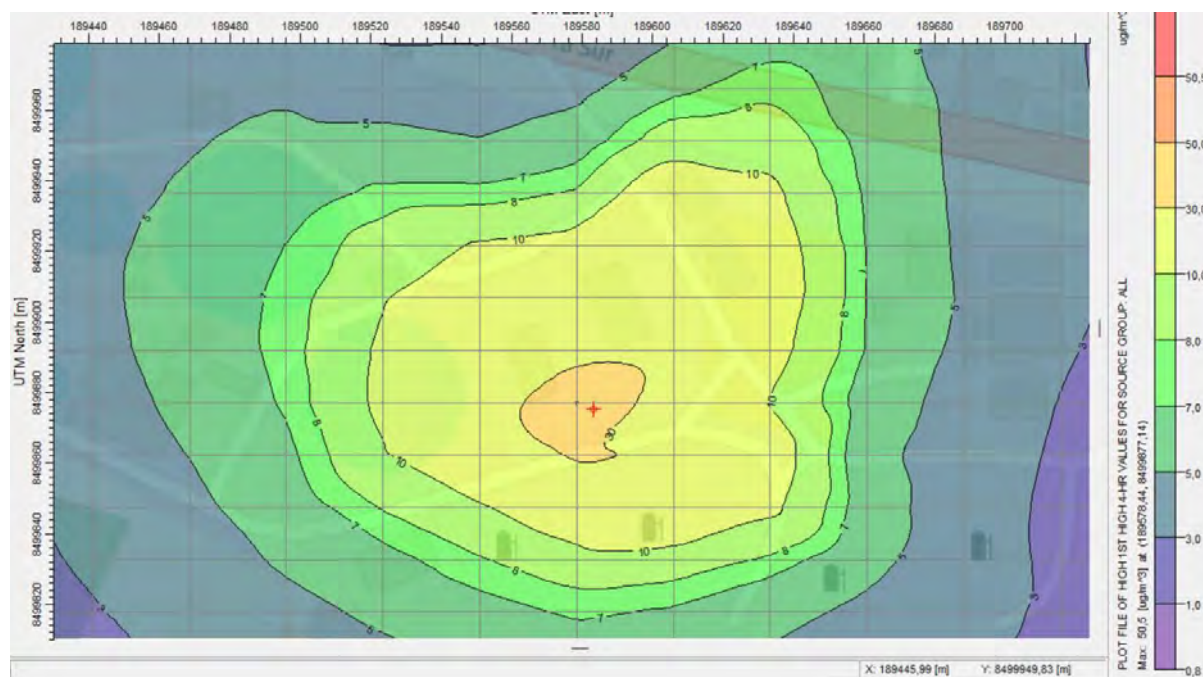
El mes de octubre presentó velocidades entre 2.5 y 3.5 m/s, con una tendencia ascendente hacia finales del mes. Los picos más notorios ocurrieron los días 20 y 30, indicando condiciones de alta ventilación. En general, se mantuvo una dispersión atmosférica favorable, aunque con breves episodios de menor movimiento eólico entre los días 7 y 12.

Figura 240: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 21 de octubre 2024



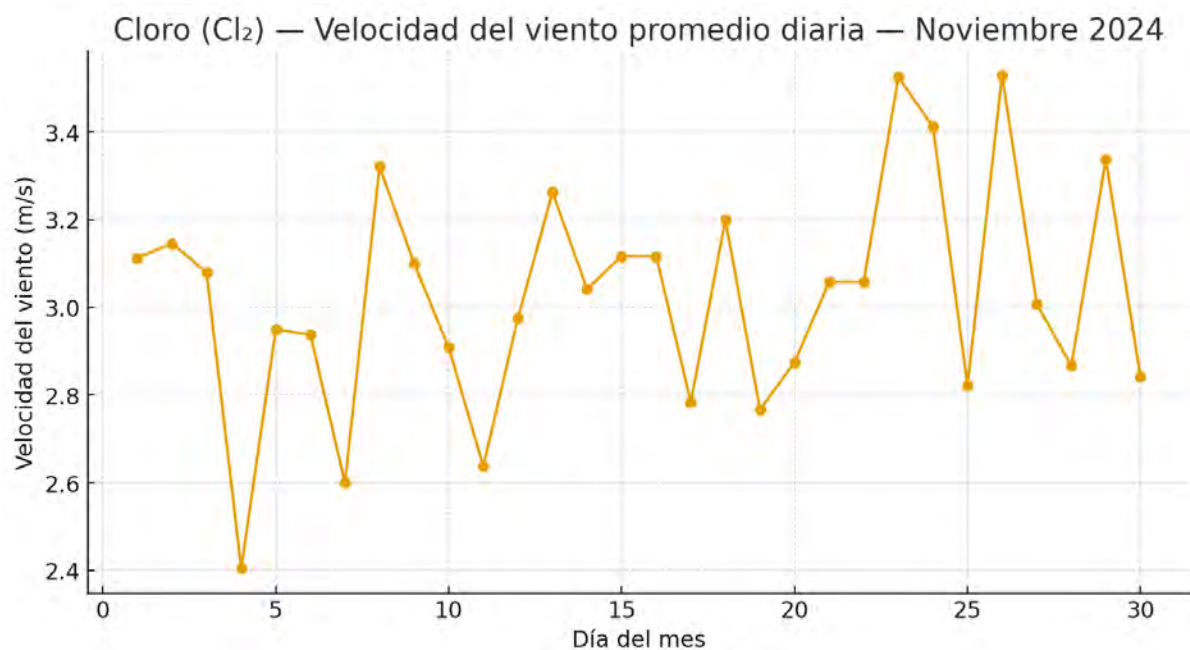
Se registró predominio de vientos del oeste (W) y noroeste (NW), con velocidades de 3 a 5 m/s y ráfagas entre 5 y 8 m/s. El patrón direccional indica una circulación típica de otoño, con flujos más secos y estables, contribuyendo a una dispersión eficiente del Cl_2 .

Figura 241: Isoconcentraciones del mes de setiembre de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



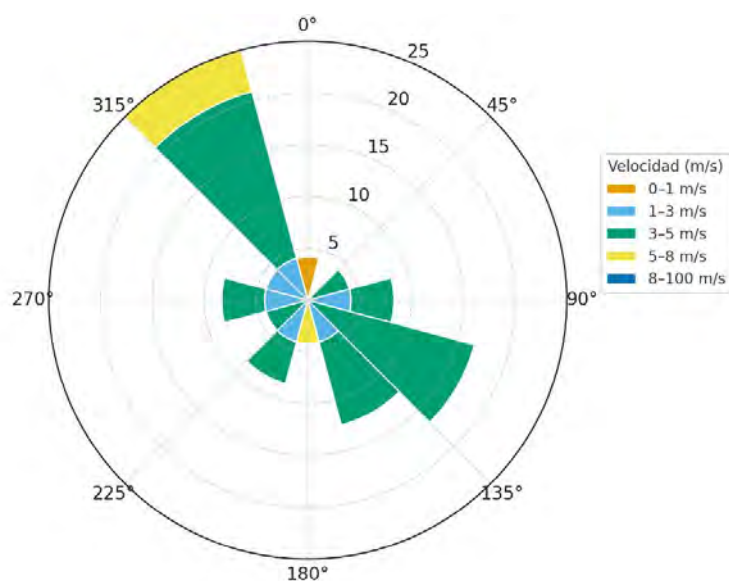
La Figura representa las isoconcentraciones de setiembre, donde el máximo de concentración de NH_3 llega a alrededor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El penacho de dispersión muestra una forma elíptica con leve elongación hacia el noreste, probablemente asociada a cambios direccionales del viento. Se mantiene la tendencia de concentraciones decrecientes con la distancia al punto de emisión.

Figura 242: Cloro (Cl₂) — Velocidad del viento promedio diaria — Noviembre 2024



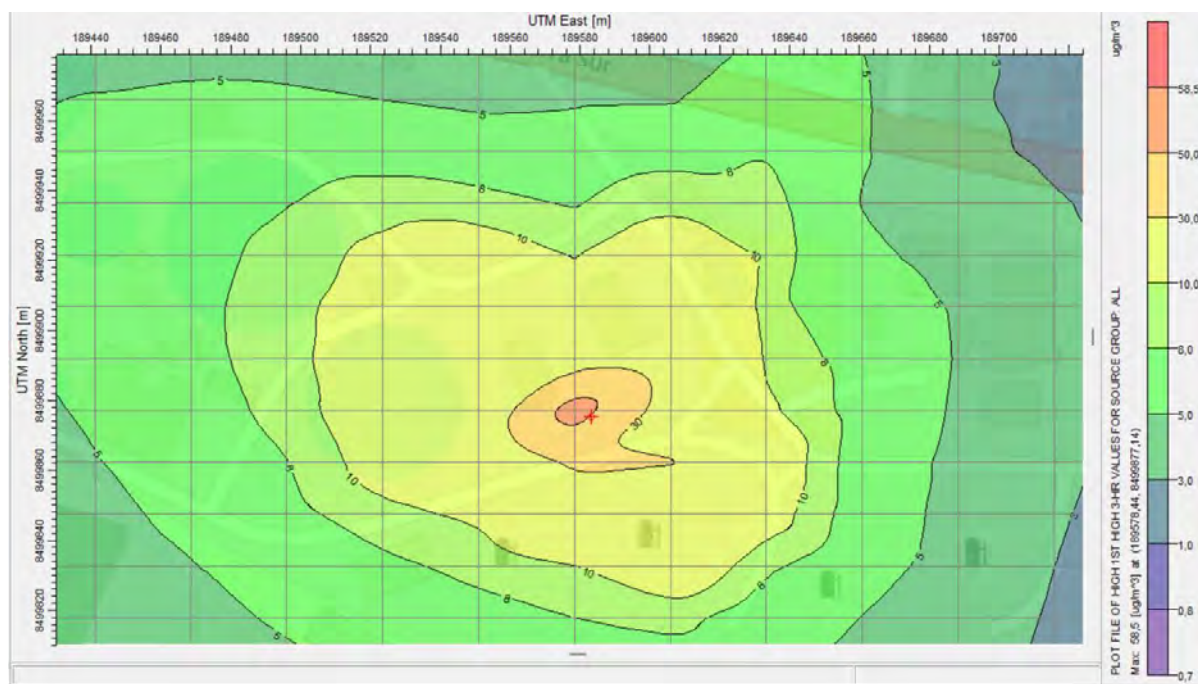
Las velocidades promedio oscilaron entre 2.4 y 3.4 m/s, con fluctuaciones moderadas y valores máximos los días 23 y 25. El promedio mensual se mantuvo en torno a 3.0 m/s, reflejando condiciones de ventilación estable, aunque con episodios breves de calma a inicios del mes.

Figura 243: Cloro (Cl₂) — Rosa de viento — Día 26 de noviembre 2024



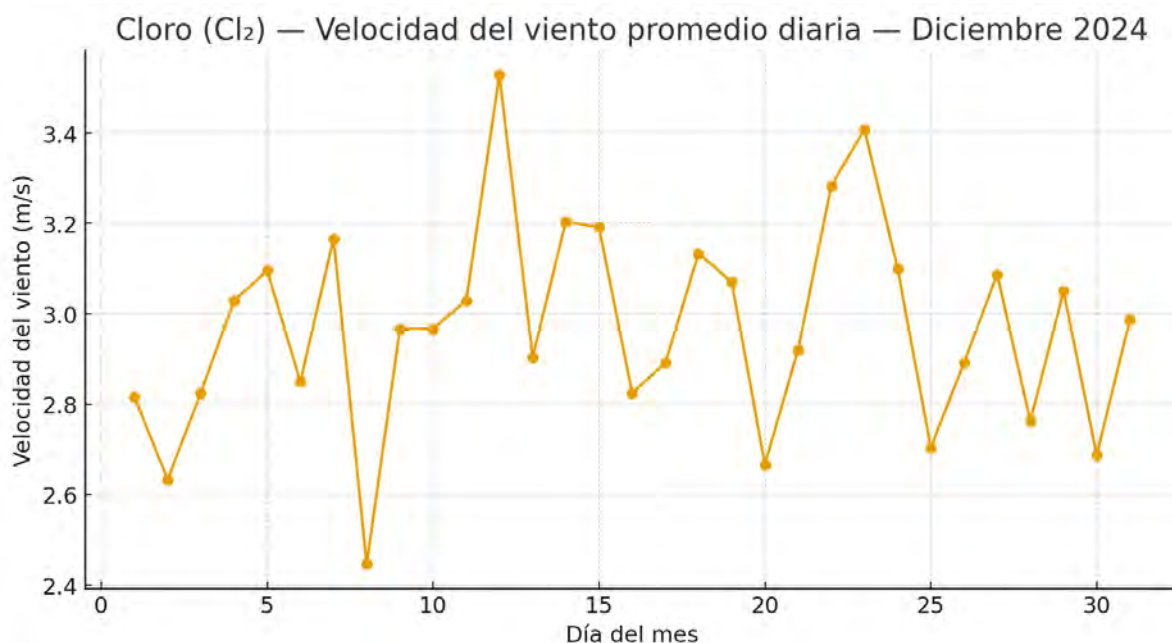
Los vientos dominantes provinieron del noroeste (NW) y sureste (SE), con intensidades de 3–5 m/s y ráfagas aisladas de hasta 8 m/s. El patrón muestra una alternancia direccional significativa, común en el periodo de transición hacia el invierno, lo que mantiene una dispersión intermitente pero efectiva del Cl_2 .

Figura 244 Isoconcentraciones del mes de octubre de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



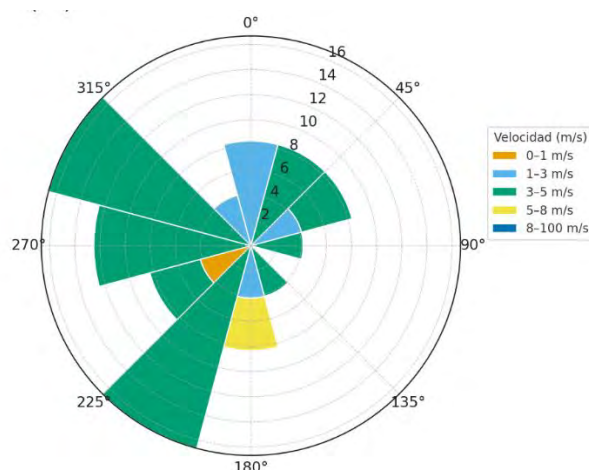
En la Figura, correspondiente al mes de octubre, el patrón de dispersión presenta una morfología más extendida con valores máximos de $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las isoconcentraciones se expanden asimétricamente, indicando mayor influencia de la dinámica del viento y la topografía local. Se observa una dispersión más amplia respecto a los meses precedentes.

Figura 245: *Cloro (Cl₂) — Velocidad del viento promedio diaria — Diciembre 2024*



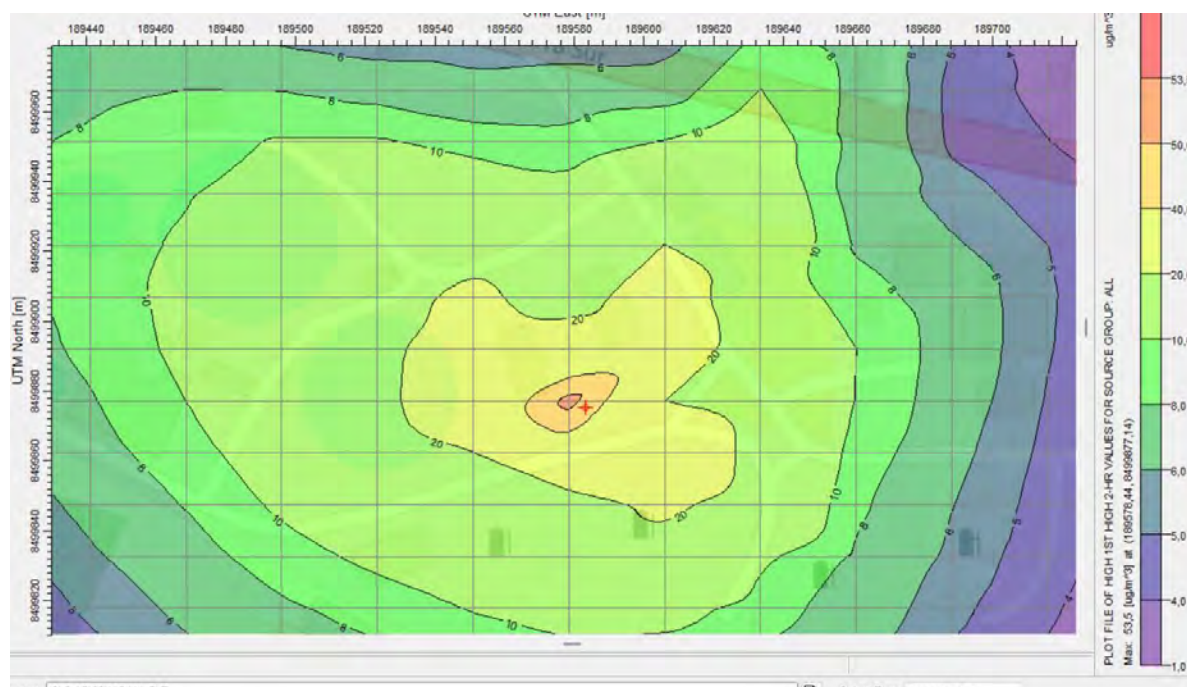
Durante diciembre, las velocidades promedio diarias del viento se mantuvieron entre 2.4 y 3.5 m/s, con un promedio general cercano a 3.0 m/s. El comportamiento mensual evidencia una variabilidad moderada, con picos importantes los días 11, 22 y 24, asociados probablemente a frentes fríos invernales que intensifican la circulación atmosférica. Los periodos de menor velocidad (días 8, 20 y 28) reflejan episodios de calma parcial, aunque sin alcanzar condiciones de estancamiento prolongado. En conjunto, las condiciones del mes fueron favorables para la dispersión del Cl₂, manteniendo una dinámica eólica estable con ligeras fluctuaciones estacionales.

Figura 246: Cloro (Cl_2) — Rosa de viento — Día 12 de diciembre 2024



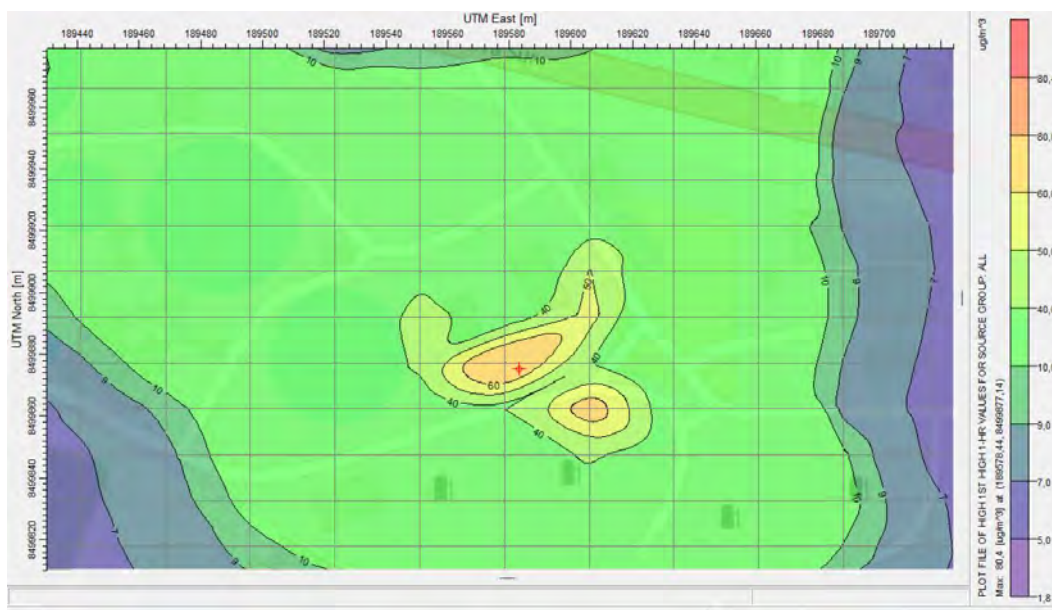
La dirección predominante del viento fue del suroeste (SW) y oeste (W), con velocidades principales entre 3 y 5 m/s, acompañadas por ráfagas aisladas de 5 a 8 m/s. Este patrón refleja la influencia de sistemas frontales invernales, los cuales tienden a generar flujos de componente oeste–suroeste con buena capacidad de ventilación. El registro sugiere una dispersión atmosférica eficiente del Cl_2 , impulsada por corrientes persistentes que reducen la posibilidad de acumulaciones locales.

Figura 247: Isoconcentraciones del mes de noviembre de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



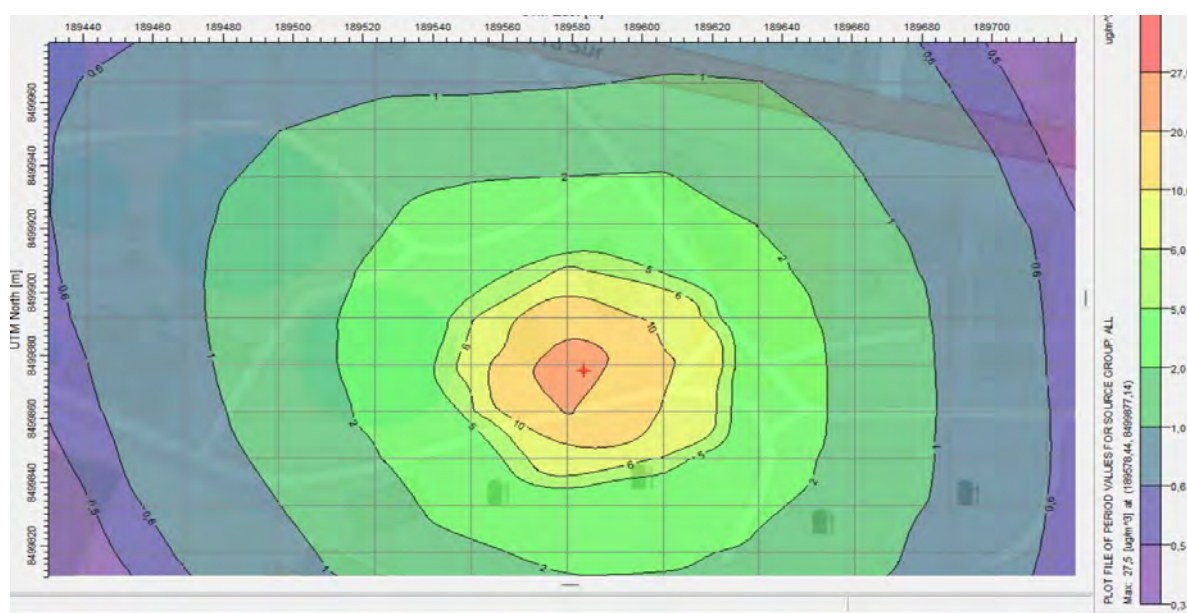
La Figura muestra la distribución para el mes de noviembre, con valores máximos de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se evidencia un penacho dividido en dos pequeñas zonas de concentración, con un núcleo principal ubicado sobre la fuente emisora y un segundo núcleo secundario hacia el noreste. Este comportamiento sugiere una variabilidad en la dirección del viento durante el periodo modelado.

Figura 248: Isoconcentraciones del mes de diciembre de Cloro (Cl_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



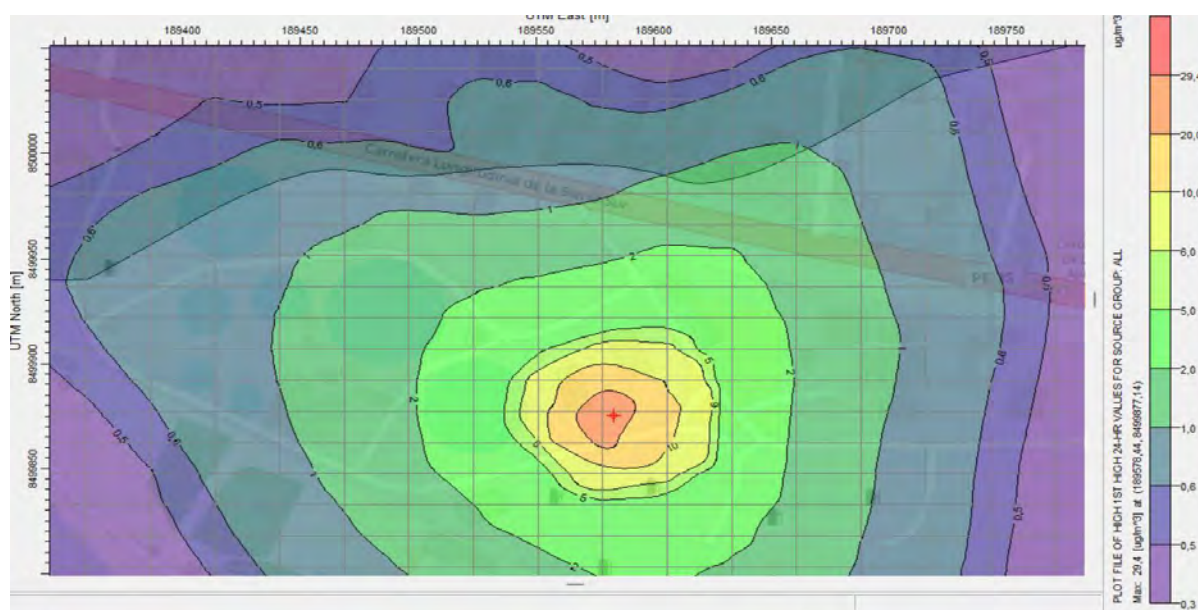
En la Figura, correspondiente al mes de diciembre, se observa un patrón similar al del mes anterior, con un máximo de concentración de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, las isoconcentraciones se distribuyen de manera más irregular, evidenciando la formación de dos focos de acumulación de NH_3 . Este comportamiento refleja posibles variaciones locales de turbulencia y condiciones de estabilidad atmosférica.

Figura 249: Mapa de concentración anual de Cloro (Cl_2) – Modelamiento AERMOD 8.9.0.



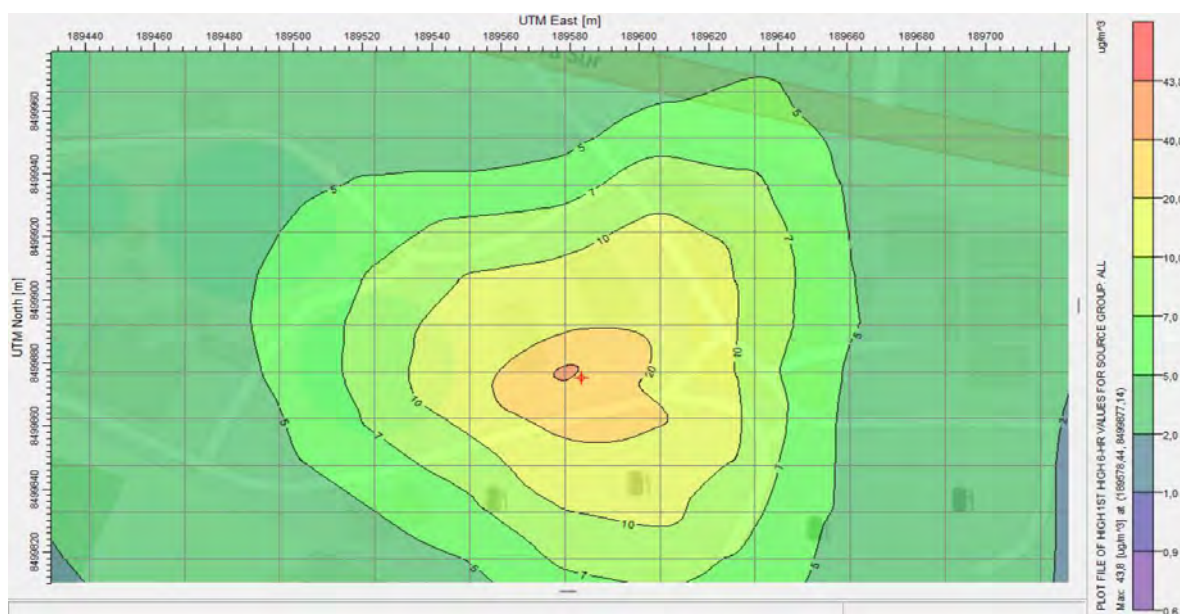
La Figura presenta el mapa de concentración anual de Cloro (Cl_2) modelado con AERMOD 8.9.0. Se observa un núcleo central de mayor concentración que alcanza aproximadamente $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una distribución concéntrica que se atenúa gradualmente hacia los extremos del área de estudio. La simetría del patrón sugiere una emisión constante y una dispersión homogénea durante el año.

Figura250: Mapa de concentración máxima 24 horas de Cloro (Cl_2) – Modelamiento AERMOD 8.9.0, valor horario más alto.



En la Figura, se observa la distribución espacial de las concentraciones máximas de Cl_2 en un promedio móvil de 24 horas, mostrando una dispersión más amplia en comparación con la escala mensual. El máximo alcanza aproximadamente $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero las isoconcentraciones se expanden más allá del núcleo de emisión, afectando áreas perimetrales de la planta. Esto confirma que, bajo condiciones horarias críticas, el cloro puede alcanzar distancias mayores, aunque manteniendo valores que siguen siendo moderados frente a los límites internacionales. La diferencia entre ambas figuras evidencia que las variaciones meteorológicas diarias tienen un papel clave en la dispersión del cloro, y que su impacto ambiental está focalizado principalmente dentro de la planta.

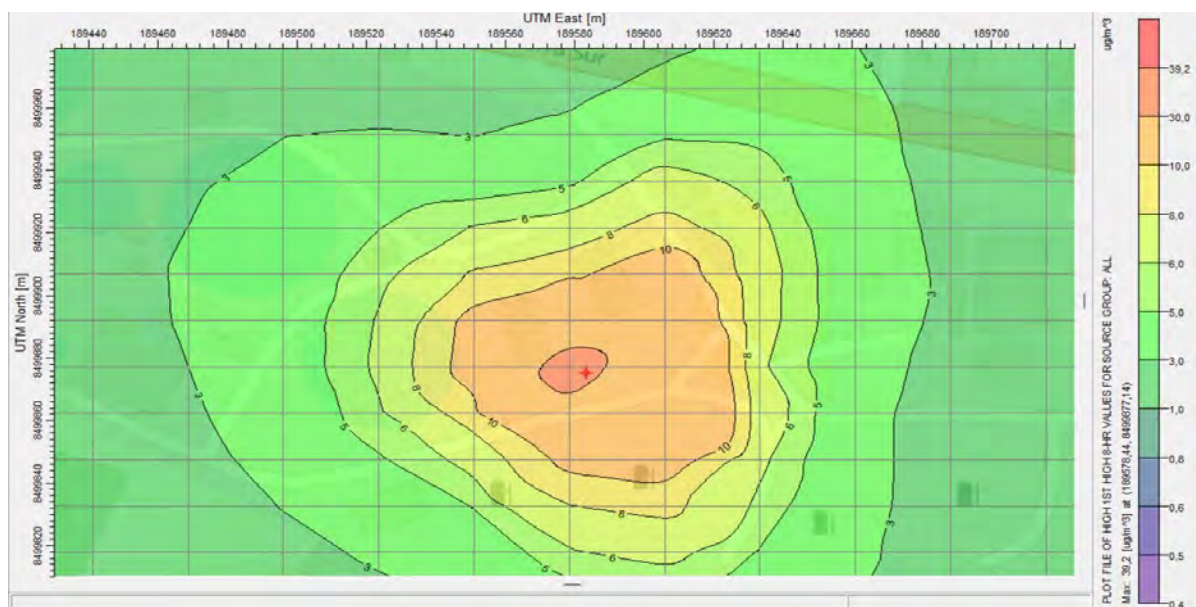
Figura 251: *Distribución espacial de concentraciones 6 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco*



Nota: *Elaboración propia*

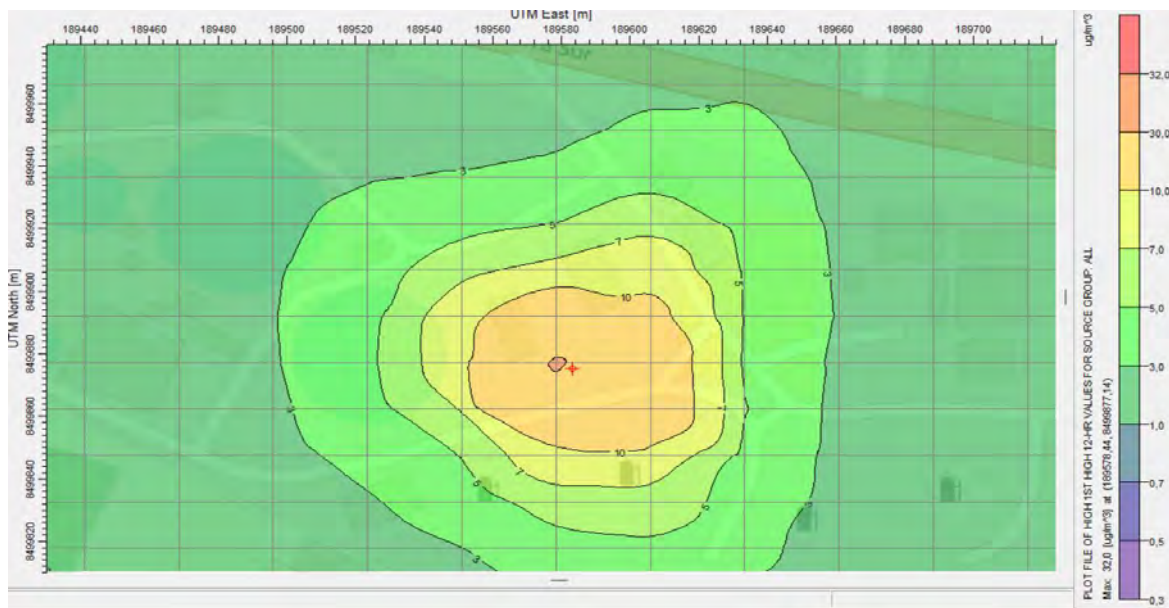
En la Figura se muestran las concentraciones de Cl_2 modeladas para un promedio de 6 horas. El valor máximo estimado es de $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, concentrado en el área central próxima a la fuente. Las isolíneas reflejan una disminución continua hacia las zonas periféricas, manteniendo una forma elíptica y extendida hacia el noreste.

Figura 252: *Distribución espacial de concentraciones 12 horas Cloro (Cl₂) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco*



La Figura presenta la distribución espacial de Cl₂ modelada para un promedio de 12 horas. Los valores máximos alcanzan aproximadamente 39 µg/m³, con una forma más extendida de la pluma de dispersión en comparación con el periodo de 6 horas. El aumento del tiempo promedio genera una mayor difusión del contaminante, con una cobertura más amplia del área de estudio.

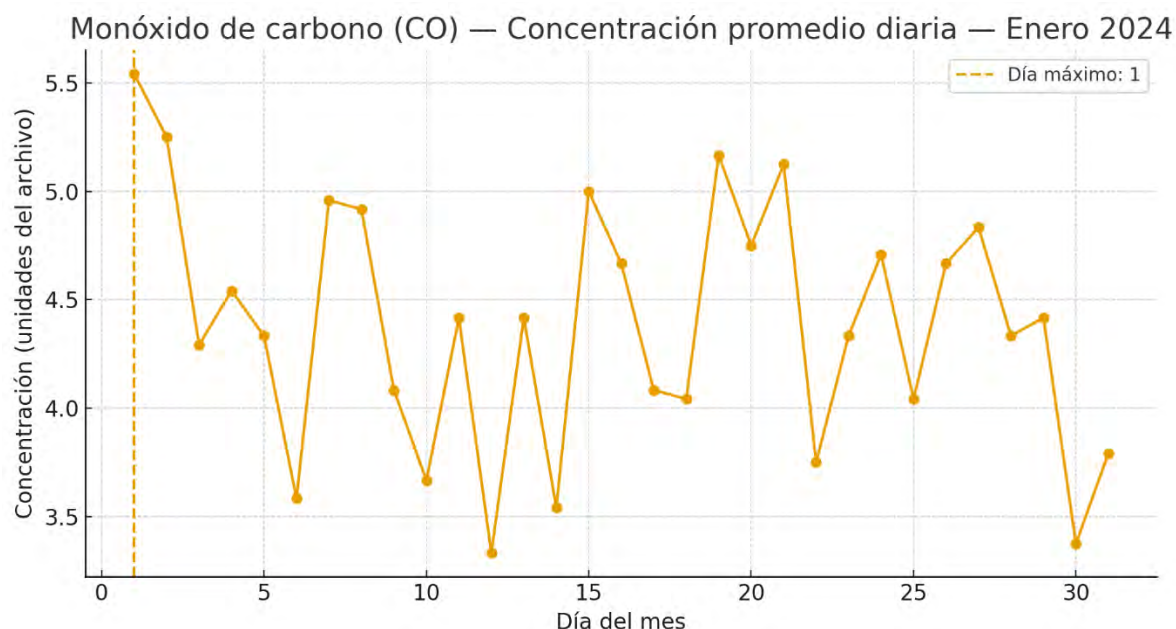
Figura 253: *Distribución espacial de concentraciones 18 horas Cloro (Cl₂) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco*



la Figura muestra la distribución de concentraciones para un promedio de 18 horas, con valores máximos del orden de 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se aprecia una dispersión más uniforme y una disminución significativa de los valores centrales respecto a los periodos anteriores. Este comportamiento confirma que el incremento del tiempo de integración favorece la mezcla atmosférica y la reducción de concentraciones locales.

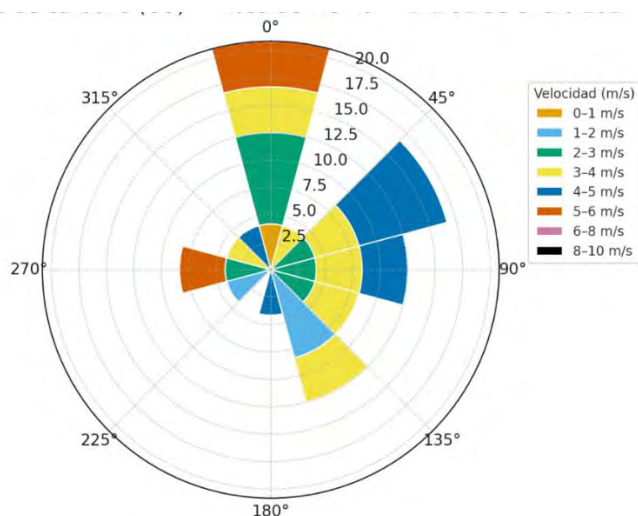
4.1.7 Dispersión de monóxido de carbono (CO) en el aire.

Figura254: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Enero 2024



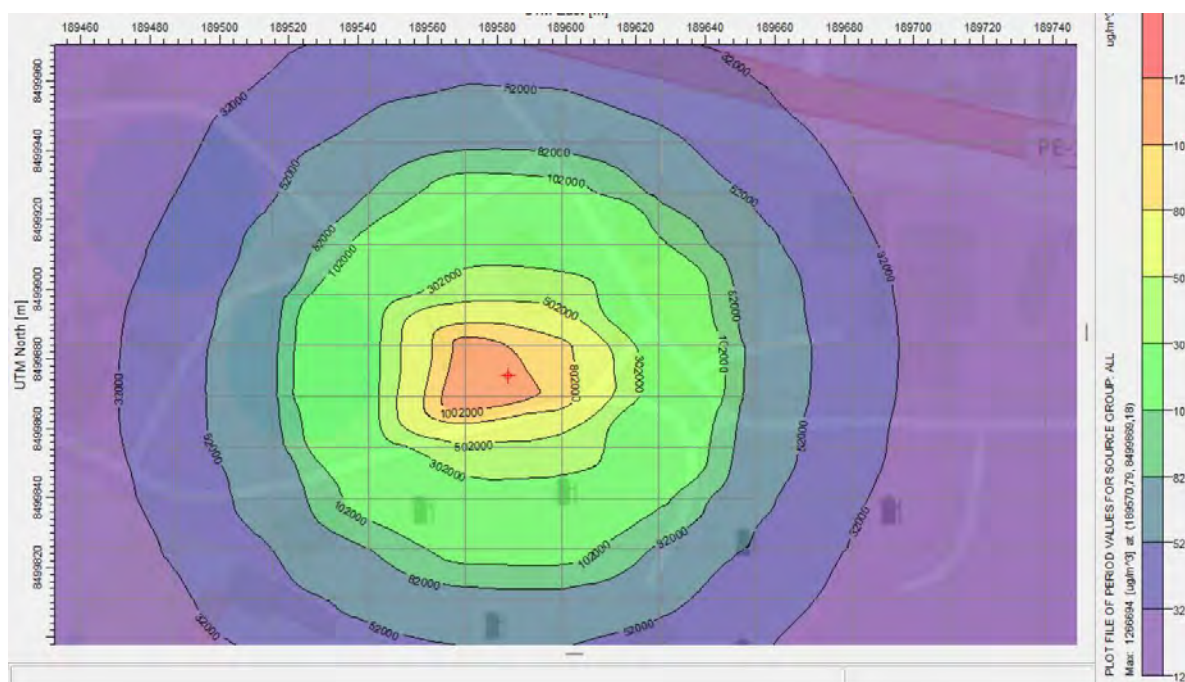
Durante enero de 2024, la concentración promedio diaria de monóxido de carbono (CO) presentó valores comprendidos entre 3.5 y 5.5 unidades, alcanzando su máximo el día 1. El patrón temporal mostró una disminución paulatina tras este pico, seguida de fluctuaciones moderadas durante el resto del mes. Estas variaciones reflejan una dinámica atmosférica cambiante, influenciada por condiciones de baja ventilación y estabilidad térmica en los primeros días, propias del periodo invernal, que favorecen la acumulación de contaminantes.

Figura255: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 01 de enero 2024



El análisis del viento correspondiente al día 1 de enero evidencia direcciones predominantes del noreste (NE) y sureste (SE), con velocidades entre 2 y 5 m/s y presencia de ráfagas de hasta 8 m/s. Este patrón sugiere que las horas previas al registro pudieron caracterizarse por condiciones de calma o baja turbulencia,

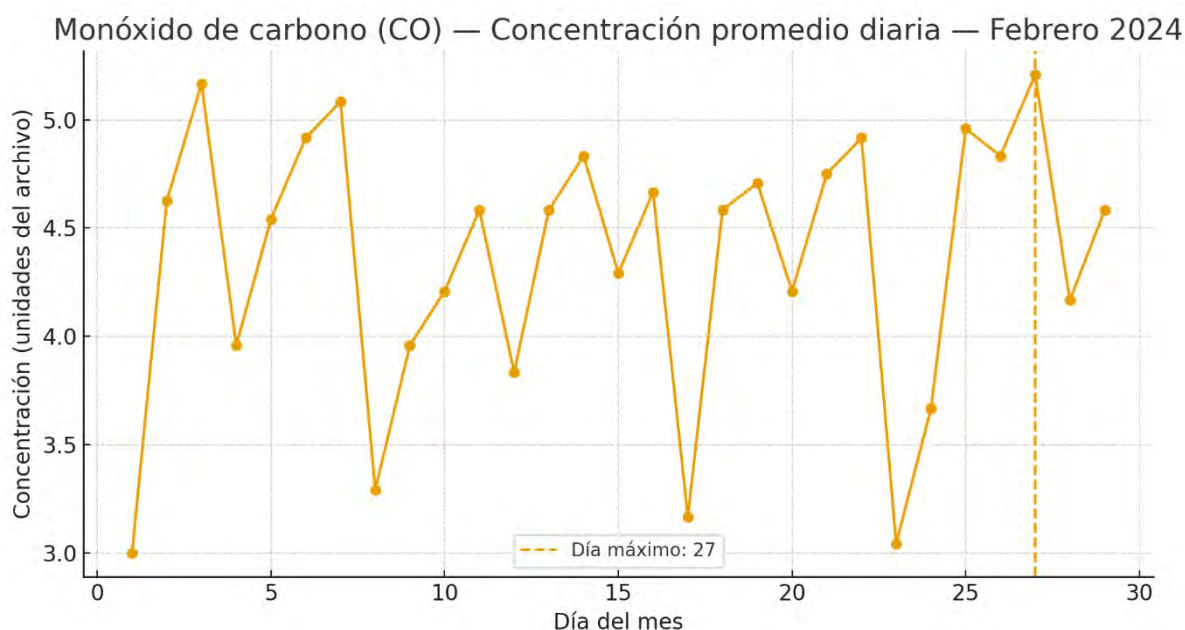
Figura256 Isoconcentraciones del mes de enero de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



La Figura muestra las isoconcentraciones del mes de enero de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), modeladas con AERMOD 8.9.0 para el año 2024. En esta imagen se observa que las concentraciones más

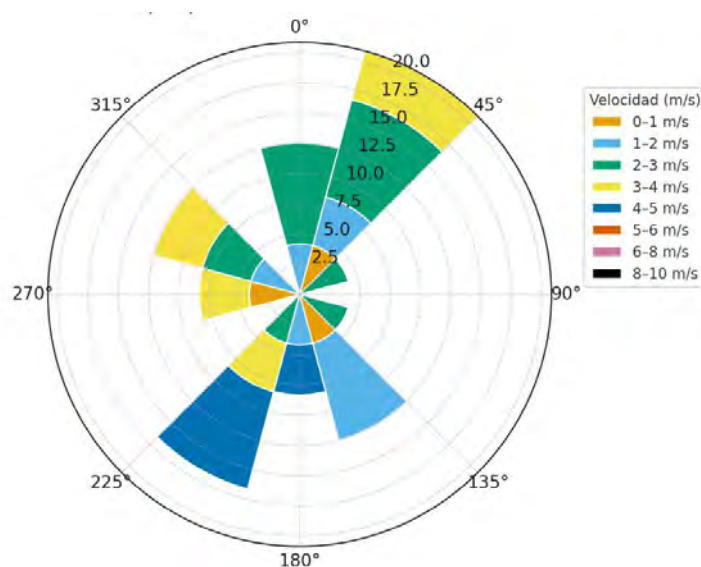
altas se localizan en el área central, representadas por tonos rojizos y anaranjados, mientras que hacia los bordes se reducen progresivamente, indicando una dispersión del contaminante en el entorno. Este comportamiento refleja condiciones atmosféricas estables que limitan la dispersión del monóxido de carbono durante este mes.

Figura257: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Febrero 2024



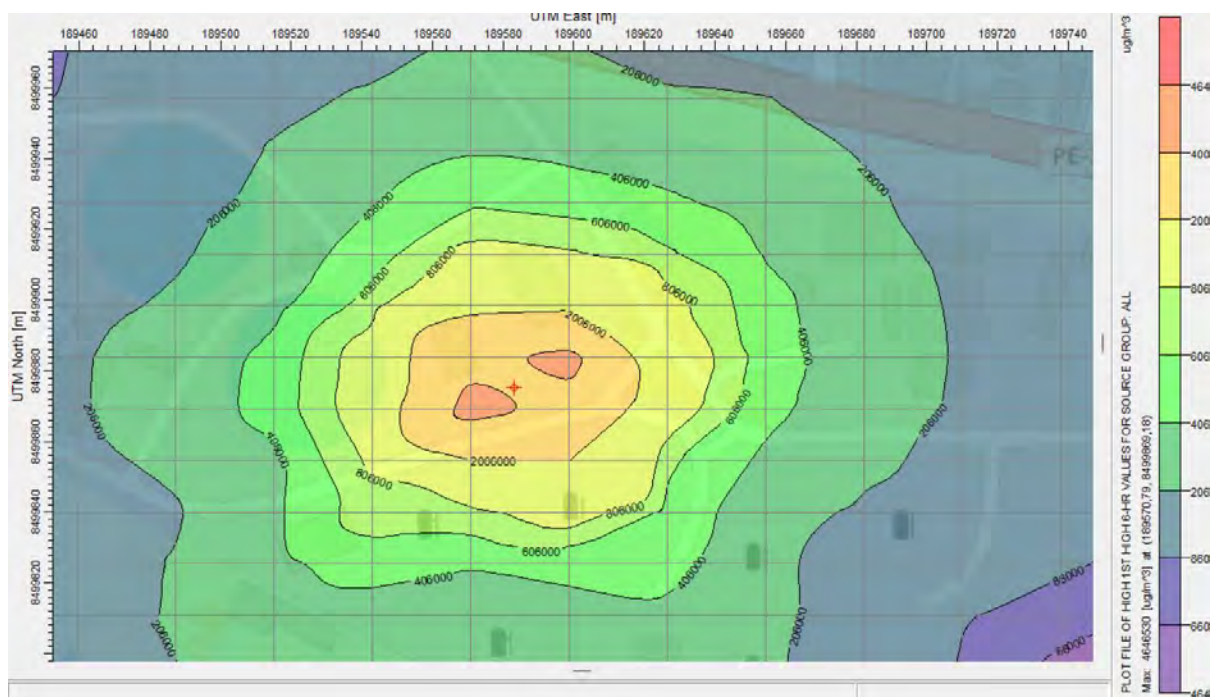
Durante febrero de 2024, las concentraciones promedio diarias oscilaron entre 3.0 y 5.2 unidades, con el máximo registrado el día 27. El comportamiento del mes fue relativamente variable, con periodos de concentración moderada intercalados con descensos abruptos, lo que sugiere una alternancia entre días de estabilidad atmosférica y días con ventilación más activa.

Figura258: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 27 de febrero 2024



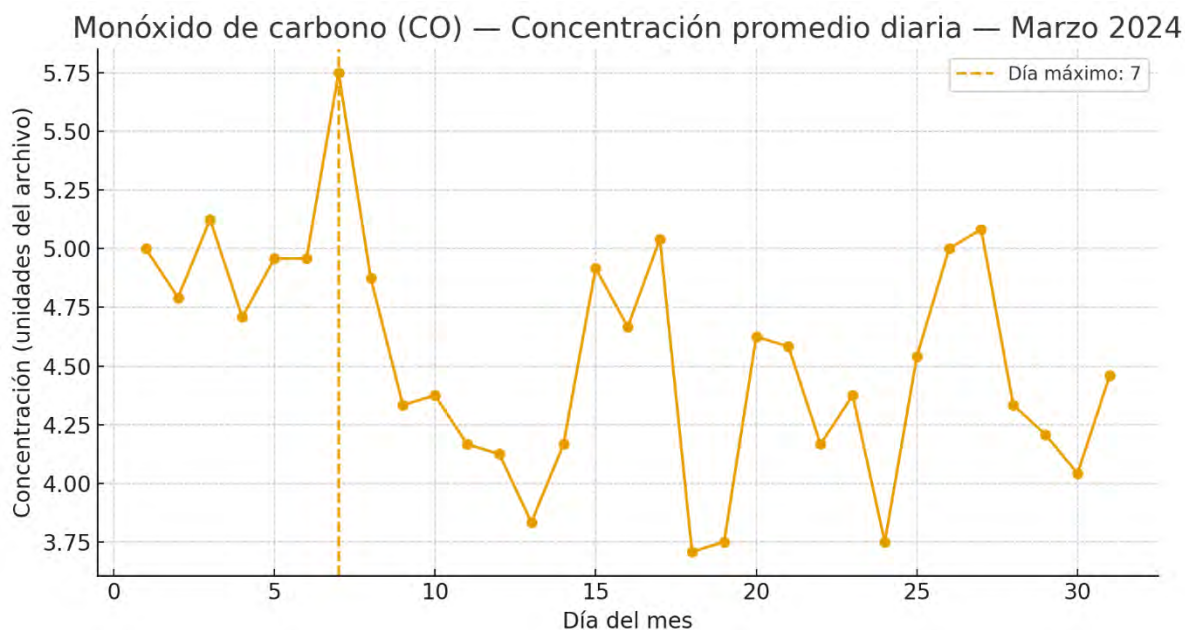
La rosa de viento del día 27 de febrero mostró predominancia de direcciones noreste (NE) con velocidades entre 2 y 4 m/s, y participación de flujos secundarios desde el sureste (SE) y sudoeste (SW). Este patrón indica condiciones de ventilación moderada, sin presencia de vientos fuertes. El máximo de concentración en esa fecha podría explicarse por condiciones transitorias de estabilidad térmica, donde la velocidad de viento, aunque presente, no fue suficiente para lograr una dispersión total del CO.

Figura 259 Isoconcentraciones del mes de febrero de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



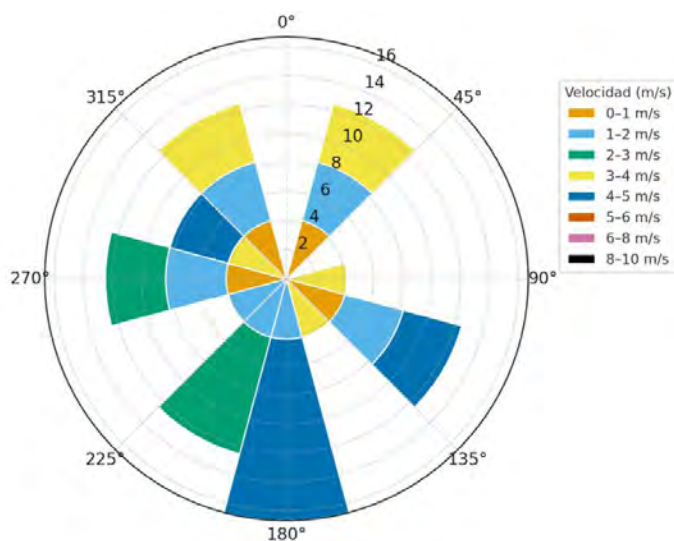
En la Figura se presentan las isoconcentraciones de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondientes al mes de febrero de 2024, modeladas con AERMOD 8.9.0. Se aprecia una ligera reducción en las concentraciones máximas respecto a enero, aunque se mantiene un patrón de dispersión concéntrica desde el foco emisor. Las tonalidades amarillas y verdes predominan, evidenciando un incremento en la ventilación atmosférica y una mejor dispersión del contaminante en este periodo.

Figura260: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Marzo 2024



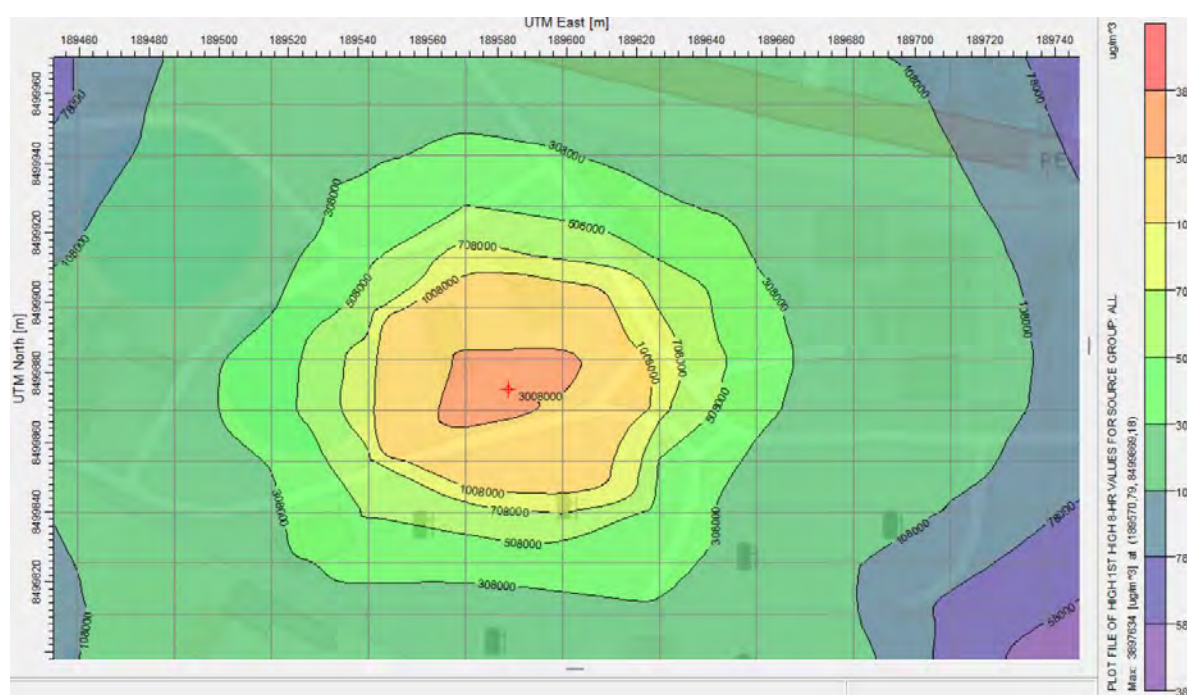
En marzo de 2024, las concentraciones promedio diarias variaron entre 3.7 y 5.7 unidades, con el valor máximo el día 7. Durante los primeros días del mes se observaron niveles elevados que posteriormente disminuyeron, mostrando fluctuaciones recurrentes en la segunda mitad del mes. Este comportamiento sugiere un inicio con acumulación atmosférica seguida de una fase de ventilación más activa.

Figura261: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 07 de marzo 2024



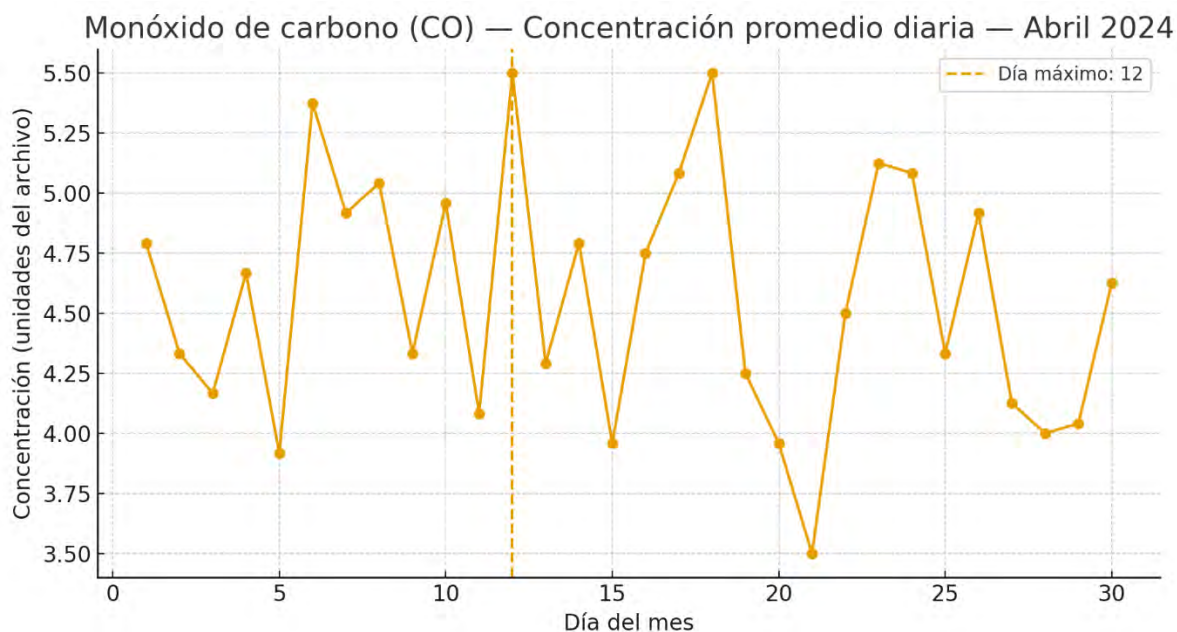
La rosa de viento correspondiente al día 7 de marzo mostró vientos dominantes del sur (S) y suroeste (SW) con velocidades entre 2 y 5 m/s, acompañadas de corrientes secundarias desde el noreste (NE). El registro del valor máximo de CO ese día sugiere que, a pesar de la presencia de viento, la dispersión fue limitada posiblemente por inversiones térmicas matutinas o condiciones de estabilidad atmosférica temporal, que impidieron una mezcla vertical efectiva.

Figura 262 Isoconcentraciones del mes de marzo de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



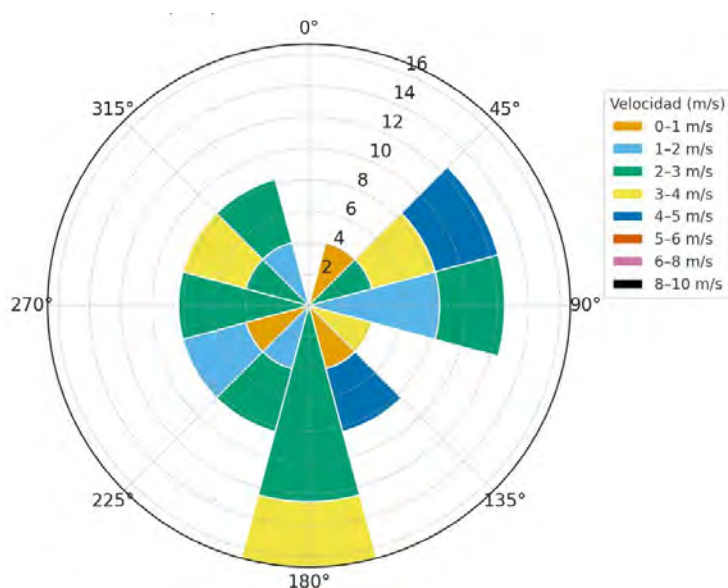
La Figura representa las isoconcentraciones del mes de marzo de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), obtenidas mediante AERMOD 8.9.0. En esta simulación se identifica un comportamiento similar al de los meses anteriores, aunque con una leve expansión de las zonas de menor concentración. El patrón de dispersión indica una disminución progresiva de los niveles de CO conforme mejora la circulación del aire y aumenta la turbulencia atmosférica típica del cambio estacional.

Figura 263: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Abril 2024



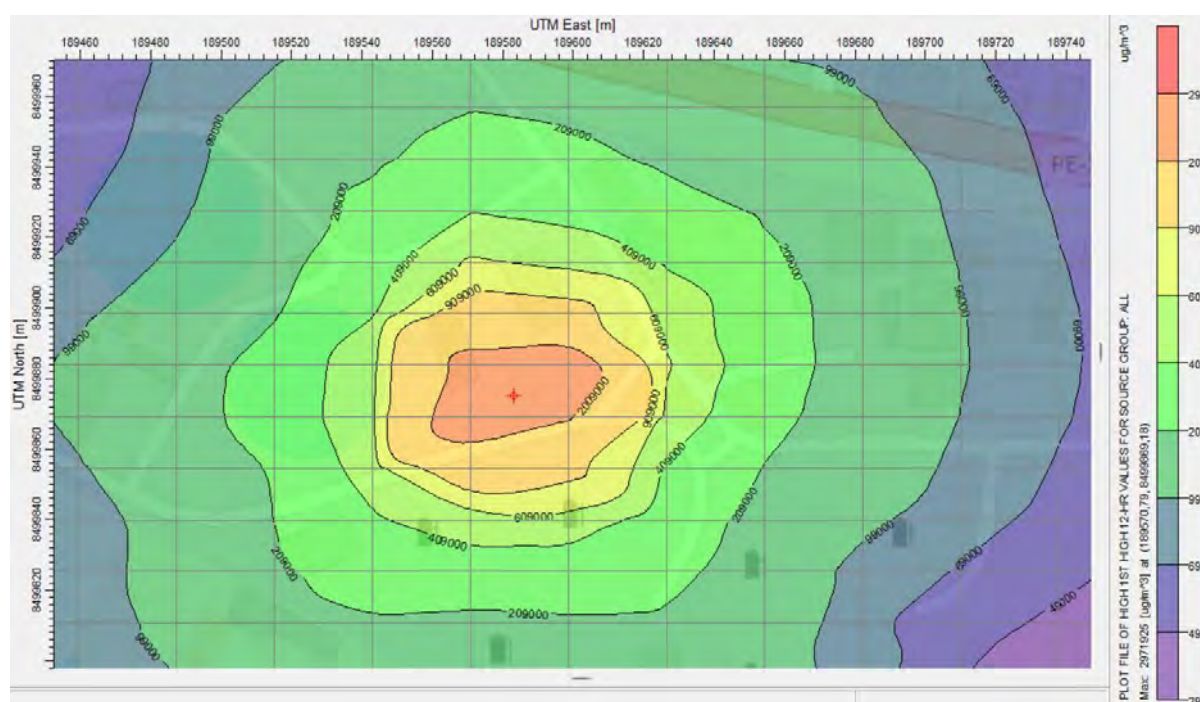
Durante abril de 2024, las concentraciones promedio diarias oscilaron entre 3.5 y 5.5 unidades, con un pico máximo el día 12. El comportamiento del mes fue moderadamente variable, con una tendencia general de niveles intermedios y ausencia de acumulaciones prolongadas.

Figura 264: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 12 de abril 2024



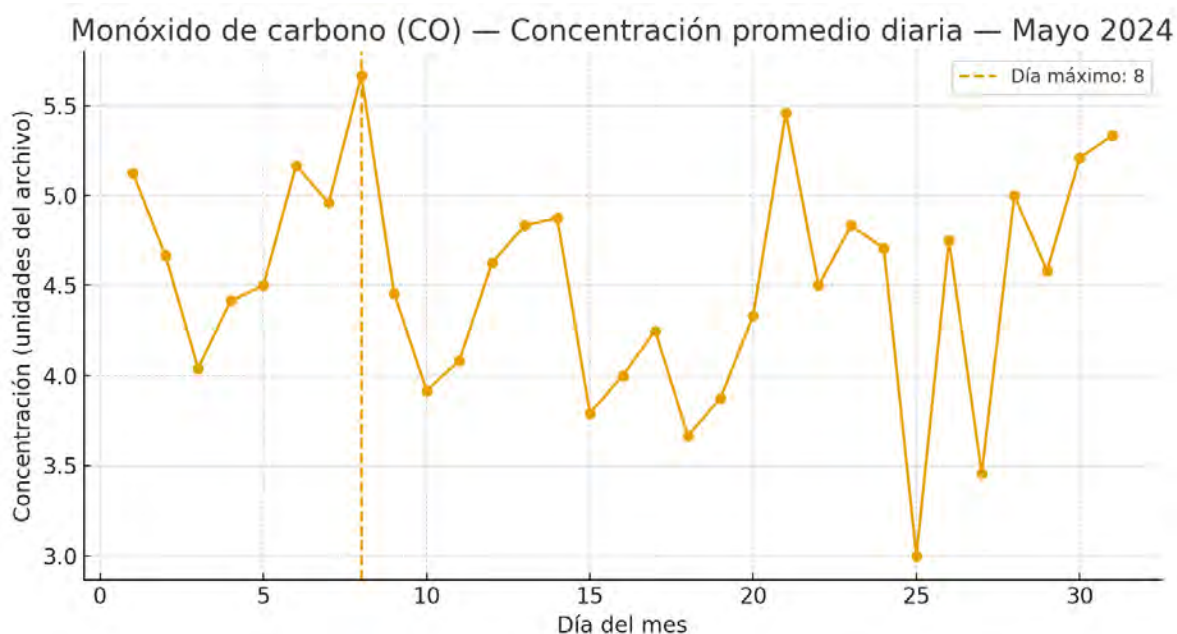
La rosa de viento del 12 de abril indicó predominancia de vientos del sureste (SE) con velocidades entre 3 y 5 m/s, junto a corrientes secundarias del noreste (NE) y suroeste (SW). El patrón sugiere buenas condiciones de ventilación general, aunque el valor máximo observado en la concentración podría deberse a una calma matutina previa o a un cambio de régimen de viento durante el día, que temporalmente permitió la acumulación de CO antes de su dispersión.

Figura 265 Isoconcentraciones del mes de abril de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



En la Figura se muestran las isoconcentraciones de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondientes al mes de abril de 2024. Se observa una disminución general de las concentraciones respecto a los meses previos, destacando una distribución más homogénea. Este resultado puede asociarse a condiciones meteorológicas más favorables para la dispersión, como una mayor velocidad del viento y un incremento de la radiación solar que contribuye a la dispersión vertical del contaminante.

Figura 266: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Mayo 2024



En mayo de 2024, las concentraciones de CO fluctuaron entre 3.0 y 5.6 unidades, con el máximo registrado el día 8. El mes mostró un comportamiento variable pero estable, sin picos prolongados, lo que indica una atmósfera con buena capacidad de dispersión.

Figura 267: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 08 de mayo 2024

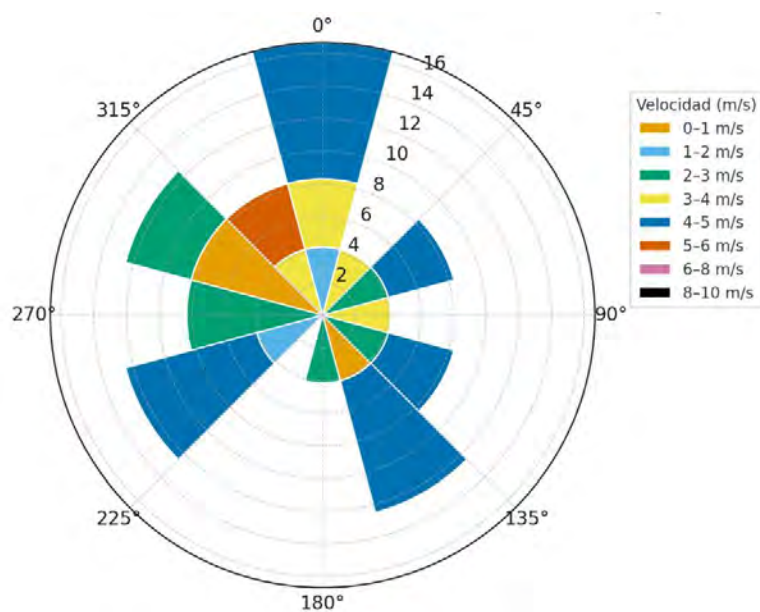


Figura 268: Isoconcentraciones del mes de mayo de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.

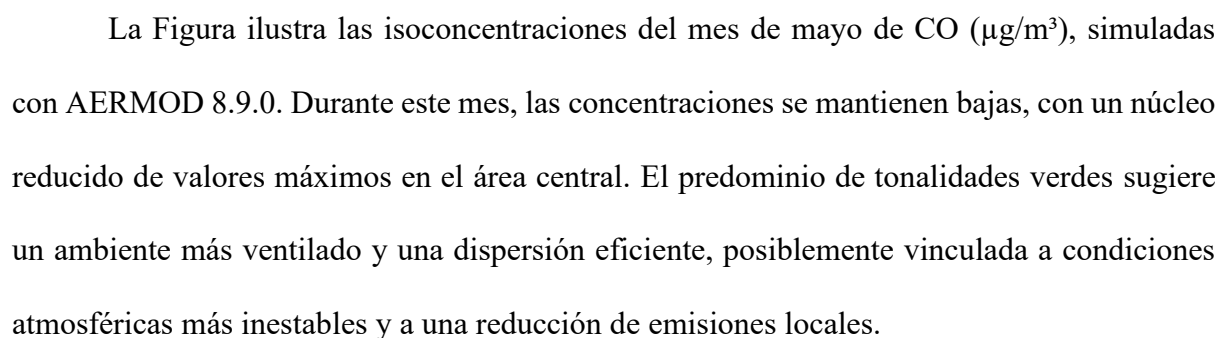
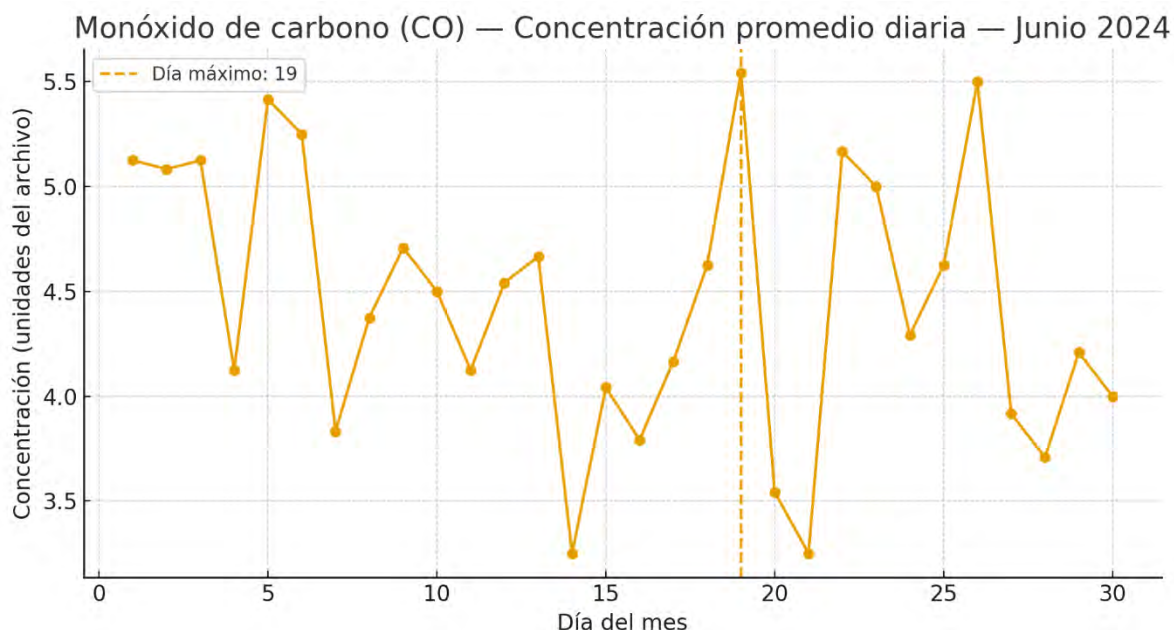
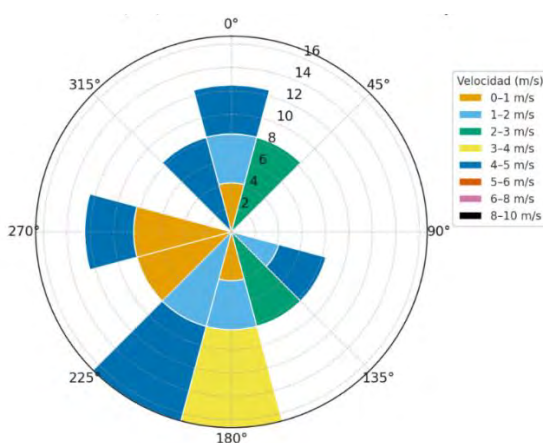


Figura 269: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Junio 2024



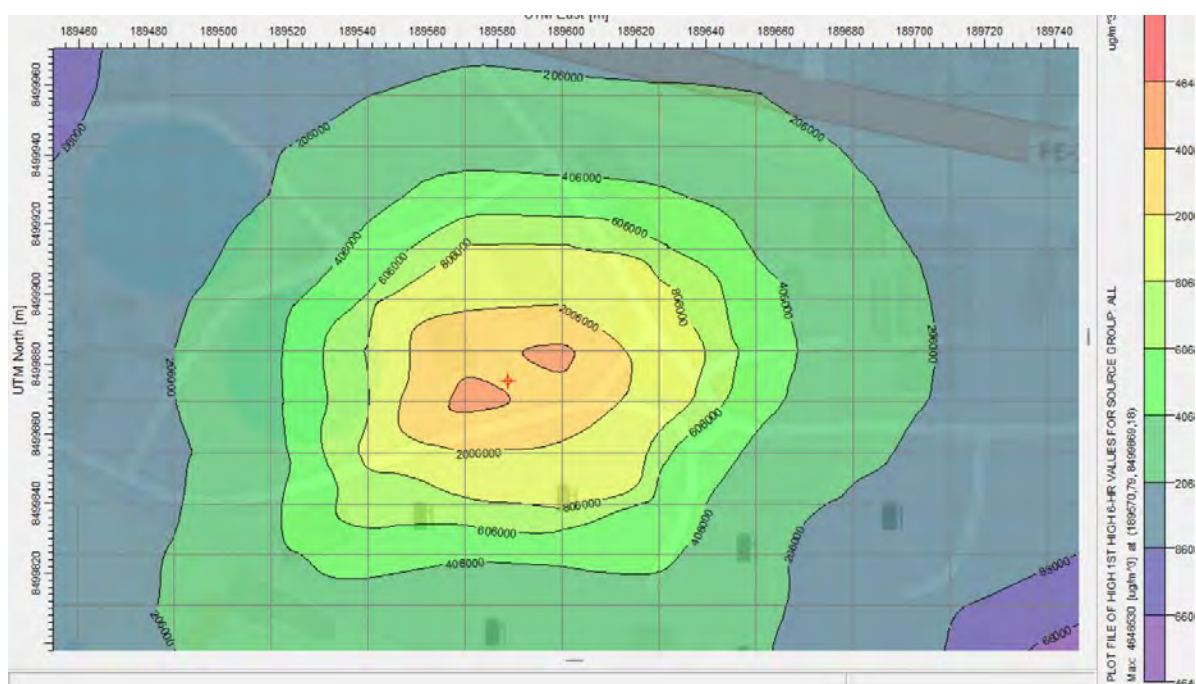
Durante junio de 2024, las concentraciones promedio diarias de monóxido de carbono (CO) fluctuaron entre 3.5 y 5.5 unidades, alcanzando su valor máximo el día 19. El comportamiento del mes fue altamente variable, con picos intermitentes seguidos de descensos rápidos, lo que refleja una atmósfera dinámica influenciada por condiciones locales de ventilación y temperatura. El evento máximo del día 19 sugiere condiciones de estabilidad atmosférica transitoria, posiblemente durante las primeras horas del día, que favorecieron la acumulación temporal del contaminante.

Figura 270: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 19 de junio 2024



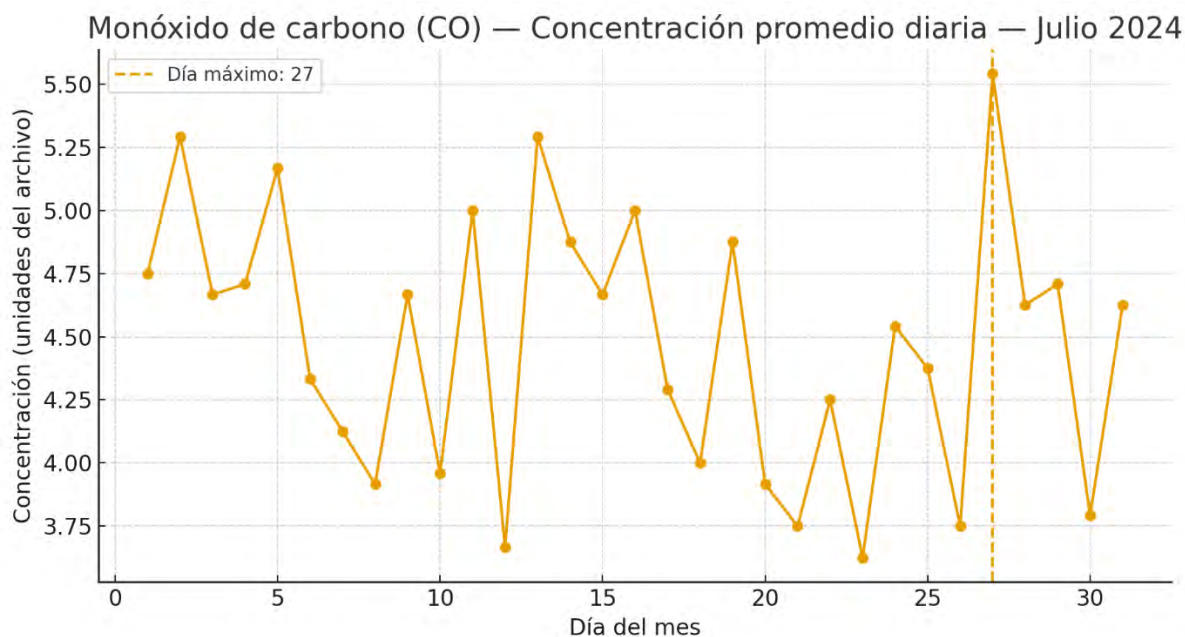
La rosa de viento del 19 de junio mostró predominancia de vientos del sur (S) y suroeste (SW) con velocidades entre 3 y 6 m/s, acompañadas de flujos secundarios del noroeste (NW). Este patrón revela buenas condiciones de ventilación general, aunque el máximo de CO observado ese día sugiere que, durante las primeras horas matutinas, existieron calmas parciales o inversión térmica leve, que limitaron la dispersión vertical del contaminante.

Figura 271: Isoconcentraciones del mes de junio de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



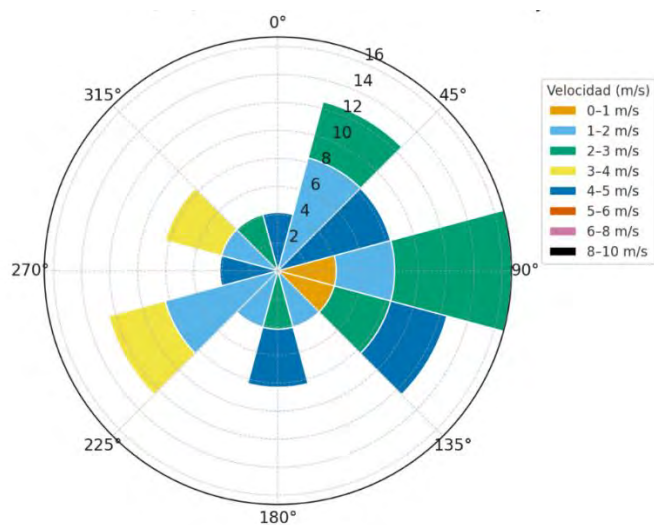
La Figura muestra las isoconcentraciones del mes de junio de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), modeladas con AERMOD 8.9.0 para el año 2024. En este mes se evidencia una ligera reconfiguración del patrón de dispersión, con dos zonas de concentración moderada que indican una variabilidad en la dirección del viento. En general, las concentraciones permanecen dentro de rangos bajos, reflejando una mejora en la calidad del aire durante la temporada seca.

Figura 272: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Julio 2024



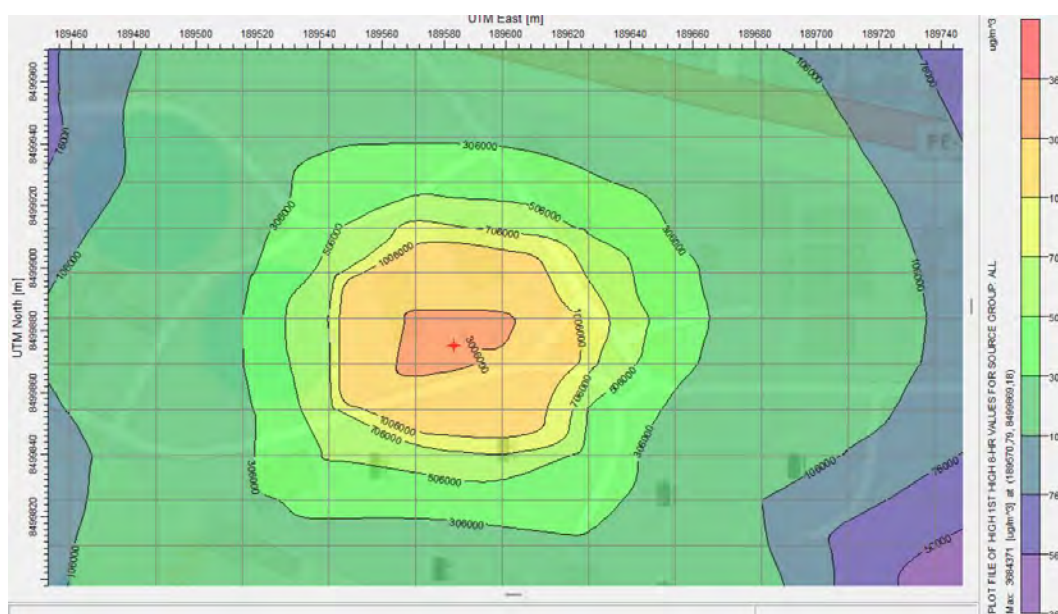
En julio de 2024, las concentraciones promedio diarias de CO oscilaron entre 3.7 y 5.5 unidades, con el máximo el día 27. El mes presentó una tendencia descendente durante la primera mitad, seguida de fluctuaciones moderadas en la segunda, lo que indica la influencia de condiciones de mezcla atmosférica más activas. El pico del día 27 podría estar asociado a un aumento de emisiones urbanas o a una reducción temporal de la ventilación.

Figura 273: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 27 de julio 2024



La rosa de viento correspondiente al 27 de julio evidencia una predominancia clara de vientos del este (E) y noreste (NE), con velocidades entre 2 y 5 m/s. Estos vientos favorecen una dispersión horizontal efectiva, aunque su dirección constante puede generar zonas de recirculación local. El valor máximo de concentración de CO observado ese día puede explicarse por una baja turbulencia inicial, antes del establecimiento del viento predominante.

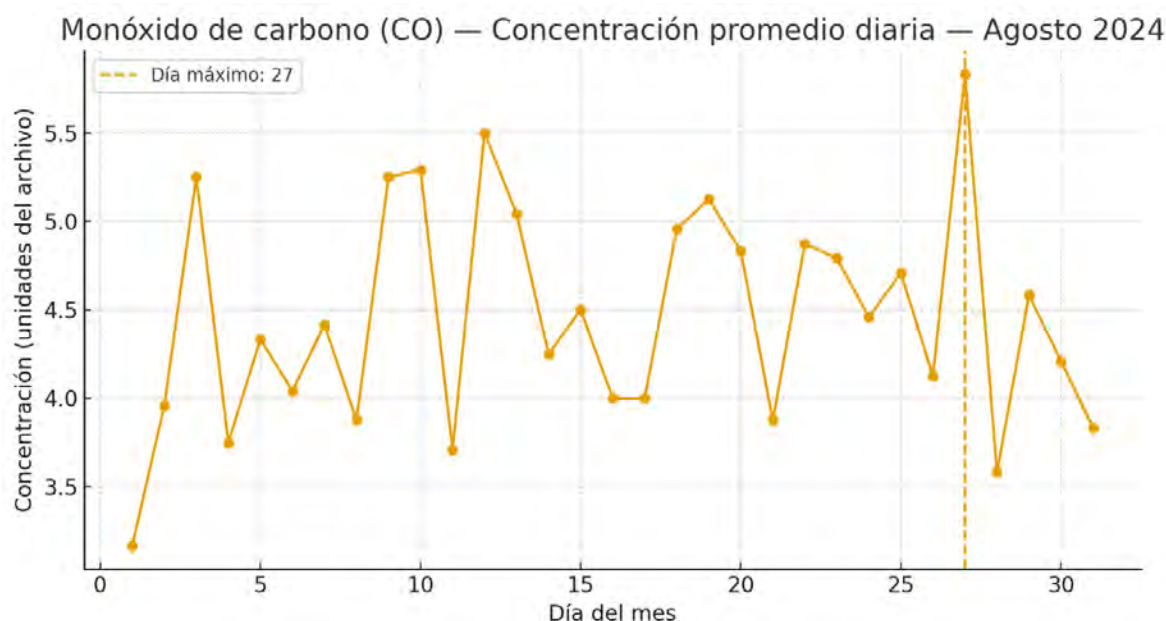
Figura 274 *Isoconcentraciones del mes de julio de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.*



La Figura muestra las isoconcentraciones correspondientes al mes de julio de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), modeladas con AERMOD 8.9.0 (2024). Se aprecia un núcleo central de concentración máxima cercana a $368 \mu\text{g}/\text{m}^3$, localizado en la zona inmediata a la fuente emisora. Las isolíneas presentan una disposición concéntrica, lo que evidencia una dispersión relativamente uniforme en todas direcciones, aunque con ligera tendencia hacia el este. Los niveles disminuyen progresivamente hasta alcanzar valores bajos en las zonas periféricas.

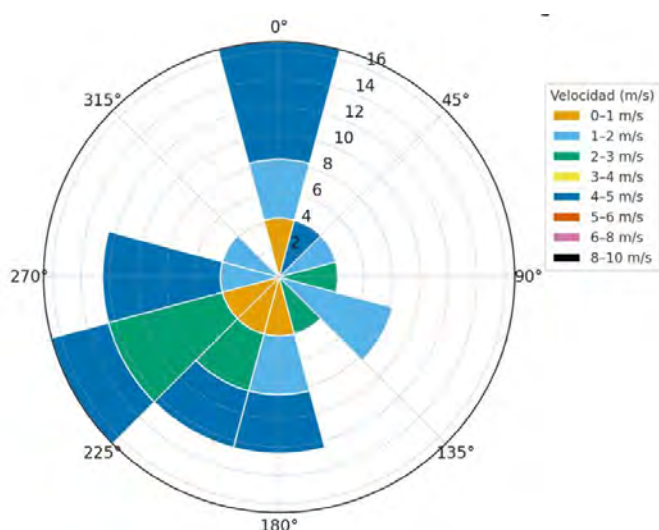
Figura 275: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — agosto

2024



Durante agosto de 2024, las concentraciones promedio diarias fluctuaron entre 3.6 y 5.6 unidades, alcanzando el valor máximo el día 27. El comportamiento mensual fue altamente variable, con alternancia entre periodos de baja y media concentración.

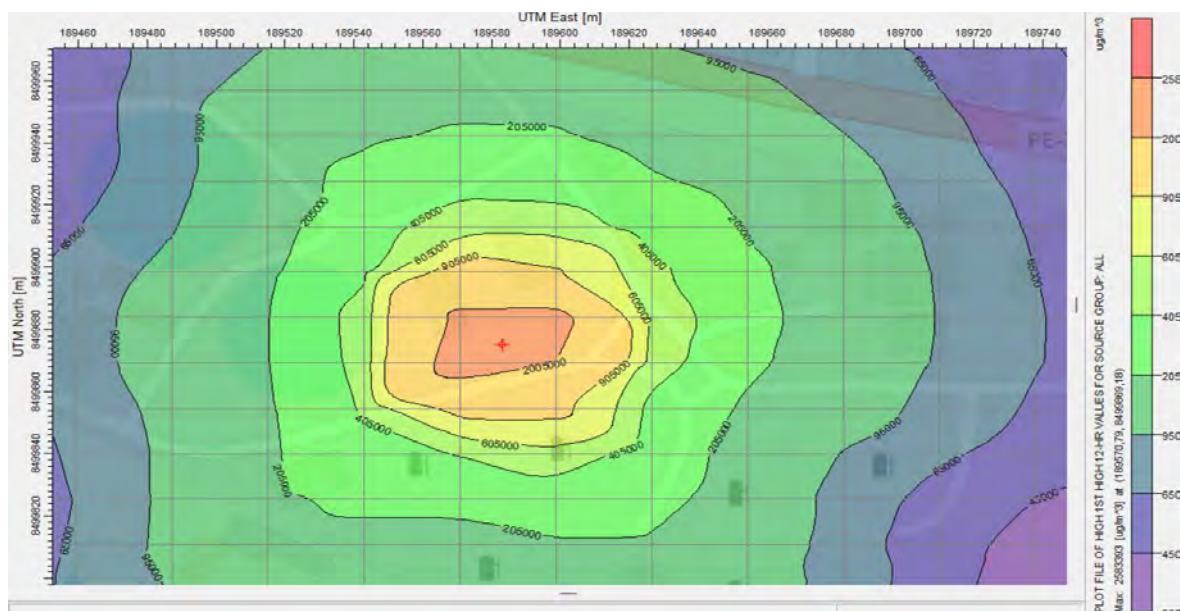
Figura 276: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 27 de agosto 2024



La rosa de viento del 27 de agosto indica predominancia de vientos del suroeste (SW) y oeste (W) con velocidades entre 2 y 4 m/s, complementadas por flujos del sureste (SE). El patrón revela condiciones de ventilación moderadas, aunque con posibles periodos de calma.

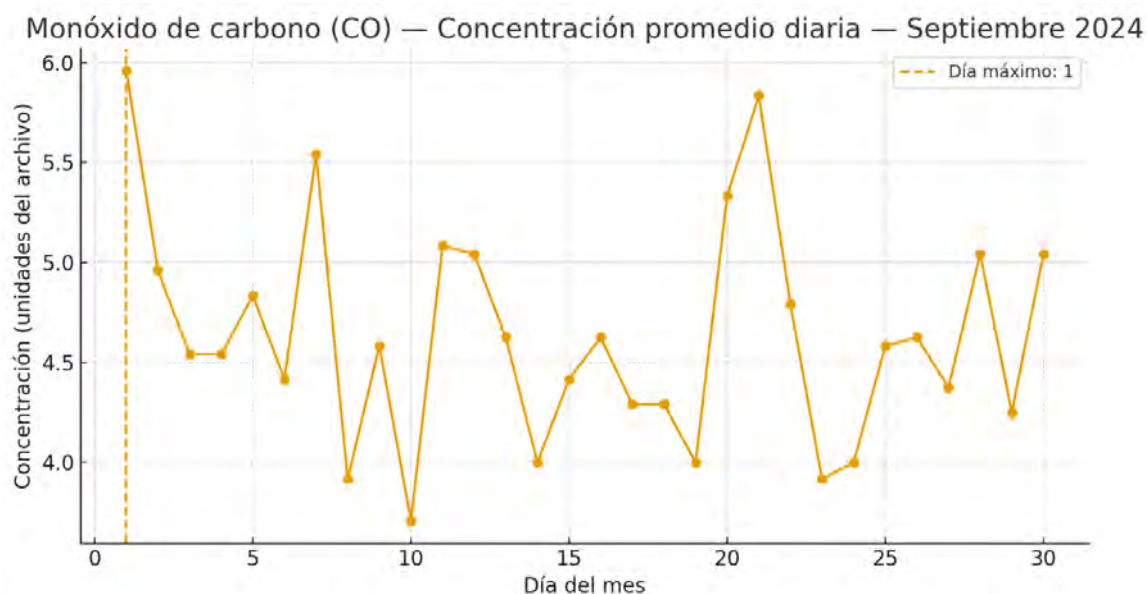
El máximo de CO observado puede asociarse a condiciones de estabilidad atmosférica nocturna, seguidas de dispersión gradual durante el día.

Figura 277: Isoconcentraciones del mes de agosto de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



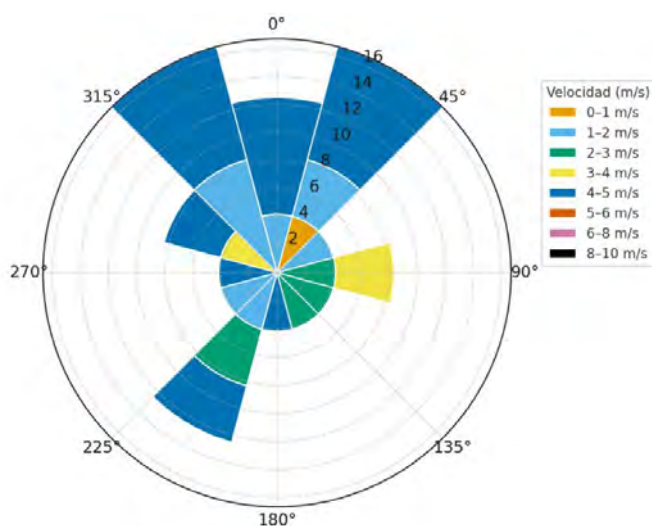
En la Figura, correspondiente al mes de agosto, se observa un comportamiento muy similar al mes anterior, con concentraciones máximas de aproximadamente $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución de las isoconcentraciones muestra una buena homogeneidad espacial, lo que sugiere condiciones atmosféricas favorables para la dispersión del monóxido de carbono. El patrón circular del penacho confirma la ausencia de vientos predominantes fuertes durante este periodo.

Figura 278: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — septiembre 2024



En septiembre de 2024, la concentración promedio diaria de CO osciló entre 3.8 y 6.0 unidades, registrándose el máximo el día 1 del mes. El pico inicial se asocia a condiciones de estabilidad térmica y baja ventilación, típicas del final de la temporada cálida, que propician acumulaciones matutinas de contaminantes.

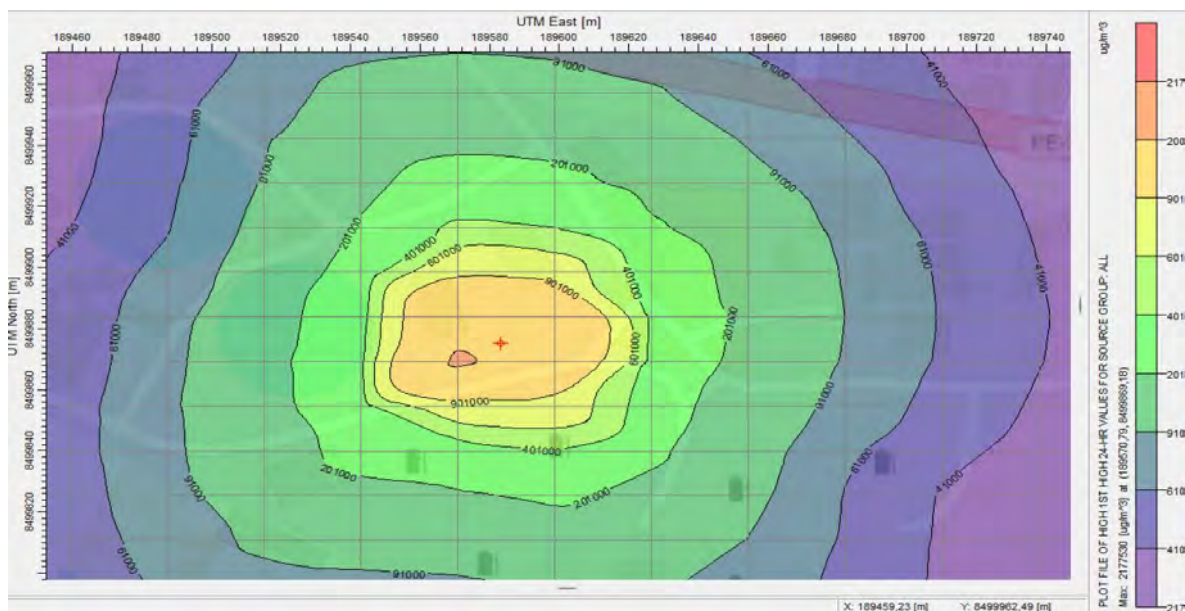
Figura 279: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 01 de septiembre 2024



La rosa de viento del 1 de septiembre muestra predominancia de vientos del noroeste (NW) y oeste (W), con velocidades entre 2 y 5 m/s. Este patrón es típico de una atmósfera en transición hacia condiciones más secas y estables. El máximo de CO coincide con una posible

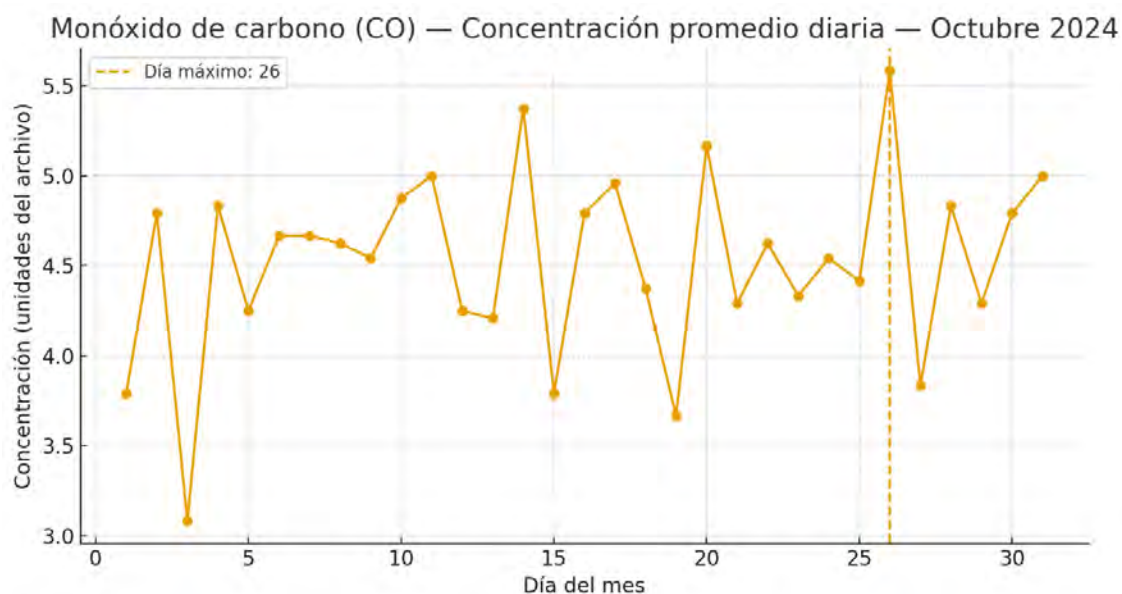
calma nocturna previa al establecimiento del viento dominante, lo que favoreció la acumulación temporal del gas.

Figura 280: Isoconcentraciones del mes de setiembre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



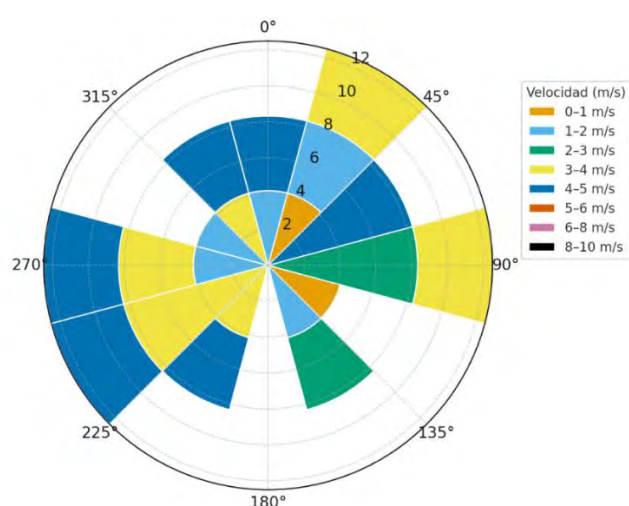
La Figura presenta las isoconcentraciones del mes de setiembre, evidenciando una ligera expansión del área de influencia del contaminante. El valor máximo alcanza $217 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un gradiente suave de dispersión hacia los bordes del dominio. La forma de las isolíneas indica una dispersión más estable, con leve desplazamiento del núcleo de concentración hacia el noreste.

Figura 281: *Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Octubre 2024*



Durante octubre de 2024, las concentraciones promedio diarias se mantuvieron entre 3.5 y 5.4 unidades, alcanzando el valor máximo el día 26. El comportamiento mensual fue relativamente estable, con variaciones menores y sin presencia de picos prolongados. El máximo observado puede estar asociado a un evento puntual de estabilidad atmosférica o incremento temporal de emisiones locales.

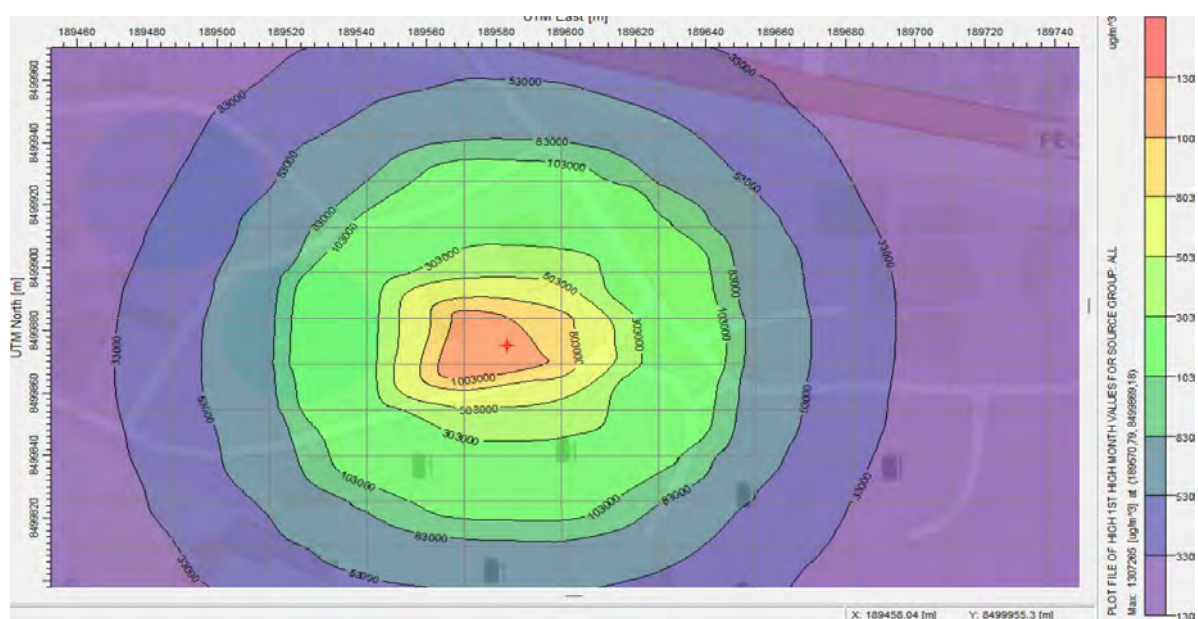
Figura 282: *Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 26 de octubre 2024*



La rosa de viento del 26 de octubre muestra predominancia de vientos del sureste (SE) y suroeste (SW), con velocidades entre 2 y 6 m/s, acompañadas de flujos secundarios del este

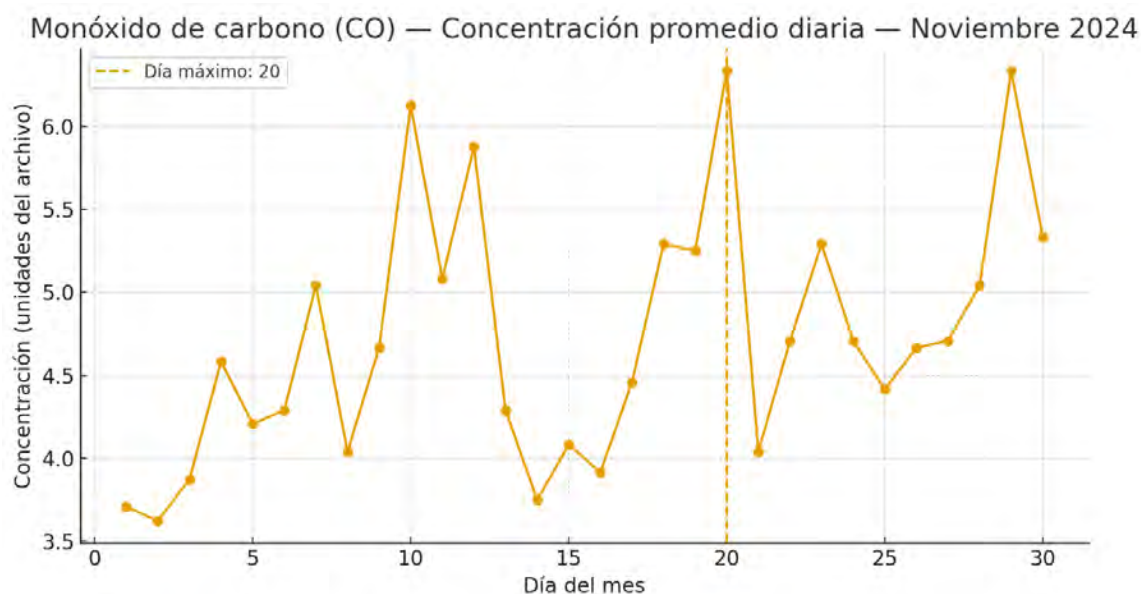
(E). Este patrón indica condiciones de ventilación óptimas, lo que explica la rápida disipación del contaminante tras el pico máximo.

Figura 283: Isoconcentraciones del mes de octubre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



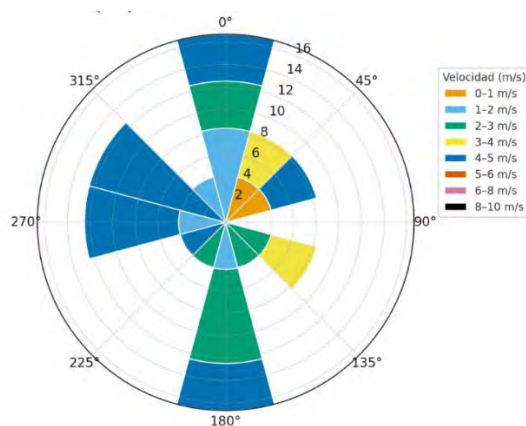
En la Figura, correspondiente al mes de octubre, las concentraciones máximas registradas se sitúan alrededor de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribución es amplia y simétrica, con valores que disminuyen de manera gradual hacia las zonas periféricas. Este comportamiento refleja un incremento en la eficiencia de dispersión atmosférica, posiblemente asociado a mayores velocidades de viento y una mezcla vertical más intensa.

Figura 284: *Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — Noviembre 2024*



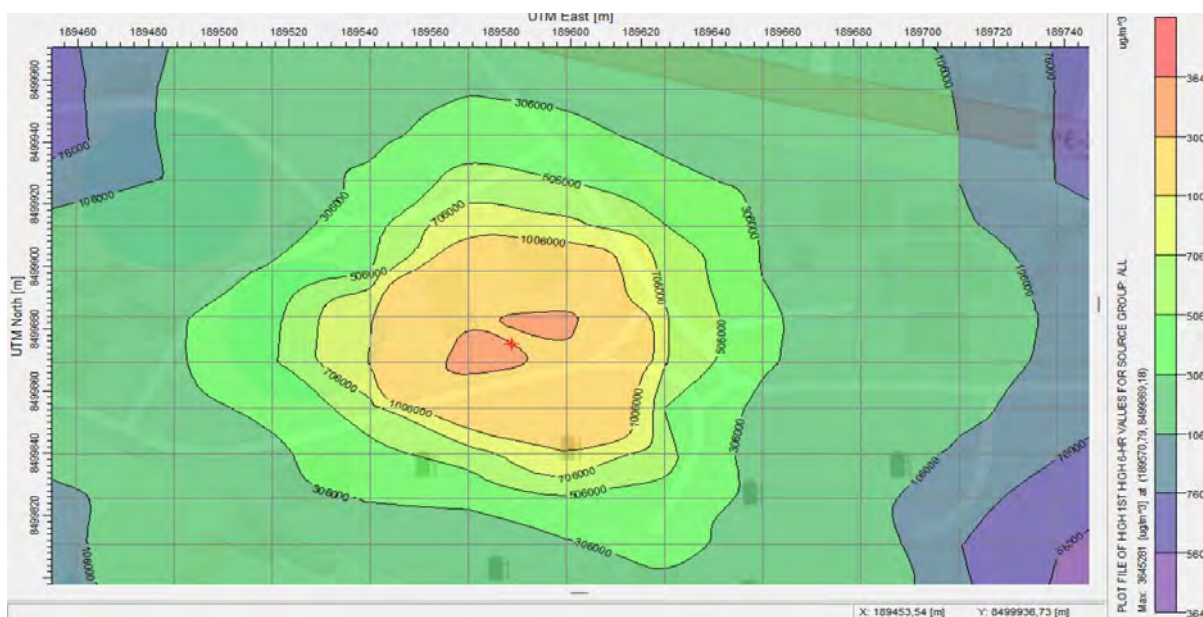
Durante noviembre de 2024, las concentraciones promedio diarias de monóxido de carbono (CO) fluctuaron entre 3.5 y 5.8 unidades, alcanzando el valor máximo el día 20. El comportamiento general del mes fue altamente variable, con presencia de varios picos intermedios y periodos de baja concentración entre los días 14 y 17. El incremento de concentración en torno al día 20 indica la posible influencia de condiciones meteorológicas de estabilidad atmosférica, probablemente asociadas a inversiones térmicas matutinas o vientos débiles, que limitaron la dispersión del contaminante.

Figura 285: *Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 20 de noviembre 2024*



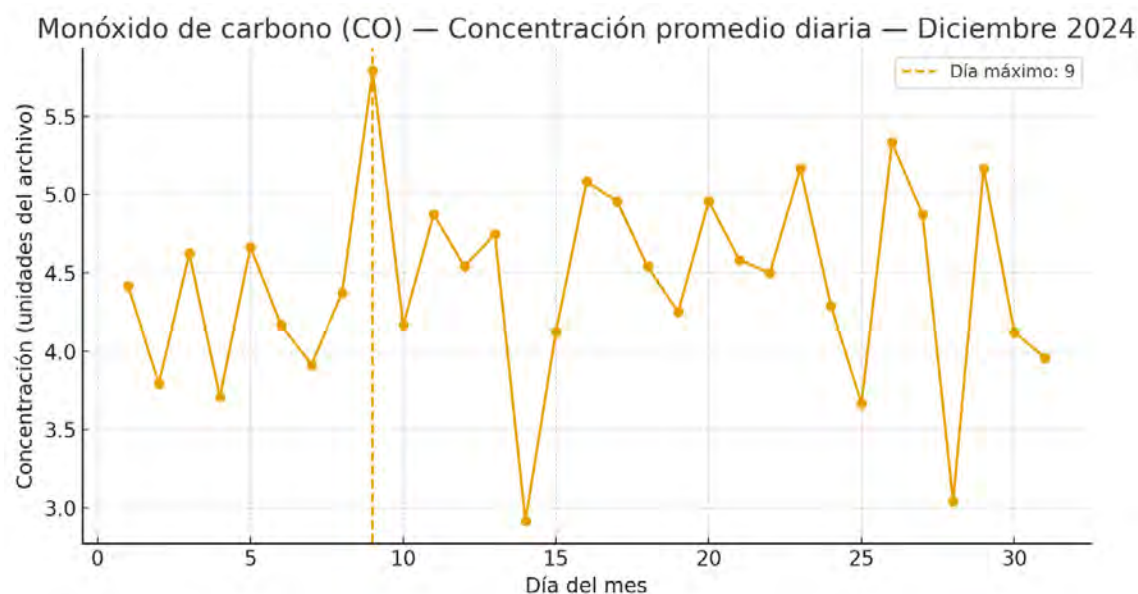
La rosa de viento correspondiente al día 20 de noviembre muestra predominancia de vientos del sur (S), suroeste (SW) y noroeste (NW), con velocidades que oscilaron entre 2 y 5 m/s, y algunos intervalos con ráfagas de hasta 8 m/s. A pesar de estas velocidades moderadas, la distribución direccional sugiere periodos de calma o baja mezcla vertical durante parte del día, lo cual coincide con la elevación en los niveles de CO registrados en la Figura 296.

Figura 286 Isoconcentraciones del mes de noviembre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD
8.9.0 2024.



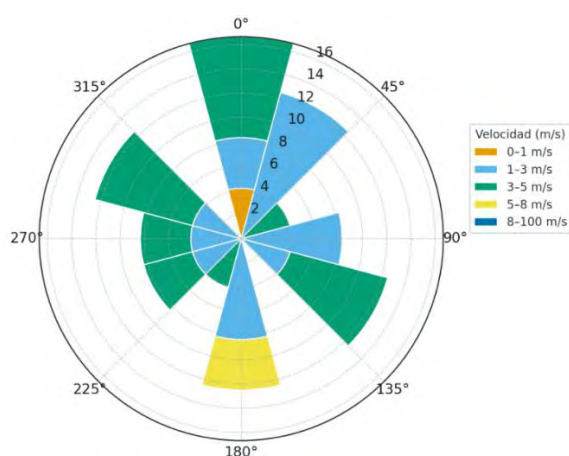
La Figura muestra las isoconcentraciones del mes de noviembre, con un patrón de dispersión más concentrado que en meses anteriores. Los valores máximos alcanzan 364 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, generando un núcleo bien definido y un gradiente pronunciado hacia el exterior. Este comportamiento podría asociarse a condiciones de menor ventilación o mayor estabilidad atmosférica durante el mes.

Figura 287: Monóxido de carbono (CO) — Concentración promedio diaria — diciembre 2024



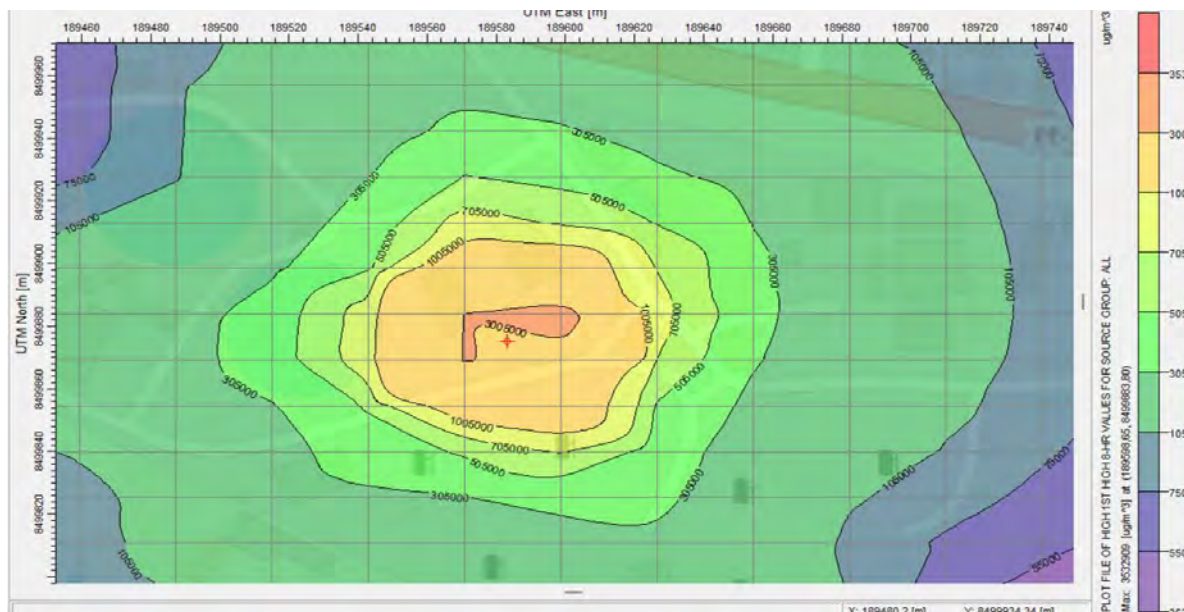
En diciembre de 2024, las concentraciones promedio diarias de monóxido de carbono (CO) se mantuvieron en el rango de 3.0 a 5.7 unidades, registrándose el valor máximo el día 9. El comportamiento del mes fue relativamente estable, con oscilaciones suaves y sin acumulaciones prolongadas. El pico del día 9 podría estar relacionado con una reducción temporal de la ventilación atmosférica, posiblemente producto de altas presiones locales o condiciones de calma en horas matutinas.

Figura288: Monóxido de carbono (CO) — Rosa de viento — Día 09 de diciembre 2024



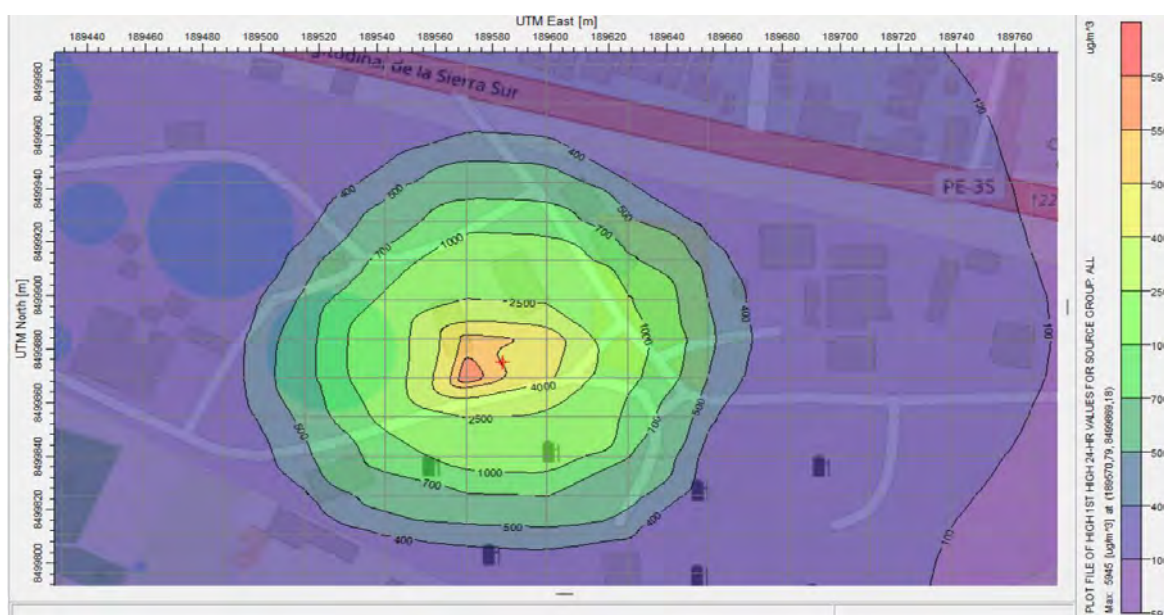
La rosa de viento del 9 de diciembre evidencia predominancia de vientos del norte (N) y noreste (NE) con velocidades entre 2 y 5 m/s, y componentes secundarias provenientes del sur (S). El patrón muestra una distribución equilibrada de direcciones, lo que favorece una mezcla atmosférica efectiva durante la mayor parte del día. Sin embargo, el valor máximo de CO coincide con periodos de baja velocidad de viento (0–1 m/s) registrados en las primeras horas, lo que explica la acumulación temporal del contaminante.

Figura 289: Isoconcentraciones del mes de diciembre de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modelada con AERMOD 8.9.0 2024.



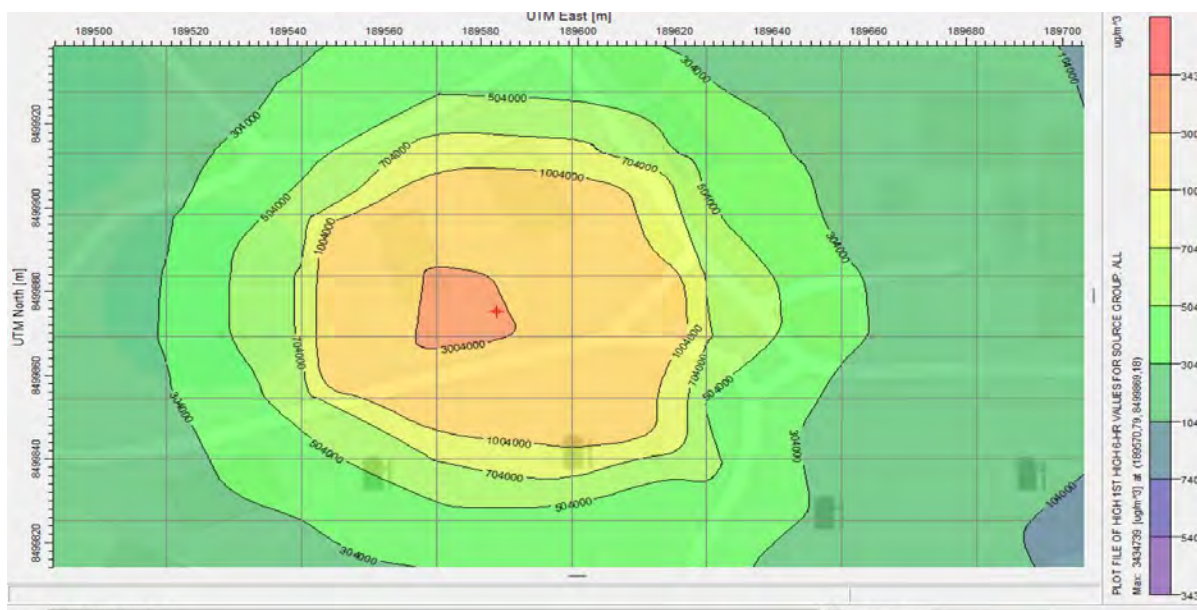
En la Figura, correspondiente al mes de diciembre, se observa un patrón similar al de noviembre, con valores máximos en torno a $353 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las isolíneas se distribuyen de manera elíptica, concentrando el penacho de CO sobre el área central del dominio. Se aprecia una ligera orientación de la pluma hacia el este, lo que coincide con la dirección predominante de los vientos durante esta época del año.

Figura 290: Concentración máxima 24 horas simulada de CO en el área de estudio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



La Figura representa la concentración máxima de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) simulada para un periodo de 24 horas en el área de estudio. El núcleo de mayor concentración se ubica en el punto de emisión, con un valor máximo aproximado de 594 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las isolíneas concéntricas muestran un gradiente pronunciado de dispersión, reduciéndose rápidamente con la distancia. Este resultado permite identificar el área de mayor impacto diario del contaminante.

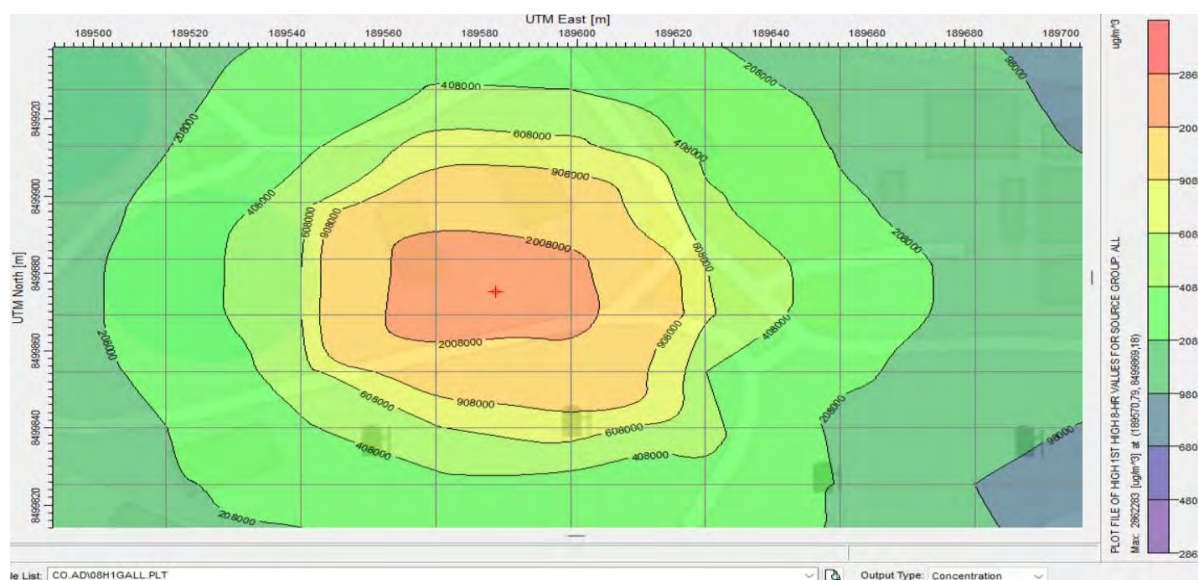
Figura 291: Distribución espacial de concentraciones 6 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco



Nota: *Elaboración propia*

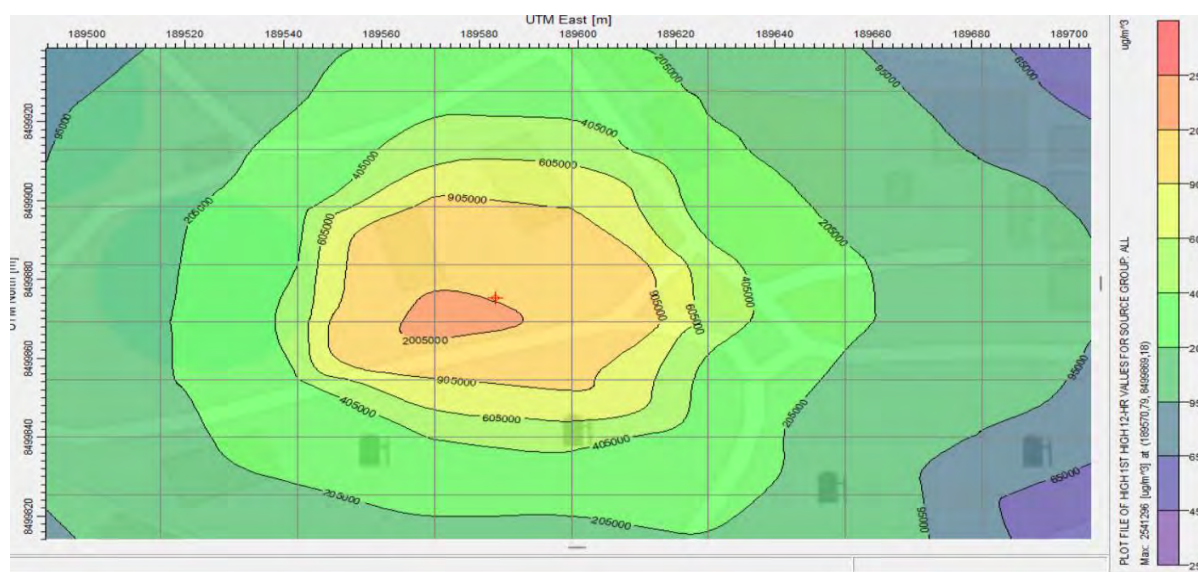
En la Figura se presenta la distribución espacial de concentraciones promedio de 6 horas de Cl_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) modeladas con AERMOD 8.9.0. El valor máximo alcanza $343 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ubicado en la fuente emisora, con una disminución progresiva hacia los límites del área de estudio. La forma circular y simétrica de las isolíneas refleja condiciones atmosféricas estables y una dispersión radial del gas.

Figura 292: *Distribución espacial de concentraciones 12 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco*



La Figura muestra la distribución espacial de concentraciones promedio de 12 horas de Cl_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa un incremento del área de dispersión en comparación con la Figura 132, con un valor máximo de aproximadamente $286 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El penacho del contaminante se extiende hacia el noreste, lo que sugiere un transporte influenciado por la dirección predominante del viento en horas diurnas.

Figura 293: Distribución espacial de concentraciones 18 horas Cloro (Cl_2) modeladas con AERMOD 8.9.0 – Área de estudio San Jerónimo, Cusco



La Figura presenta la distribución espacial de concentraciones promedio de 18 horas de Cl_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Las concentraciones máximas alcanzan 254 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando una clara reducción respecto a los periodos de menor duración. Las isolíneas adoptan una configuración más amplia y dispersa, indicando una difusión más efectiva del cloro con el paso del tiempo. Este comportamiento demuestra la influencia directa del tiempo de exposición en la dinámica de dispersión del gas.

4.1.8 Concentraciones de contaminantes a partir de la dispersión modelado con AERMOD 8.9.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabla 9: Concentraciones Anual de contaminantes modeladas con AERMOD 8.9.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Año	SO_2	NO_2	H_2S	O_3	NH_3	Cl_2	CO
2024	6.7	3.89	9.06	1.94	7.62	0.42	1358

Nota: Elaboración propia

Tabla 10: Concentraciones mensuales de contaminantes modeladas con AERMOD 8.9.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Mes	SO_2	NO_2	H_2S	O_3	NH_3	Cl_2	CO
Ene	5.38	2.41	6.9	0	5.27	0	740

Mes	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	O ₃	NH ₃	Cl ₂	CO
Feb	5.9	2.98	7.1	0	5.85	0.4	960
Mar	5.1	2.75	6.5	0	5	0	800
Abr	6.4	3.85	9.2	0	7.8	0	880
May	6.7	3.2	9.6	0	7.9	0	1000
Jun	6.2	3	7.8	0	6.3	0	900
Jul	6.1	2.85	7.1	0	5.9	0	780
Ago	5.9	2.7	6.8	0	5.4	0	760
Sep	5.7	2.5	6.2	0	5	0	730
Oct	6.54	2.76	6.67	1.67	4.94	0.45	1268.6
Nov	6.88	4.03	8.41	0.61	6.26	0.05	1395.7
Dic	6.03	3.14	6.83	0	5.13	0	515.7

Nota: *Elaboración propia*

La Tabla muestra las concentraciones mensuales de contaminantes atmosféricos modeladas con AERMOD 8.9.0 para el año 2024, destacando compuestos como SO₂, NO₂, H₂S, O₃, NH₃, Cl₂ y CO. Se observa que el CO presenta los valores más elevados, con picos en octubre y noviembre, seguido por H₂S y NH₃, que alcanzan mayores concentraciones entre abril y mayo. El SO₂ y NO₂ muestran variaciones moderadas, mientras que O₃ y Cl₂ registran concentraciones bajas durante la mayor parte del año. En conjunto, los resultados evidencian una variabilidad temporal asociada a las condiciones atmosféricas y operativas de la PTAR.

Tabla 11: *Coefficiente de Variación por contaminante*

Parámetro	Media	Desv. estándar	CV (%)
SO ₂	6.07	0.52	8.62%
NO ₂	3.01	0.49	16.35%
H ₂ S	7.43	1.09	14.72%
O ₃	0.19	0.50	262.09%
NH ₃	5.90	1.03	17.48%
Cl ₂	0.08	0.16	219.27%
CO	894.17	241.47	27.00%

Nota: *Elaboración propia*

De acuerdo con la Tabla 11, los contaminantes SO₂ (8,62 %), NO₂ (16.35 %), H₂S (14,72 %), NH₃ (17,48 %) y CO (27,00 %) presentan coeficientes de variación inferiores al 30 %, lo que indica una variabilidad moderada en sus concentraciones. En contraste, O₃ (262,09 %) y Cl₂

(219,27 %) registran coeficientes de variación muy superiores al 30 %, evidenciando una alta dispersión de los datos. En conjunto, la presencia de contaminantes con coeficientes de variación elevados demuestra que los datos no son homogéneos, ya que existe una marcada variabilidad en las concentraciones registradas, lo que justifica el uso de métodos estadísticos no paramétricos para el análisis posterior.

Tabla 12: emisiones promedias horarios de contaminantes modeladas con AERMOD 8.9.0

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Hora	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	O ₃	NH ₃	Cl ₂	CO
06:00	0.00	0.00	0,00	0,00	0.00	6,00	0,00
12:00	5.55	2.49	7,10	1,67	5.43	0,00	762,2
18:00	2.45	0.00	1,15	0,61	0.50	2,5	0,00

Nota: Elaboración propia

Tabla 13: Resumen valores de modelo– Enero a diciembre 2024 y comparación con los límites

máximos permisibles

Mes	Fechas Incluidas	Hora	SO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	H ₂ S $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O ₃ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NH ₃ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CL ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Comparación con ECA Perú
Ene	01/01/2024 al 31/01/2024	06:00	0	0	0	0	0	5.83	0	Dentro del ECA
		12:00	5.38	2.41	6.9	0	5.27	0	740	Dentro del ECA
		18:00	2.35	0	1.08	0	0.47	2.38	0	Dentro del ECA
Feb	01/02/2024 al 28/02/2024	06:00	0	0	0	0	0	6.1	0	Dentro del ECA
		12:00	5.9	2.98	7.1	0	5.85	0.4	960	Dentro del ECA
		18:00	2.35	0	0.92	0	0.38	3.05	0	Dentro del ECA
Mar	03/03/2024 al 31/03/2024	06:00	0	0	0	0	0	4.5	0	Dentro del ECA
		12:00	5.1	2.75	6.5	0	5.2	0	800	Dentro del ECA
		18:00	2.2	0	0.8	0	0.3	2.7	0	Dentro del ECA
Abr	06/04/2024 al 30/04/2024	06:00	0	0	0	0	0	5.99	0	Dentro del ECA
		12:00	6.4	3.85	9.2	0	7.8	0	880	Dentro del ECA
		18:00	3.85	0	2.9	0	1.6	2.7	0	Dentro del ECA
May	04/05/2024 al 31/05/2024	06:00	0	0	0	0	0	6.1	0	Dentro del ECA
		12:00	6.7	3.2	9.6	0	7.9	0	1000	Dentro del ECA
		18:00	4.1	0	2.8	0	1.5	2.4	0	Dentro del ECA
Jun	03/06/2024 al 30/06/2024	06:00	0	0	0	0	0	5.2	0	Dentro del ECA
		12:00	6.2	3	7.8	0	6.3	0	900	Dentro del ECA
		18:00	3.1	0	1.9	0	0.9	3.1	0	Dentro del ECA
Jul	01/07/2024 al 31/07/2024	06:00	0	0	0	0	0	4.8	0	Dentro del ECA
		12:00	6.1	2.85	7.1	0	5.9	0	780	Dentro del ECA
		18:00	3	0	1.7	0	0.7	2.9	0	Dentro del ECA

Ago.	05/08/2024	06:00	0	0	0	0	0	4.6	0	Dentro del ECA
	al	12:00	5.9	2.7	6.8	0	5.4	0	760	Dentro del ECA
	31/08/2024	18:00	2.8	0	1.6	0	0.6	2.7	0	Dentro del ECA
sep.	02/09/2024	06:00	0	0	0	0	0	4.2	0	Dentro del ECA
	al	12:00	5.7	2.5	6.2	0	5	0	730	Dentro del ECA
	30/09/2024	18:00	2.5	0	1.3	0	0.4	2.3	0	Dentro del ECA
Oct	07/10/2024	06:00	0	0	0	0	0	11.62	0	Dentro del ECA
	al	12:00	6.54	2.76	6.67	1.67	4.94	0.45	1268.5	Dentro del ECA
	31/10/2024	18:00	1.55	0	0	0	0	6.63	0	Dentro del ECA
Nov	04/11/2024	06:00	0	0	0	0	0	7.63	0	Dentro del ECA
	al	12:00	6.88	4.03	8.41	0.61	6.26	0.05	1395.7	Dentro del ECA
	30/11/2024	18:00	3.2	0	0.89	0	0.09	3.05	0	Dentro del ECA
Dic	02/12/2024	06:00	0.11	0	0	0	0	5.56	0	Dentro del ECA
	al	12:00	6.03	3.14	6.83	0	5.13	0	515.7	Dentro del ECA
	31/12/2024	18:00	2.65	0	0.77	0	0.2	2.54	0	Dentro del ECA

Nota: *Modelo AerMod*

4.2. Concentración de las sustancias odoríferas

Tabla 14: *Límites referenciales de calidad del aire para contaminantes odoríferos y gases criterio utilizados en el estudio.*

Contaminante	Límite referencial propuesto	Observaciones
H₂S (Sulfuro de hidrógeno)	150 µg/m³	Basado en ECA Perú DS 003-2017-MINAM.
NH₃ (Amoníaco)	200 µg/m³	Valor guía tomado de WHO Air Quality Guidelines (nivel sin efectos adversos).
Cl₂ (Cloro gaseoso)	100 µg/m³	Referencial de US EPA y WHO para exposición corta.
CO (Monóxido de carbono)	10 mg/m ³	ECA Perú.
SO₂ (Dióxido de azufre)	250 µg/m ³	ECA Perú.
NO₂ (Dióxido de nitrógeno)	200 µg/m ³	ECA Perú.
O₃ (Ozono troposférico)	0.08 ppm (≈160 µg/m ³)	Basado en ECA Perú DS 003-2017-MINAM.

Fuente: *ECA- WHO*

En la Tabla 11. Límites referenciales de calidad del aire para contaminantes odoríferos y gases criterio utilizados en el estudio, se sintetizan los valores normativos y guías internacionales empleados como referencia para evaluar los resultados de modelamiento. Esta tabla incluye contaminantes críticos como H_2S , NH_3 y Cl_2 , relevantes por su carácter odorífero y potenciales impactos sensoriales, así como gases criterio regulados por el ECA Perú (CO , SO_2 , NO_2 y O_3) que sirven como indicadores de la calidad del aire. La selección de estos valores integra normativa peruana, recomendaciones de la OMS y la US EPA, aportando un marco comparativo robusto para analizar las concentraciones obtenidas. De esta manera, la tabla constituye una base fundamental para interpretar los niveles simulados en la cuenca del río Huatanay y priorizar medidas de gestión ambiental y control de emisiones.

4.2.1 Concentración de dióxido de azufre (SO_2) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024

Figura 294: Tendencia mensual del dióxido de azufre (SO_2) en horas de 6:00, año 2024

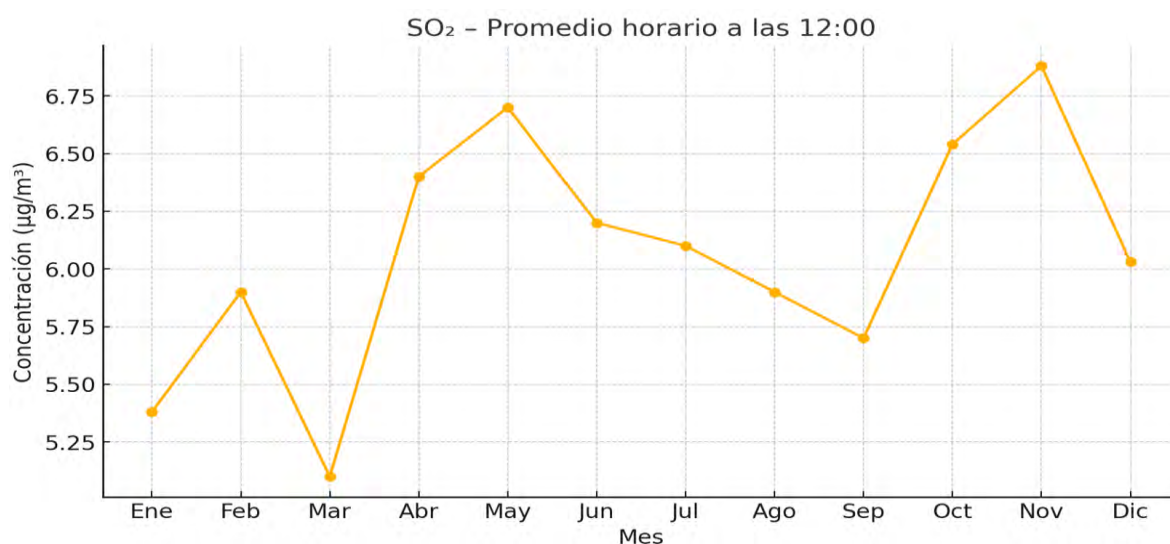


Nota: Elaboración propia

En la Figura se observa la tendencia mensual del dióxido de azufre (SO_2) a las 6:00 horas durante el año 2024. Los niveles de SO_2 en esta franja horaria se mantienen cercanos a

cero en todos los meses, con una excepción destacable en diciembre de 2024, donde se presenta un valor significativamente mayor, en torno a 0.11, acompañado por un intervalo de confianza del 95%. Esta anomalía sugiere un posible evento puntual de emisión o una condición ambiental específica en ese mes.

Figura 295: *Tendencia mensual del dióxido de azufre (SO₂) en horas de 12:00, Año 2024*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura muestra los niveles de SO₂ medidos a las 12:00 horas a lo largo de los meses del año 2024. A diferencia de las 6:00 horas, los valores aquí son considerablemente más altos, con concentraciones que oscilan entre aproximadamente 5.2 y 6.9. Se observa un pico en noviembre, mientras que los valores más bajos ocurren en enero y marzo. Esta tendencia sugiere una acumulación o mayor emisión de SO₂ hacia el mediodía, posiblemente por actividades humanas o condiciones atmosféricas más favorables para la concentración del contaminante.

Figura 296: *Tendencia mensual del dióxido de azufre (SO₂) en horas de 18:00, Año 2024*

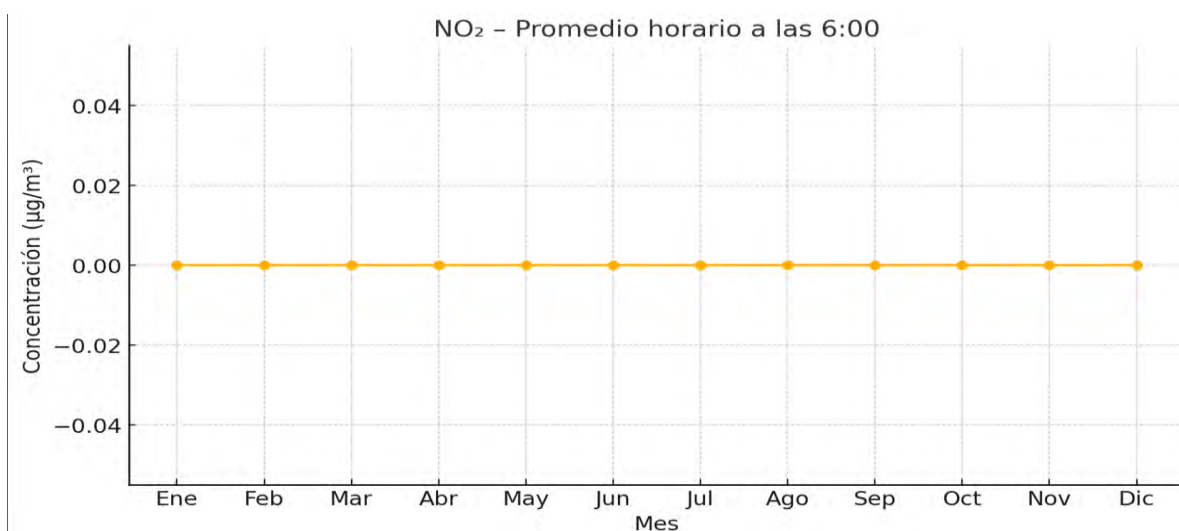


Nota: *Elaboración propia*

En la Figura se presentan los niveles de SO₂ registrados a las 18:00 horas durante el año 2024. Se evidencian concentraciones intermedias respecto a las 6:00 y 12:00 horas, con un rango entre aproximadamente 2.3 y 3.9. Abril muestra el valor más alto, seguido por mayo, mientras que marzo presenta uno de los más bajos. Esta franja horaria refleja una posible disminución del SO₂ tras el pico del mediodía, probablemente debido a cambios en las condiciones meteorológicas como el viento o la dispersión del contaminante.

4.2.2 Concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en horas de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024

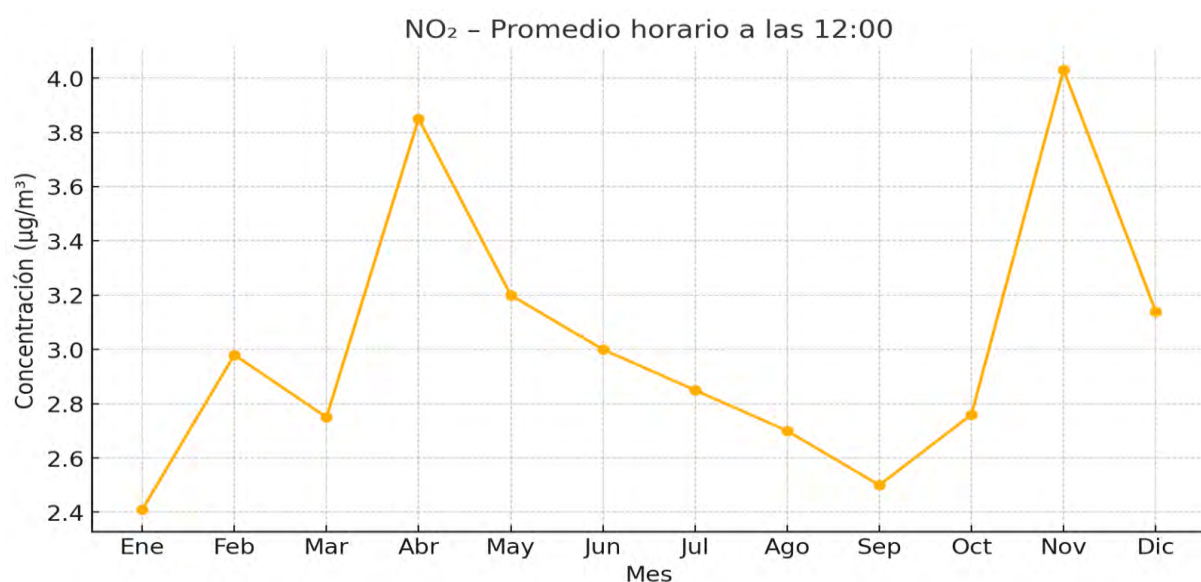
Figura 297: *Tendencia mensual del dióxido de nitrógeno (NO₂) en horas de 6:00, 2024*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura muestra la tendencia mensual del dióxido de nitrógeno (NO_2) a las 6:00 horas durante el año 2024. Los valores observados se mantienen constantes y cercanos a cero en todos los meses, sin variaciones apreciables ni intervalos de confianza destacables. Esto sugiere una baja presencia o medición de NO_2 en esta franja horaria, probablemente debido a condiciones atmosféricas que favorecen la dispersión del contaminante o una menor actividad humana en ese horario.

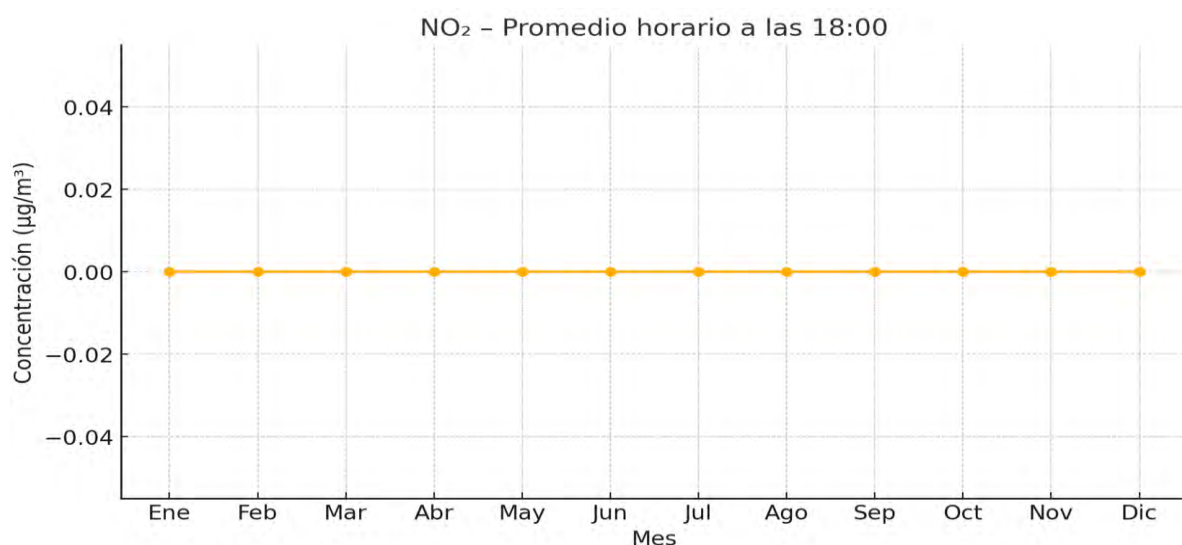
Figura 298: *Tendencia mensual del dióxido de nitrógeno (NO_2) en horas de 12:00, 2024*



Nota: *Elaboración propia*

En la Figura se observa un comportamiento muy distinto al de la mañana. A las 12:00 horas, los niveles de NO_2 aumentan considerablemente, alcanzando concentraciones entre aproximadamente 2.5 y 4.0. El valor más alto se registra en noviembre, mientras que enero presenta la concentración más baja del año. Esta distribución sugiere que el mediodía es un periodo de alta actividad vehicular o industrial, que contribuye significativamente a las emisiones de NO_2 , además de condiciones meteorológicas que limitan su dispersión.

Figura 299: *Tendencia mensual del dióxido de nitrógeno (NO₂) en horas de 18:00, 2024*

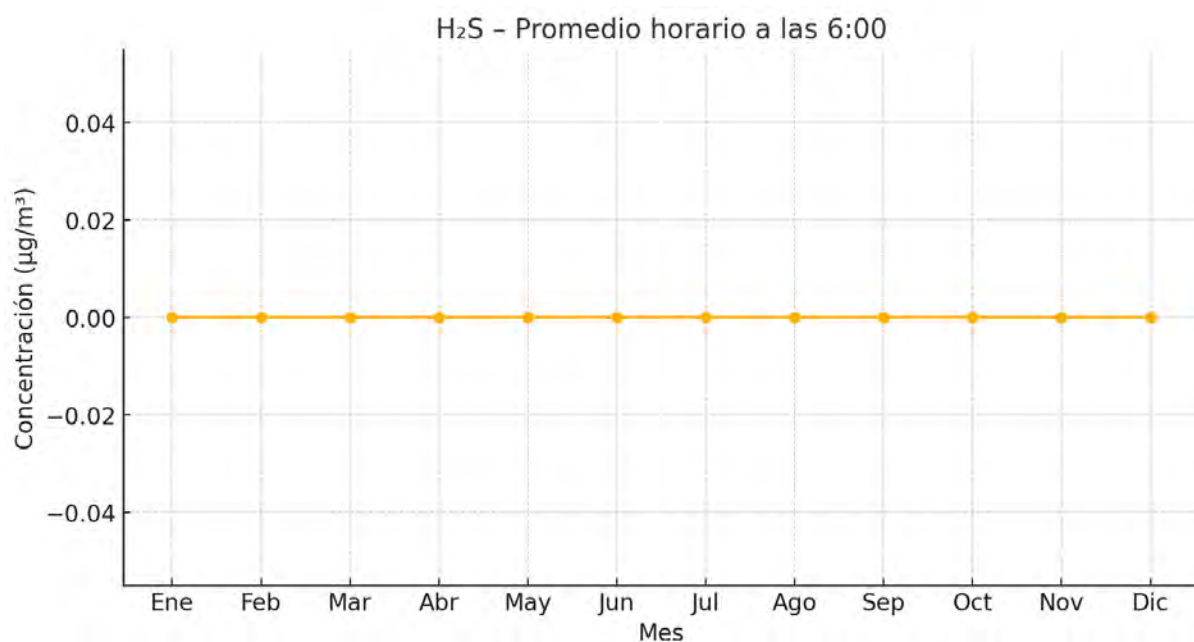


Nota: *Elaboración propia*

La Figura presenta nuevamente niveles de NO₂ cercanos a cero en la franja horaria de las 18:00 horas, al igual que en la mañana. Esta repetida baja concentración sugiere una disminución significativa del contaminante al finalizar el día, posiblemente debido a la reducción de fuentes emisoras o una mejora en la dispersión atmosférica conforme cae la tarde.

4.2.3 Concentración de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024

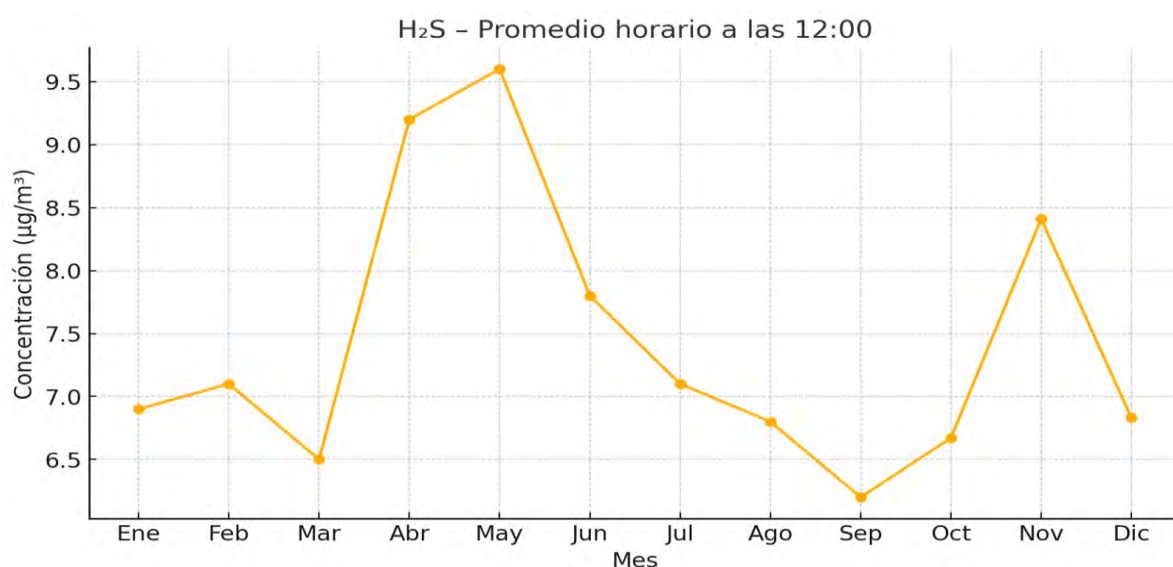
Figura 300: *Tendencia mensual del sulfuro de hidrógeno (H₂S) en horas de 6:00, 2024*



Nota: *Elaboración propia*

En la Figura se presenta la tendencia mensual del sulfuro de hidrógeno (H_2S) a las 6:00 horas durante el año 2024. Los niveles observados se mantienen en cero o valores prácticamente nulos a lo largo de todos los meses, sin variaciones significativas ni intervalos de confianza destacables. Esto indica que a esa hora del día no hay presencia considerable de H_2S , lo cual podría deberse a una menor actividad de fuentes emisoras o a condiciones ambientales que favorecen su rápida disipación.

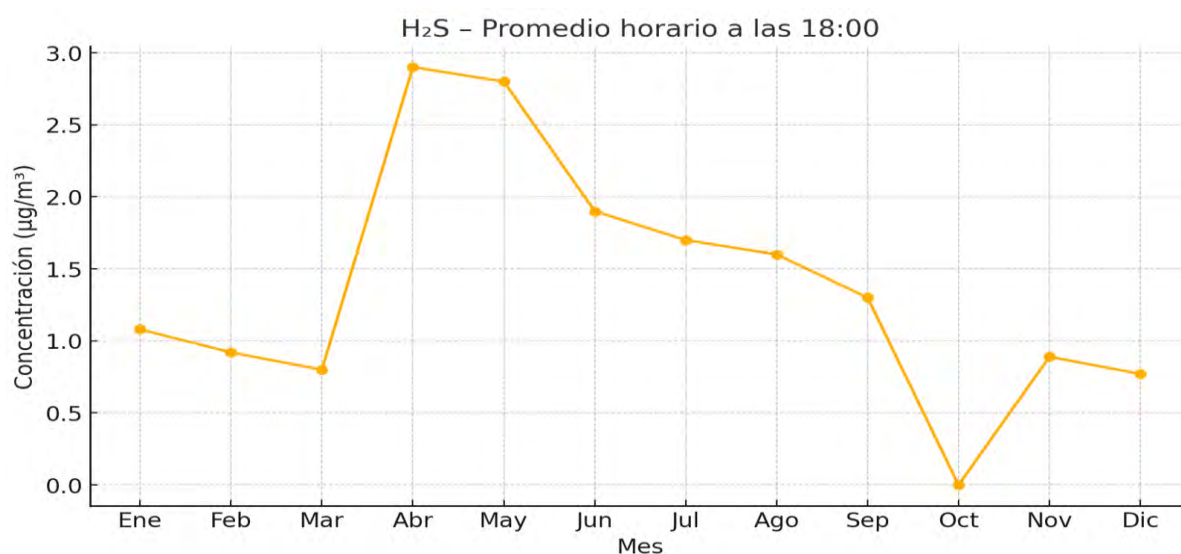
Figura 301: *Tendencia mensual del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en horas de 12:00, 2024*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura muestra la evolución mensual de los niveles de H_2S a las 12:00 horas en 2024. Se evidencian valores elevados en comparación con la mañana, alcanzando concentraciones entre aproximadamente 6.2 y 9.2, con un valor máximo en abril y otro pico considerable en junio. Esta tendencia sugiere un aumento marcado del contaminante hacia el mediodía, probablemente asociado a la actividad industrial, emisiones vehiculares o a procesos biogénicos intensificados por la temperatura.

Figura 302: *Tendencia mensual del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en horas de 18:00, 2024*

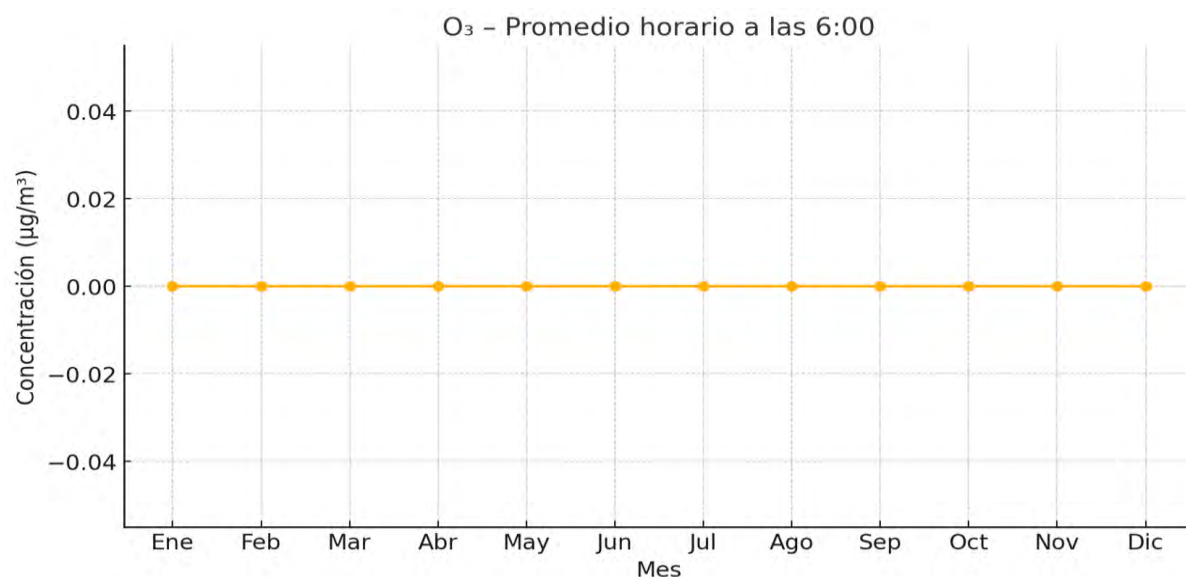


Nota: *Elaboración propia*

En la Figura se presentan los niveles de H_2S registrados a las 18:00 horas a lo largo de los meses de 2024. Se observan valores intermedios respecto a las horas anteriores, con concentraciones que oscilan entre aproximadamente 0.1 y 3.0. Abril destaca nuevamente con el valor más alto, seguido por mayo y junio. La disminución general respecto al mediodía podría explicarse por un descenso en la actividad emisora o un aumento en la dispersión del contaminante hacia la tarde.

4.2.4 Concentración de ozono troposférico (O_3) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024

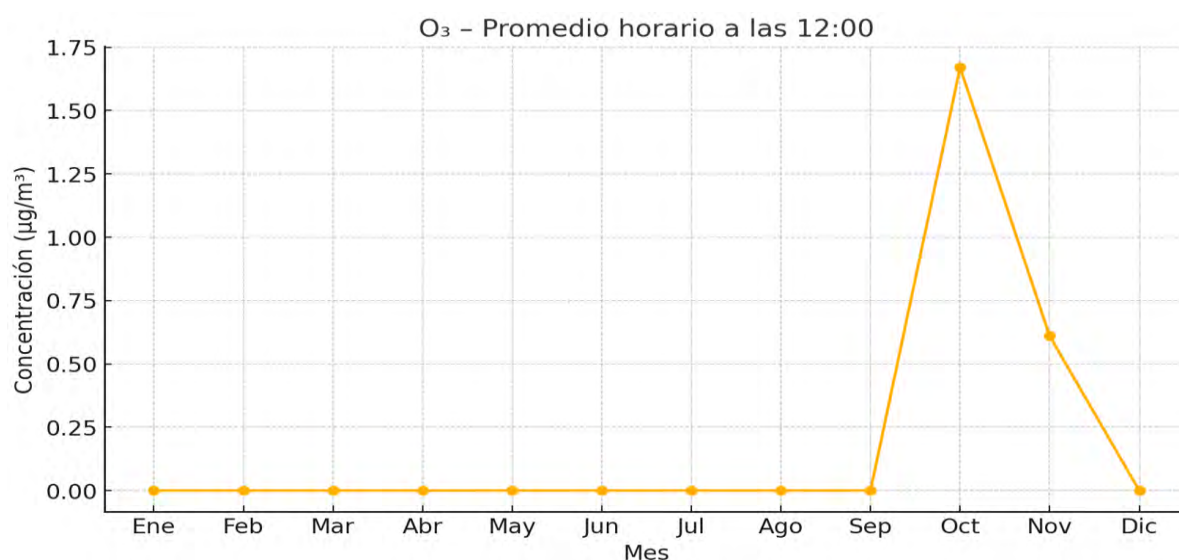
Figura 303: Tendencia mensual del ozono troposférico (O_3) en horas de 6:00–2024



Nota: Elaboración propia

La Figura muestra la tendencia mensual del ozono troposférico (O_3) a las 6:00 horas en el año 2024. En general, los niveles de O_3 son cercanos a cero durante la mayoría de los meses, con dos excepciones notables: en noviembre y especialmente en diciembre, donde se observan aumentos significativos. Esto podría deberse a condiciones atmosféricas específicas, como la inversión térmica o baja circulación de aire, que favorecen la acumulación de ozono en las primeras horas del día.

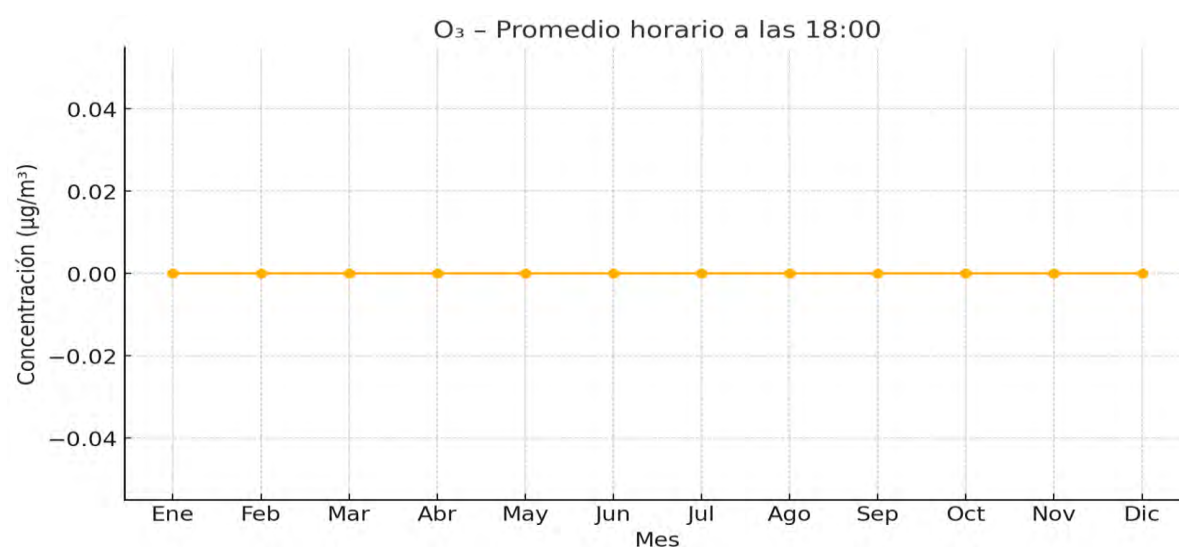
Figura 304: *Tendencia mensual del ozono troposférico (O_3) en horas de 12:00, 2024*



Nota: *Elaboración propia*

En la Figura se presentan los niveles de O_3 al mediodía (12:00) durante el mismo periodo. A diferencia de lo observado a las 6:00, los valores permanecen constantes y cercanos a cero durante todos los meses, sin variaciones detectables. Esta estabilidad sugiere que a esa hora no se presentan condiciones que favorezcan la acumulación de ozono troposférico o que las fuentes de emisión de precursores del O_3 no tienen un impacto significativo al mediodía.

Figura 305: *Tendencia mensual del ozono troposférico (O_3) en horas de 18:00, 2024*

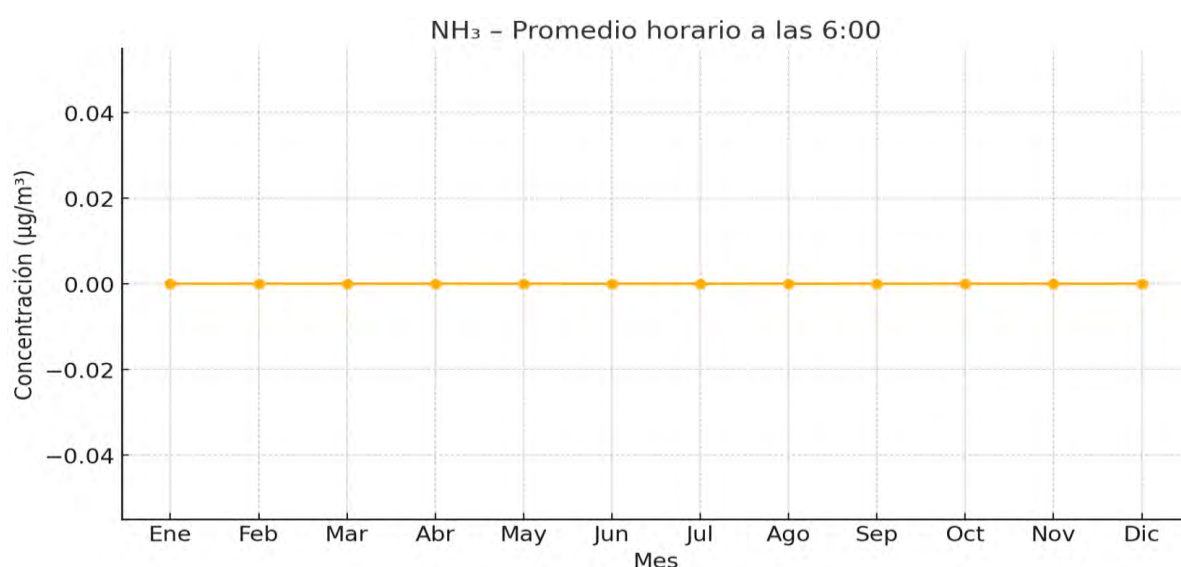


Nota: *Elaboración propia*

La Figura muestra el comportamiento del ozono troposférico a las 18:00 horas a lo largo del año. Al igual que al mediodía, los valores son nulos o muy cercanos a cero durante todos los meses. La ausencia de variación sugiere una baja producción de O_3 en este horario, probablemente como resultado de la reducción en la radiación solar —necesaria para su formación— al final del día.

4.2.5 Concentración de amoníaco (NH_3) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024

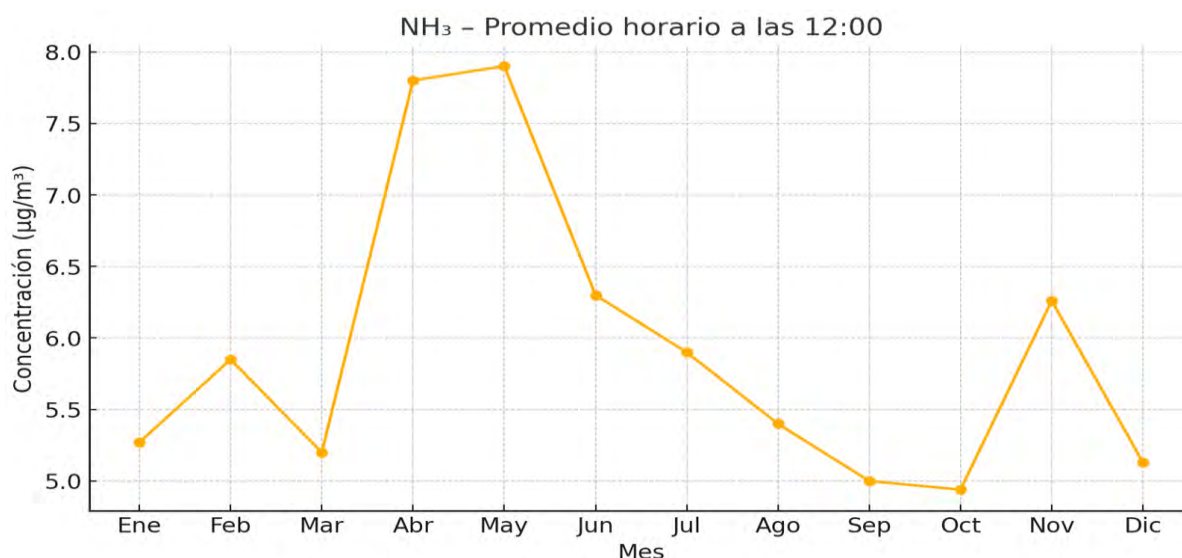
Figura 306: Tendencia mensual del amoníaco (NH_3) en horas de 6:00 – Año 2024



Nota: Elaboración propia

La Figura muestra la tendencia mensual del amoníaco (NH_3) a las 6:00 horas durante el año 2024. Durante la mayor parte del año, los niveles se mantienen cercanos a cero, sin variaciones notables. Sin embargo, se observan dos picos significativos en septiembre y octubre, con concentraciones que superan los 4 y 6, respectivamente. Esto sugiere una posible fuente puntual de emisión durante esos meses y horarios, posiblemente relacionada con actividades agrícolas, ganaderas o condiciones meteorológicas específicas que favorecen la acumulación del contaminante a primeras horas del día.

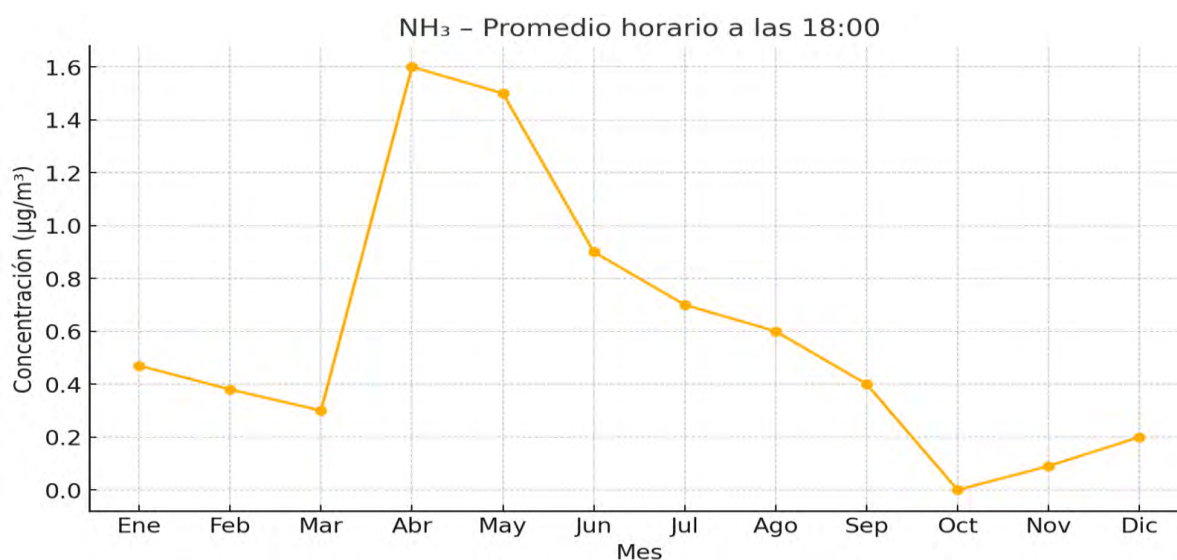
Figura 307: *Tendencia mensual del amoníaco (NH₃) en horas de 12:00 – Año 2024*



Nota: *Elaboración propia*

En la Figura se presentan los niveles de NH₃ al mediodía (12:00), donde se observa un comportamiento muy distinto. Los valores son consistentemente altos en casi todos los meses, oscilando entre 5 y 8, con máximos en abril y mayo. Solo en los últimos meses (noviembre y octubre) se observan niveles bajos. Esta tendencia sugiere una fuerte emisión o formación de NH₃ durante el mediodía, probablemente relacionada con la volatilización por temperatura y exposición solar, especialmente en entornos agrícolas.

Figura 308: *Tendencia mensual del amoníaco (NH₃) en horas de 18:00 – Año 2024*

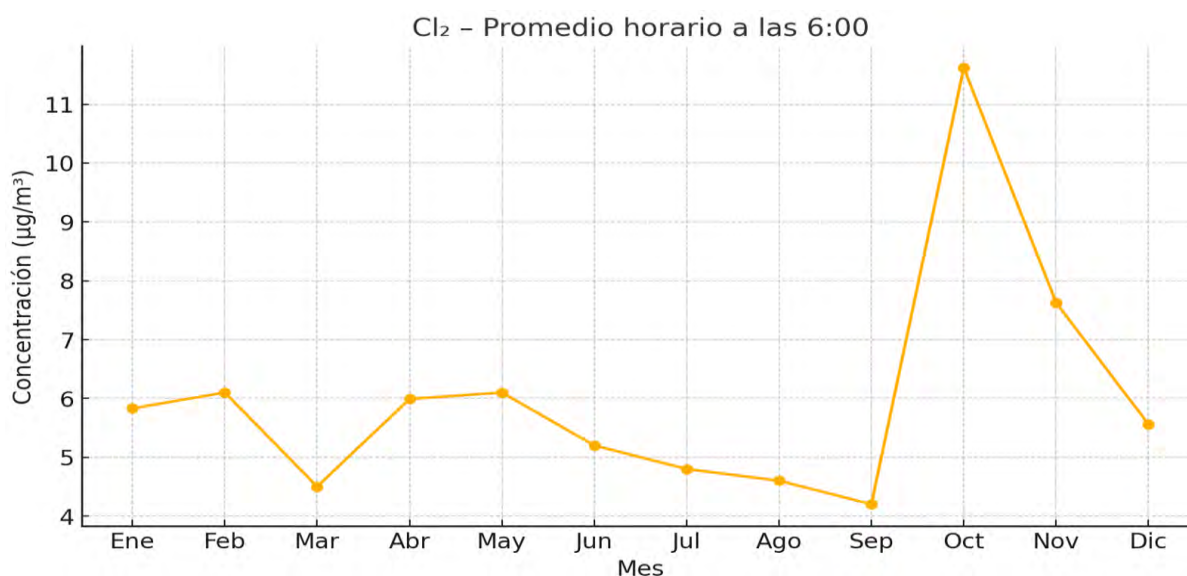


Nota: *Elaboración propia*

La Figura muestra los niveles de NH_3 a las 18:00 horas en 2024. Se observan concentraciones más bajas que al mediodía, pero mayores que por la mañana en la mayoría de los meses. Abril y junio destacan con valores alrededor de 2 y 1.5, respectivamente. A partir de noviembre, los niveles caen nuevamente a casi cero. Este patrón indica una posible disipación gradual del contaminante hacia el final del día, aunque en ciertos meses persiste una concentración residual que podría tener origen en emisiones acumuladas o baja dispersión vespertina.

4.2.6 Concentración de cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024

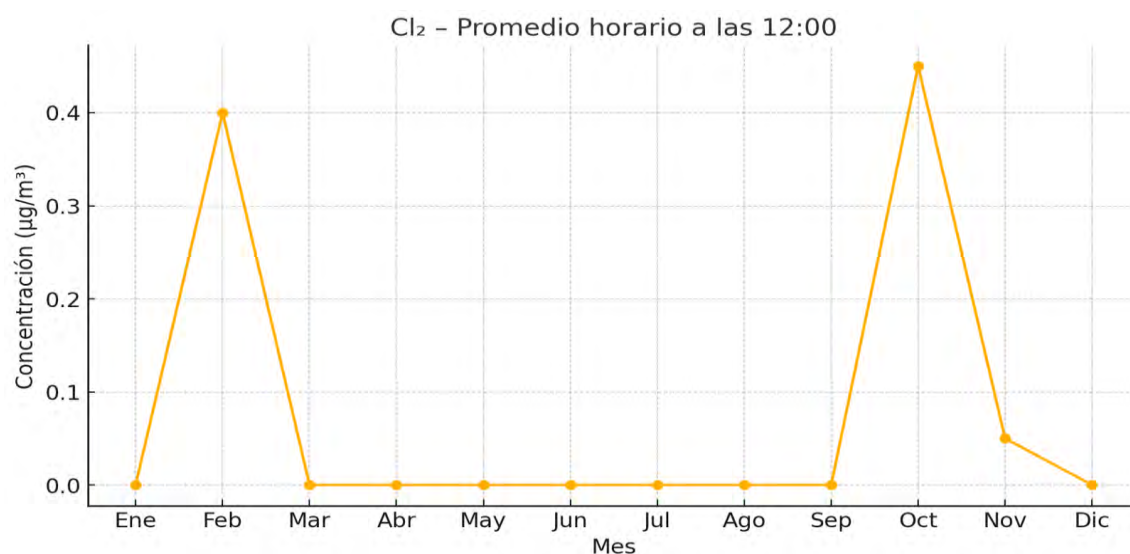
Figura 309: Tendencia mensual del cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 6:00 – Año 2024



Nota: Elaboración propia

La Figura presenta la tendencia mensual del cloro gaseoso (Cl_2) a las 6:00 horas durante el año 2024. A lo largo del año, se observan concentraciones relativamente constantes entre 5 y 6 unidades, con ligeras variaciones. Sin embargo, destacan tres picos importantes en mayo, noviembre y particularmente en octubre, donde el valor supera las 11 unidades. Esta alza inusual podría estar relacionada con descargas industriales, procesos de desinfección o condiciones meteorológicas que favorecen su acumulación matutina.

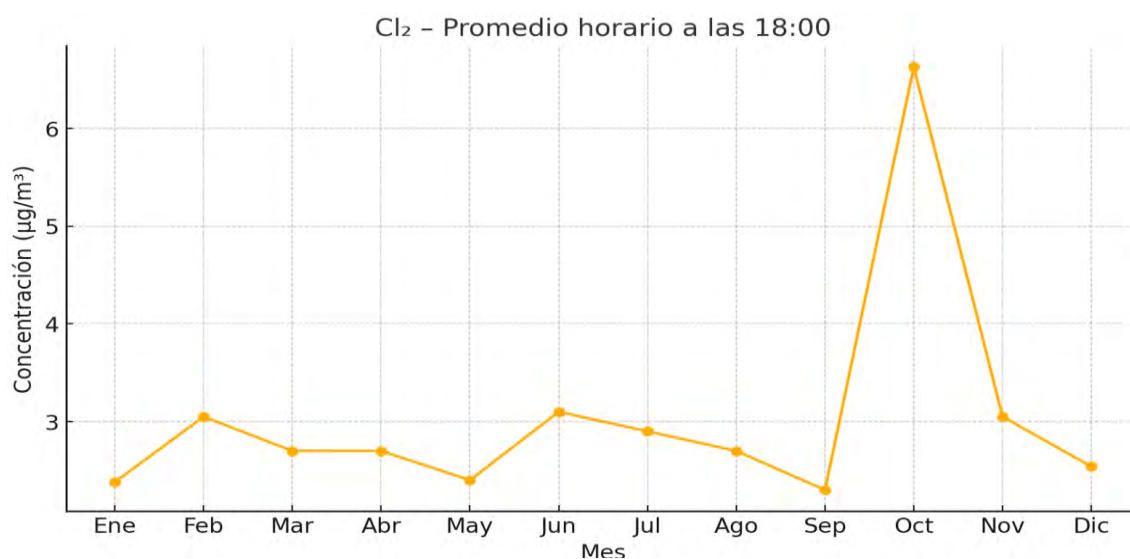
Figura 310: *Tendencia mensual del cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 12:00– Año 2024*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura muestra los niveles de Cl_2 al mediodía, donde se aprecia una marcada diferencia respecto a la mañana. Durante la mayoría de los meses, las concentraciones se mantienen cercanas a cero, con la excepción de febrero, noviembre y septiembre, donde hay picos aislados —especialmente en septiembre, que alcanza una concentración cercana a 0.5. Estos valores puntuales sugieren emisiones localizadas o actividades específicas en ciertas fechas, aunque en general la presencia de Cl_2 es muy baja al mediodía.

Figura 311: *Tendencia mensual del cloro gaseoso (Cl_2) en horarios de 18:00– Año 2024*

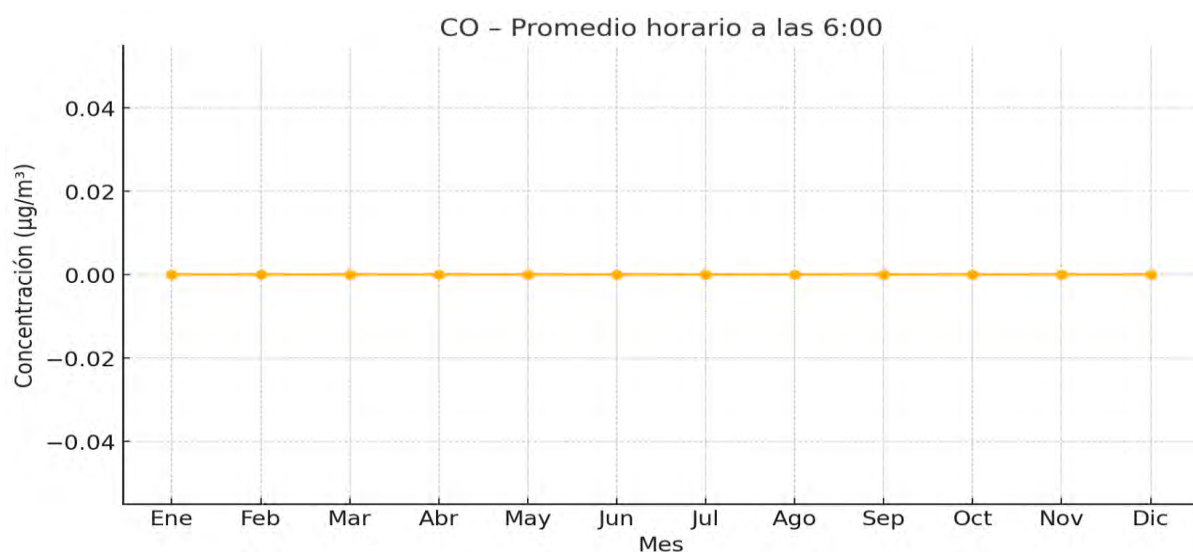


Nota: *Elaboración propia*

La Figura representa los niveles de Cl_2 a las 18:00 horas. Aquí se evidencia un comportamiento intermedio: la mayoría de los meses presentan concentraciones estables entre 2.5 y 3.5 unidades, con un pico destacado en septiembre, que supera las 6 unidades. La variación entre meses y la mayor concentración al final del día podrían estar relacionadas con condiciones atmosféricas vespertinas que impiden la dispersión del contaminante o con operaciones industriales programadas en horarios de cierre.

4.2.7 Concentración de monóxido de carbono (CO) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024

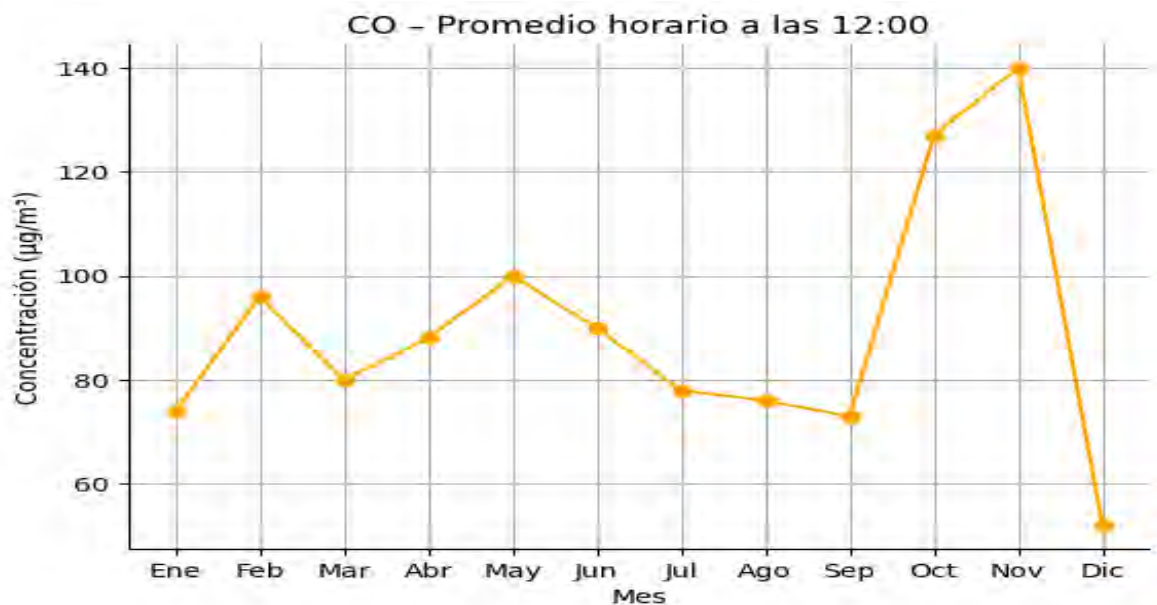
Figura 312: Tendencia mensual del monóxido de carbono (CO) en horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 – Año 2024



Nota: Elaboración propia

La Figura muestra la tendencia mensual del monóxido de carbono (CO) a las 6:00 horas en 2024. En la mayoría de los meses, los niveles se mantienen cercanos a cero, salvo en tres meses clave: diciembre, noviembre y octubre. Diciembre alcanza valores superiores a 500 unidades, y noviembre incluso supera los 1000. Estos aumentos abruptos podrían estar asociados con condiciones atmosféricas de inversión térmica, menor dispersión de contaminantes y/o un incremento de actividades emisoras durante los meses fríos.

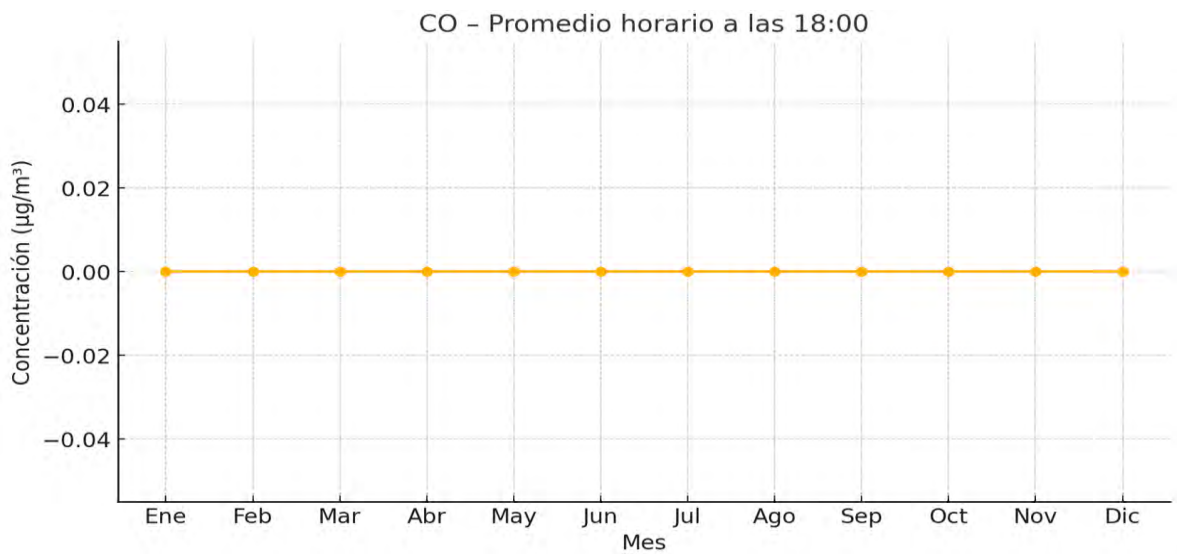
Figura 313: *Tendencia mensual del monóxido de carbono (CO) en horarios de 12:00– Año 2024*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura representa los niveles de CO al mediodía, donde se observan valores consistentemente altos durante la mayor parte del año, especialmente entre marzo y julio, con concentraciones entre 700 y 1000 unidades. Abril, mayo y marzo se destacan como los meses con mayor concentración. Sin embargo, en diciembre, noviembre y octubre los valores caen a cero. Este comportamiento sugiere una fuerte influencia de las fuentes móviles (como el tránsito) y una mayor formación o acumulación de CO durante los horarios centrales del día en la primera mitad del año.

Figura 314: *Tendencia mensual del monóxido de carbono (CO) en horarios de 18:00– Año 2024.*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura muestra los niveles de CO a las 18:00 horas, donde el patrón cambia notablemente. Durante todos los meses, los valores son prácticamente cero, sin variaciones ni picos apreciables. Esto sugiere que hacia el final del día hay una reducción significativa en las emisiones de CO o condiciones más favorables para su dispersión, como aumento de vientos o menor actividad humana directa.

4.2.8 Concentraciones de contaminantes medidas en campo (µg/m³)

Tabla 15: *Concentraciones mensuales de contaminantes registrados (µg/m³)*

Mes	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	O ₃	NH ₃	Cl ₂	CO
Ene	5.24	2.33	6.53	0	5.09	0	720
Feb	5.73	2.88	6.71	0	5.65	0.38	934.1
Mar	4.96	2.66	6.14	0	5.02	0	778.4
Abr	6.25	3.72	8.69	0	7.53	0	855.2
May	6.53	3.09	9.06	0	7.62	0	971.9
Jun	6.03	2.9	7.37	0	6.07	0	875.7
Jul	5.94	2.75	6.71	0	5.66	0	759.9
Ago	5.73	2.61	6.42	0.02	5.18	0	739.5
Sep	5.53	2.42	5.86	0	4.8	0	710.3
Oct	6.37	2.67	6.31	1.94	4.75	0.42	1234.2

Mes	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	O ₃	NH ₃	Cl ₂	CO
Nov	6.7	3.89	7.94	0.71	6.05	0.05	1358
Dic	5.87	3.03	6.45	0	4.94	0	502.8

Nota: *Elaboración propia*

La **Tabla 16** presenta las concentraciones mensuales de diversos contaminantes atmosféricos medidas en campo durante un año, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa que el **H₂S y CO** son los contaminantes con mayores concentraciones, alcanzando picos en **mayo** ($9.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de H₂S) y **noviembre** ($1358.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO), lo que puede estar asociado a variaciones estacionales o incrementos en fuentes emisoras. Por el contrario, **O₃ y Cl₂** presentan concentraciones nulas en la mayoría de los meses, con excepciones puntuales en octubre y noviembre. En general, los datos reflejan una dinámica mensual diferenciada para cada contaminante, influenciada posiblemente por factores meteorológicos, patrones de emisión y condiciones locales de dispersión.

Tabla 16: *Cuantificación máxima diaria de emisiones modelados con AERMOD 8.9.0*

($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 2024

Día	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	O ₃	NH ₃	Cl ₂	CO
2024-01-01	2.27	4.47	4.01	1.93	0	5.38	345.8
2024-01-02	2.25	4.76	3.59	2.05	0	5.23	362.94
2024-01-03	2.26	4.47	3.64	1.93	0	5.8	362.59
2024-01-04	2.25	4.38	3.68	2	0	5.48	346.01
2024-01-05	2.29	4.22	3.49	1.98	0	5.32	339.88
2024-01-06	2.26	4.78	3.6	2.05	0	5.59	343.66
2024-01-07	2.2	4.58	3.42	1.9	0	5.74	353.88
2024-01-08	2.34	4.69	3.68	1.85	0	5.86	343.95
2024-01-09	2.1	4.81	3.61	2.06	0	5.72	352.14
2024-01-10	2.27	4.58	3.44	1.84	0	5.49	339.41
2024-01-11	2.3	4.87	3.71	1.87	0	5.46	341.45
2024-01-12	2.23	4.86	3.52	1.85	0	5.72	322.89
2024-01-13	2.19	4.47	3.87	1.8	0	5.38	350.22
2024-01-14	2.22	4.46	3.55	1.77	0	5.36	347
2024-01-15	2.34	4.69	3.64	1.99	0	5.11	371.88
2024-01-16	2.17	4.53	3.59	1.81	0	5.67	349.72
2024-01-17	2.23	4.63	3.39	1.93	0	5.5	350.53

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-01-18	2.18	4.91	3.56	1.99	0	5.42	356.64
2024-01-19	2.15	4.86	3.66	1.8	0	5.34	362.52
2024-01-20	2.22	4.69	3.75	2	0	5.42	350.27
2024-01-21	2.3	4.51	3.61	1.82	0	5.75	359.88
2024-01-22	2.23	4.76	3.43	1.89	0	5.65	346.53
2024-01-23	2.28	4.37	3.64	1.79	0	5.14	323.05
2024-01-24	2.31	4.58	3.43	1.89	0	5.7	354.9
2024-01-25	2.15	4.64	3.67	1.86	0	5.31	349.28
2024-01-26	2.34	4.7	3.69	1.94	0	5.83	353.55
2024-01-27	2.39	4.75	3.67	1.83	0	5.44	361.56
2024-01-28	2.27	4.67	3.63	1.85	0	5.25	352.83
2024-01-29	2.42	4.64	3.76	2.05	0	5.31	327.72
2024-01-30	2.15	4.74	3.52	1.87	0	5.31	352.99
2024-01-31	5.24	4.8	3.59	1.82	0	5.55	336.26
2024-02-01	2.58	4.75	3.88	2.42	0	6.35	457.45
2024-02-02	2.63	4.7	3.75	2.47	0	5.56	432.53
2024-02-03	2.79	4.94	3.67	2.58	0	5.59	440.21
2024-02-04	2.81	5.33	3.83	2.38	0	5.61	452.45
2024-02-05	2.91	4.86	3.62	2.39	0	6.33	453.76
2024-02-06	2.87	4.93	3.44	2.29	0	5.47	457.09
2024-02-07	2.83	4.9	3.65	2.59	0	6.28	440.53
2024-02-08	2.91	5.1	3.79	2.43	0	6.44	467.91
2024-02-09	2.59	5.12	3.65	2.48	0	5.19	456.97
2024-02-10	3.04	5.09	3.77	2.43	0	5.72	448.07
2024-02-11	2.8	4.97	3.55	2.34	0	6.52	481.89
2024-02-12	2.88	5.14	3.75	2.29	0	5.93	437.03
2024-02-13	2.76	5.18	3.62	2.68	0	6.31	471.14
2024-02-14	2.73	4.88	4.08	2.4	0	5.79	434.26
2024-02-15	2.67	5.68	3.75	2.36	0	6.05	447.59
2024-02-16	2.85	5.19	3.7	2.38	0	5.63	463.82
2024-02-17	2.81	4.9	3.59	2.32	0	5.72	451.73
2024-02-18	2.9	4.96	3.99	2.38	0	6.24	442.16
2024-02-19	2.74	4.85	3.89	2.28	0	5.89	417.56
2024-02-20	2.86	5.1	3.51	2.43	0	6.09	430.41
2024-02-21	2.77	4.85	3.71	2.32	0	5.74	452.52
2024-02-22	2.64	4.98	3.6	2.47	0	6.31	430.15
2024-02-23	2.83	4.92	3.91	2.53	0	5.89	504.56
2024-02-24	2.47	5.15	4.01	2.2	0	6.28	473.06
2024-02-25	2.87	5.27	3.54	2.4	0	5.78	459.38
2024-02-26	2.86	5.47	3.8	2.42	0	6.1	479.48
2024-02-27	2.82	5.06	3.59	2.52	0	6.04	448.34
2024-02-28	2.77	5.05	3.78	2.47	0	5.83	466.05
2024-02-29	2.54	4.9	3.65	2.15	0	5.85	470.44

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-03-01	2.58	4.75	3.88	2.42	0	6.35	457.45
2024-03-02	2.63	4.7	3.75	2.47	0	5.56	432.53
2024-03-03	2.79	4.94	3.67	2.58	0	5.59	440.21
2024-03-04	2.81	5.33	3.83	2.38	0	5.61	452.45
2024-03-05	2.91	4.86	3.62	2.39	0	6.33	453.76
2024-03-06	2.87	4.93	3.44	2.29	0	5.47	457.09
2024-03-07	2.83	4.9	3.65	2.59	0	6.28	440.53
2024-03-08	2.91	5.1	3.79	2.43	0	6.44	467.91
2024-03-09	2.59	5.12	3.65	2.48	0	5.19	456.97
2024-03-10	3.04	5.09	3.77	2.43	0	5.72	448.07
2024-03-11	2.8	4.97	3.55	2.34	0	6.52	481.89
2024-03-12	2.88	5.14	3.75	2.29	0	5.93	437.03
2024-03-13	2.76	5.18	3.62	2.68	0	6.31	471.14
2024-03-14	2.73	4.88	4.08	2.4	0	5.79	434.26
2024-03-15	2.67	5.68	3.75	2.36	0	6.05	447.59
2024-03-16	2.85	5.19	3.7	2.38	0	5.63	463.82
2024-03-17	2.81	4.9	3.59	2.32	0	5.72	451.73
2024-03-18	2.9	4.96	3.99	2.38	0	6.24	442.16
2024-03-19	2.74	4.85	3.89	2.28	0	5.89	417.56
2024-03-20	2.86	5.1	3.51	2.43	0	6.09	430.41
2024-03-21	2.77	4.85	3.71	2.32	0	5.74	452.52
2024-03-22	2.64	4.98	3.6	2.47	0	6.31	430.15
2024-03-23	2.83	4.92	3.91	2.53	0	5.89	504.56
2024-03-24	2.47	5.15	4.01	2.2	0	6.28	473.06
2024-03-25	2.87	5.27	3.54	2.4	0	5.78	459.38
2024-03-26	2.86	5.47	3.8	2.42	0	6.1	479.48
2024-03-27	2.82	5.06	3.59	2.52	0	6.04	448.34
2024-03-28	2.77	5.05	3.78	2.47	0	5.83	466.05
2024-03-29	2.54	4.9	3.65	2.15	0	5.85	470.44
2024-03-30	2.58	5.33	3.88	2.42	0	6.35	457.45
2024-03-31	2.63	5.33	3.51	2.42	0	6.35	457.45
2024-04-01	3.63	5.23	4.63	2.21	0	7.74	403.1
2024-04-02	3.5	5.41	4.93	2.19	0	8.11	404.37
2024-04-03	3.55	5.77	4.88	2.12	0	8.38	396.81
2024-04-04	3.57	5.54	4.79	2.03	0	8.18	416.39
2024-04-05	3.43	5.78	4.81	2.24	0	8.27	407.72
2024-04-06	3.54	5.68	5.27	2.12	0	8.34	428
2024-04-07	3.33	5.3	5.08	2.19	0	7.73	394.77
2024-04-08	3.63	5.84	4.65	2.29	0	8.32	441.2
2024-04-09	3.32	5.63	4.83	2.32	0	8.34	395.84
2024-04-10	3.51	5.4	4.99	2.31	0	8.66	408.52
2024-04-11	3.7	5.58	4.98	2.28	0	8.22	391.84
2024-04-12	3.5	5.57	4.76	2.35	0	8.45	397.15

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-04-13	3.53	5.18	4.49	2.16	0	8.18	429.71
2024-04-14	3.41	5.48	4.7	2.22	0	7.62	405.77
2024-04-15	3.78	5.67	4.61	2.26	0	7.6	408.57
2024-04-16	3.38	5.64	4.51	2.11	0	7.53	434.4
2024-04-17	3.81	5.62	4.5	2.17	0	7.61	422.21
2024-04-18	3.7	5.99	5.07	2.05	0	7.79	430.88
2024-04-19	3.49	5.61	4.85	2.02	0	7.98	413.29
2024-04-20	3.51	5.63	4.94	2.3	0	8.47	392.34
2024-04-21	3.83	5.25	4.89	2.04	0	8.29	422.82
2024-04-22	3.57	5.74	4.77	2.09	0	8.42	402.02
2024-04-23	3.77	5.4	5.13	1.99	0	8.03	376.51
2024-04-24	3.64	5.33	4.99	2.05	0	7.78	392.09
2024-04-25	3.71	5.25	4.81	2.25	0	8.15	397.73
2024-04-26	3.56	5.49	4.56	1.89	0	8.14	415.44
2024-04-27	3.68	5.53	4.82	2.05	0	7.66	404.46
2024-04-28	3.55	5.74	4.76	2.36	0	7.78	411.95
2024-04-29	3.54	5.48	5.02	2.19	0	8.02	414.24
2024-04-30	3.57	5.56	4.73	1.94	0	7.95	434.31
2024-05-01	2.93	5.98	4.95	1.97	0	8.11	544.59
2024-05-02	3.07	5.89	4.85	1.91	0	7.84	467.69
2024-05-03	3.15	5.67	4.89	1.78	0	8.53	485.76
2024-05-04	3.26	6.07	4.63	1.91	0	8.17	467.86
2024-05-05	3.02	5.91	4.93	1.81	0	8.89	448.42
2024-05-06	3.08	5.62	5.03	1.83	0	7.88	495.88
2024-05-07	2.71	5.66	4.89	1.71	0	8.1	441.64
2024-05-08	3.11	5.48	4.93	1.81	0	7.6	464.03
2024-05-09	3.05	5.39	5.31	1.74	0	8.45	461.2
2024-05-10	2.91	5.77	5.17	2.04	0	7.91	487.01
2024-05-11	3.11	5.73	5.36	1.87	0	8.1	486.15
2024-05-12	2.95	5.84	4.73	1.94	0	8.3	452.6
2024-05-13	3	5.95	5.2	1.86	0	8.07	452.35
2024-05-14	2.99	5.44	5.12	1.94	0	8.24	458.53
2024-05-15	3	5.74	4.86	2	0	8.58	489.24
2024-05-16	3.09	5.54	5.44	1.92	0	8.16	477.94
2024-05-17	3.24	5.63	5.29	1.81	0	8.32	492.69
2024-05-18	3.1	5.79	4.9	1.96	0	8.6	505.21
2024-05-19	2.95	5.8	4.7	2.02	0	8.05	483.49
2024-05-20	3.03	5.9	5.29	2.02	0	7.92	450.76
2024-05-21	3.13	5.86	5.06	1.82	0	7.75	481.58
2024-05-22	3.07	5.6	5	1.83	0	8.86	456.23
2024-05-23	3.02	5.8	5.18	1.99	0	8.3	476.55
2024-05-24	3.17	6.12	4.77	1.83	0	7.65	464.54
2024-05-25	3.1	5.62	4.9	1.75	0	8.37	505.28

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-05-26	3.15	5.42	5.24	2.02	0	8.24	490.73
2024-05-27	3.06	5.56	5.32	1.93	0	8.16	462.5
2024-05-28	2.98	6.14	4.58	2.07	0	7.92	465.07
2024-05-29	3.12	5.78	5.28	1.95	0	7.8	469.81
2024-05-30	2.86	5.56	5.19	1.69	0	8.23	498.22
2024-05-31	3.11	5.94	4.97	1.86	0	7.73	495.6
2024-06-01	2.7	5.13	4.12	2.48	0	6.52	450.77
2024-06-02	2.7	5.36	3.97	2.41	0	6.75	397.06
2024-06-03	2.86	5.19	4.07	2.74	0	6.73	421.82
2024-06-04	2.69	5.07	3.87	2.45	0	6.46	422.66
2024-06-05	2.93	5.3	4.32	2.64	0	6.98	424.26
2024-06-06	2.65	5.15	4.18	2.57	0	6.57	433.17
2024-06-07	2.64	5.49	3.99	2.53	0	6.47	430.66
2024-06-08	3.02	5.1	4	2.64	0	6.24	439.88
2024-06-09	2.9	5.22	4.02	2.47	0	7.03	441.67
2024-06-10	2.71	4.89	4.09	2.43	0	6.5	447.16
2024-06-11	2.65	5.02	4.18	2.37	0	6.86	411.05
2024-06-12	2.86	5.44	3.95	2.46	0	6.98	389.47
2024-06-13	2.9	5.4	4.3	2.53	0	6.83	431.07
2024-06-14	2.73	5.25	4.22	2.32	0	6.14	437.08
2024-06-15	2.63	5.74	4.14	2.46	0	6.51	448.57
2024-06-16	2.8	5.1	4.1	2.65	0	6.47	401.48
2024-06-17	2.91	5.26	4.43	2.51	0	5.93	411.05
2024-06-18	2.91	5.24	4.05	2.55	0	6.46	419.28
2024-06-19	2.77	5.05	3.95	2.31	0	6.49	407.35
2024-06-20	2.86	5.07	4.05	2.45	0	6.5	420.41
2024-06-21	2.84	5.53	4.33	2.42	0	6.39	438.11
2024-06-22	2.95	5.3	3.98	2.44	0	6.51	439.36
2024-06-23	2.95	5.55	4.1	2.47	0	6.72	442.17
2024-06-24	2.73	4.98	4.11	2.5	0	6.59	456.29
2024-06-25	2.82	5.16	4.02	2.38	0	6.13	414.31
2024-06-26	2.99	5.54	4.17	2.51	0	6.23	429.76
2024-06-27	3.11	5.55	3.99	2.75	0	6.18	419.12
2024-06-28	3	5.74	4.29	2.8	0	6.62	398.95
2024-06-29	2.69	5.42	4.06	2.33	0	6.46	428.06
2024-06-30	2.68	5.44	4.34	2.44	0	6.62	410.63
2024-07-01	2.63	5.03	3.55	2.28	0	6.16	370.23
2024-07-02	2.52	5.39	3.69	2.52	0	6.28	385.34
2024-07-03	2.68	5.28	3.92	2.4	0	6.95	353.34
2024-07-04	2.6	4.84	3.55	2.45	0	6.02	379.67
2024-07-05	2.61	5.03	3.5	2.24	0	5.76	376.49
2024-07-06	2.85	5.17	3.6	2.29	0	6.22	369.44
2024-07-07	2.63	5.29	4.04	2.23	0	6.64	336.21

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-07-08	2.61	5.2	3.81	2.4	0	6.24	379.27
2024-07-09	2.51	5.16	3.8	2.21	0	5.68	347.63
2024-07-10	2.85	5.45	3.83	2.25	0	6.55	358.35
2024-07-11	2.68	5.08	3.93	2.34	0	6.08	371.64
2024-07-12	2.66	5	3.92	2.51	0	6.02	358.05
2024-07-13	2.66	4.81	3.67	2.21	0	5.96	357.82
2024-07-14	2.94	4.83	3.63	2.26	0	6.22	372.97
2024-07-15	2.63	4.82	3.83	2.32	0	6.16	356.03
2024-07-16	2.52	5.15	3.84	2.25	0	6.07	374.7
2024-07-17	2.75	5.38	3.81	2.2	0	6.01	360.73
2024-07-18	2.68	5.32	3.7	2.09	0	5.77	364.28
2024-07-19	2.71	5.44	3.71	2.4	0	6.12	355.71
2024-07-20	2.43	5.14	3.93	2.35	0	6.16	340.9
2024-07-21	2.64	5.29	3.42	2.49	0	6.06	353.33
2024-07-22	2.41	5.22	3.87	2.4	0	6.4	370.78
2024-07-23	2.63	5.38	3.66	2.36	0	5.97	354.42
2024-07-24	2.56	5.4	3.84	2.25	0	6.05	369.48
2024-07-25	2.74	4.79	3.79	2.2	0	5.91	376.68
2024-07-26	2.62	5.18	3.69	2.39	0	6.31	359.93
2024-07-27	2.66	5.18	3.57	2.23	0	6.53	365.9
2024-07-28	2.8	5.37	3.71	2.16	0	5.95	334.42
2024-07-29	2.59	5.13	3.74	2.4	0	6.01	367.59
2024-07-30	2.58	5.12	3.73	2.31	0	6.24	348.04
2024-07-31	2.78	5.2	3.67	2.27	0	5.99	365.96
2024-08-01	2.6	5.1	3.59	2.13	0	5.92	350.13
2024-08-02	2.48	5.04	3.44	2.22	0	5.33	384.7
2024-08-03	2.38	5.11	3.4	2.28	0	5.42	346.67
2024-08-04	2.45	5.05	3.43	2.5	0	5.63	364.83
2024-08-05	2.47	5.65	3.84	2.27	0	5.8	379
2024-08-06	2.46	4.61	3.57	2.23	0	5.74	339.84
2024-08-07	2.41	5.41	3.75	2.18	0	5.37	362.33
2024-08-08	2.51	5.26	3.73	2.24	0	5.85	369.02
2024-08-09	2.55	4.95	3.4	2.27	0	5.43	346.03
2024-08-10	2.51	4.97	3.51	1.95	0	5.61	362.96
2024-08-11	2.55	5.24	3.51	2.16	0	5.55	355.73
2024-08-12	2.52	4.7	3.56	2.29	0	5.41	360.09
2024-08-13	2.64	5.17	3.29	2.36	0	5.36	377.01
2024-08-14	2.49	4.88	3.54	2.01	0	5.39	333.95
2024-08-15	2.57	5.15	3.33	2.06	0	5.66	346.22
2024-08-16	2.47	4.79	3.45	2.09	0	5.47	331.59
2024-08-17	2.53	5.47	3.61	2.25	0	6.3	371.57
2024-08-18	2.7	5.2	3.66	2.12	0	5.35	365.82
2024-08-19	2.5	4.92	3.41	2.02	0	5.51	367.33

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-08-20	2.6	5.01	3.36	2.14	0	5.44	386.94
2024-08-21	2.48	5.58	3.62	2.07	0	5.18	350.7
2024-08-22	2.54	5.17	3.63	2.08	0	5.56	334.36
2024-08-23	2.52	5.18	3.75	2	0	5.58	381.69
2024-08-24	2.53	4.72	3.37	2.19	0	5.4	359.9
2024-08-25	2.54	5.03	3.65	2.13	0	5.67	361.54
2024-08-26	2.53	5.61	3.69	2.19	0	5.8	364.69
2024-08-27	2.44	5.03	3.62	2.21	0	5.54	360.63
2024-08-28	2.47	5.11	3.47	2.32	0	5.45	377.09
2024-08-29	2.48	4.92	3.33	2.15	0	5.07	340.42
2024-08-30	2.56	5.03	3.55	2.24	0	5.08	346.9
2024-08-31	2.54	4.79	3.59	2.06	0	5.57	339.95
2024-09-01	2.52	4.87	3.4	1.9	0	5.13	364.15
2024-09-02	2.55	5.09	3.21	1.88	0	5.16	341.12
2024-09-03	2.2	5.02	3.14	1.67	0	5.31	365.71
2024-09-04	2.53	4.92	3.32	1.91	0	4.75	354.97
2024-09-05	2.29	4.88	3.41	1.69	0	4.87	381.64
2024-09-06	2.24	5.2	3.3	1.94	0	5.18	342.6
2024-09-07	2.32	4.83	3.4	1.64	0	4.58	326.03
2024-09-08	2.35	4.76	3.36	1.8	0	4.97	339.71
2024-09-09	2.38	4.45	3.24	1.94	0	5.14	348.55
2024-09-10	2.29	4.93	3.12	2.09	0	5.16	309.12
2024-09-11	2.24	4.66	3.37	1.94	0	5.84	357.41
2024-09-12	2.48	5.16	3.07	1.88	0	5.25	343.96
2024-09-13	2.57	4.79	3.16	1.89	0	5.01	364.63
2024-09-14	2.37	4.82	3.25	1.95	0	4.9	346.9
2024-09-15	2.24	4.82	3.06	1.9	0	5.25	339.68
2024-09-16	2.36	4.72	3.46	1.89	0	4.84	358.88
2024-09-17	2.26	4.9	3.35	1.84	0	5.33	345.74
2024-09-18	2.32	4.96	3.4	1.76	0	5.34	337.6
2024-09-19	2.54	5.12	3.41	1.79	0	4.83	322.1
2024-09-20	2.35	5.1	3.21	1.81	0	5.12	347.67
2024-09-21	2.28	5.25	3.24	1.92	0	5.23	327.08
2024-09-22	2.32	4.97	3.21	1.88	0	5.24	338.81
2024-09-23	2.35	4.69	3.14	1.89	0	5.48	372.11
2024-09-24	2.25	4.74	3.06	1.76	0	5.16	328.96
2024-09-25	2.47	4.8	3.27	1.88	0	4.92	346.3
2024-09-26	2.36	4.95	3.39	1.86	0	5.41	356.4
2024-09-27	2.4	4.96	3.51	1.8	0	4.98	341.01
2024-09-28	2.29	5.12	3.37	1.83	0	5.01	351.1
2024-09-29	2.28	4.87	3.06	1.76	0	5.04	339.92
2024-09-30	2.04	4.9	3.14	1.81	0	5.01	339.07
2024-10-01	2.63	5.54	3.27	5.46	0.77	5.23	600.45

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-10-02	2.6	5.76	3.41	4.94	0.73	5.15	579.88
2024-10-03	2.5	5.57	3.44	5.3	0.75	5.22	654.92
2024-10-04	2.57	6.08	3.37	5.46	0.73	5.17	617.78
2024-10-05	2.38	5.52	3.62	5.26	0.78	4.88	583.1
2024-10-06	2.47	5.56	3.83	5.41	0.71	5.07	592.09
2024-10-07	2.45	6.08	3.58	4.88	0.8	5.1	573.71
2024-10-08	2.46	5.78	3.7	5.56	0.73	4.88	590.25
2024-10-09	2.51	5.84	3.43	5.14	0.79	5.17	621.99
2024-10-10	2.73	5.48	3.4	5.23	0.8	5.15	584.91
2024-10-11	2.66	5.27	3.47	5.62	0.74	4.96	589.09
2024-10-12	2.67	5.7	3.4	5.7	0.77	5.1	607.18
2024-10-13	2.51	5.45	3.41	5.26	0.75	5.03	608.52
2024-10-14	2.45	5.74	3.49	4.93	0.77	5.02	580.44
2024-10-15	2.61	5.39	3.56	5.56	0.75	4.66	592.16
2024-10-16	2.81	5.58	3.43	5.1	0.78	5.04	584.04
2024-10-17	2.51	5.54	3.52	5.37	0.75	5.11	567.25
2024-10-18	2.64	6	3.4	5.22	0.73	5.45	585.41
2024-10-19	2.53	5.59	3.55	5.73	0.8	5	569.74
2024-10-20	2.58	5.58	3.45	5	0.75	4.92	608.44
2024-10-21	2.52	5.81	3.39	5.33	0.76	5.38	594.52
2024-10-22	2.75	5.65	3.52	4.68	0.74	5.04	597.05
2024-10-23	2.49	6.16	3.57	5.61	0.78	4.64	621.66
2024-10-24	2.66	5.53	3.28	4.87	0.85	5.21	593.12
2024-10-25	2.81	5.48	3.28	5.35	0.73	5.21	582.69
2024-10-26	2.79	5.78	3.59	4.8	0.78	4.73	583.29
2024-10-27	2.44	5.77	3.64	5.24	0.77	5.09	669.49
2024-10-28	2.5	5.51	3.44	5.97	0.72	4.82	610.17
2024-10-29	2.56	5.6	3.35	5.73	0.76	5.32	628.07
2024-10-30	2.48	5.19	3.52	5.31	0.77	4.8	618.35
2024-10-31	2.73	5.48	3.58	5.6	0.75	5.24	614.29
2024-11-01	3.89	5.62	4.27	2.63	0.28	6.29	638.03
2024-11-02	3.93	6.19	4.29	2.25	0.29	6.33	656.9
2024-11-03	3.88	6.16	4.61	2.45	0.25	6.43	597.52
2024-11-04	3.81	5.57	4.55	2.29	0.29	6.61	701.58
2024-11-05	3.94	5.71	4.34	2.4	0.28	6.29	674.46
2024-11-06	4.2	5.94	4.47	2.43	0.3	6.65	647.92
2024-11-07	3.8	6.15	4.23	2.46	0.25	6.11	728.45
2024-11-08	3.45	6.09	4.46	2.6	0.27	6.83	617.3
2024-11-09	3.76	5.66	4.25	2.47	0.27	6.71	703.96
2024-11-10	3.99	5.92	4.59	2.48	0.29	5.91	680.89
2024-11-11	3.67	6.05	4.47	2.48	0.26	6.05	646.84
2024-11-12	3.88	5.8	4.31	2.49	0.3	6.31	683.33
2024-11-13	3.51	5.81	4.41	2.45	0.28	6.45	635.35

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-11-14	3.8	5.65	4.42	2.57	0.25	6.6	708.41
2024-11-15	3.47	6.37	4.57	2.46	0.28	6.39	679.24
2024-11-16	3.93	5.75	4.29	2.43	0.28	6.56	645.71
2024-11-17	3.81	5.97	4.4	2.38	0.29	6.21	643.01
2024-11-18	3.69	6.47	4.57	2.44	0.3	6.22	670.14
2024-11-19	3.8	5.7	4.33	2.6	0.29	6.64	649.69
2024-11-20	3.58	5.9	4.6	2.45	0.28	6.54	618.12
2024-11-21	3.86	5.78	4.4	2.45	0.28	6.62	648.24
2024-11-22	3.89	6.29	4.67	2.7	0.28	6.39	683.45
2024-11-23	3.77	5.76	3.91	2.59	0.3	6.5	635.66
2024-11-24	3.68	5.79	4.55	2.62	0.28	6.67	719.49
2024-11-25	3.61	5.96	4.17	2.26	0.27	6.36	632.46
2024-11-26	3.46	5.92	4.48	2.44	0.26	6.48	690.31
2024-11-27	3.73	5.84	4.15	2.35	0.3	6.54	704.74
2024-11-28	3.78	6.03	4.28	2.5	0.26	6.56	640.25
2024-11-29	3.86	5.7	4.27	2.28	0.27	6.14	708.51
2024-11-30	3.69	5.78	4.22	2.31	0.28	6.72	658.76
2024-12-01	3.01	5.22	3.64	1.86	0	5.11	240.66
2024-12-02	3.12	4.94	3.45	1.9	0	5.29	246.39
2024-12-03	2.77	4.97	3.49	1.78	0	5.21	241.92
2024-12-04	3.1	5.53	3.36	1.97	0	4.96	205.36
2024-12-05	2.79	5.06	3.57	2.08	0	5.19	245.89
2024-12-06	2.89	5.42	3.53	2.07	0	5.56	246.63
2024-12-07	2.79	4.91	3.46	1.95	0	5.01	261.88
2024-12-08	3.14	5.22	3.69	1.91	0	5.57	248.81
2024-12-09	3.02	5.24	3.98	2.04	0	5.03	255.59
2024-12-10	2.79	5.18	3.46	2.03	0	5.12	250.17
2024-12-11	2.83	5.04	3.61	1.89	0	5.4	247.98
2024-12-12	2.93	5.22	3.55	2.02	0	5.09	227.34
2024-12-13	2.81	5.28	3.62	1.97	0	5.41	238.71
2024-12-14	3.1	4.85	3.86	1.96	0	5.14	267.91
2024-12-15	2.93	5.14	3.36	1.92	0	5.17	234.53
2024-12-16	3.03	5.06	3.45	1.98	0	5.18	240.05
2024-12-17	2.98	5.3	3.65	1.92	0	5.37	250.73
2024-12-18	2.91	5.37	3.57	2.15	0	5.59	248.43
2024-12-19	2.83	4.93	3.4	2.18	0	5.29	247.34
2024-12-20	2.96	5.13	3.91	1.89	0	4.96	226.58
2024-12-21	3.01	5.2	3.06	2.02	0	5.08	233.62
2024-12-22	2.92	5.34	3.73	2.04	0	5.59	251.94
2024-12-23	3.07	5.37	3.42	1.92	0	5.26	249.65
2024-12-24	3.05	5.1	3.66	2.12	0	5.05	255.19
2024-12-25	3.04	5.59	3.82	1.92	0	5.36	238.9
2024-12-26	2.76	5.55	3.53	2.14	0	5.84	234.2

Día	SO2	NO2	H2S	O3	NH)	Cl2	CO
2024-12-27	3.19	4.88	3.5	1.96	0	5.29	247.55
2024-12-28	2.85	5.43	3.86	2.03	0	4.88	242.41
2024-12-29	2.99	5.19	3.82	2.05	0	5.33	242.08
2024-12-30	2.88	5.53	3.83	2.11	0	5.06	256.86
2024-12-31	3.01	4.9	3.62	1.9	0	5.06	242.39

Nota: Aermol ISC. 8.0

4.3. Grado de correlación entre la distribución atmosférica temporal y la concentración de sustancias odoríferas

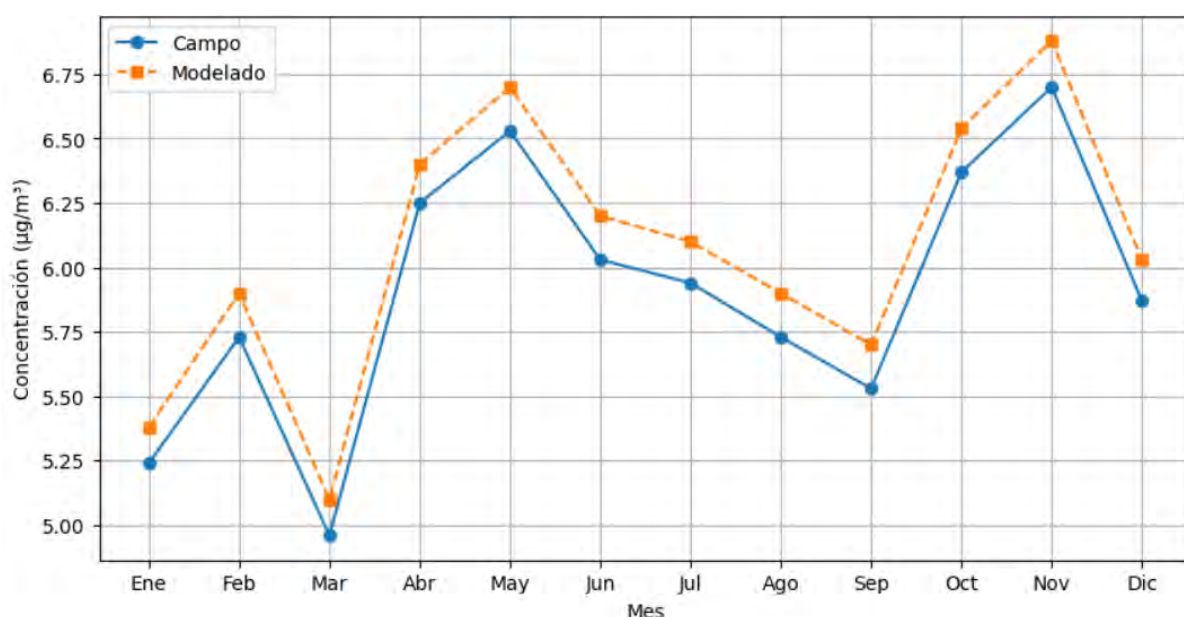
4.3.1 Grado de correlación de Dióxido de azufre (SO₂)

Tabla 17: Dióxido de azufre (SO₂) – Comparación mensual

Mes	SO ₂ (concentración)	SO ₂ (distribución atmosférica temporal)
Ene	5.24	5.38
Feb	5.73	5.90
Mar	4.96	5.10
Abr	6.25	6.40
May	6.53	6.70
Jun	6.03	6.20
Jul	5.94	6.10
Ago	5.73	5.90
Sep	5.53	5.70
Oct	6.37	6.54
Nov	6.70	6.88
Dic	5.87	6.03

Nota: *Elaboración propia*

Figura 315: Gráfica de series de tiempo de SO₂ -SO₂_1



Nota: Elaboración propia

La Figura presenta la comparación entre las concentraciones mensuales de dióxido de azufre (SO₂) medidas en campo y las modeladas mediante AERMOD 8.9.0, mostrando una tendencia muy similar a lo largo del año. Por ejemplo, en el mes de mayo se observa una concentración máxima en ambas series, con 6.53 µg/m³ en campo y 6.7 µg/m³ en el modelado, mientras que en marzo se registran los valores más bajos, con 4.96 µg/m³ en campo y 5.1 µg/m³ modelado. Las curvas siguen un mismo patrón estacional, reflejando la capacidad del modelo para replicar adecuadamente las condiciones reales.

$$p = 1 - \frac{6\sum d_i}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

ρ : Coeficiente de correlación de Spearman

d_i : Diferencia entre los rangos de cada par de observaciones

n : Numero total de pares de datos

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot 2}{12(12^2 - 1)} = 1 - \frac{12}{1716} = 1 - 0.00699 = \mathbf{0.993}$$

Tabla 18: Correlación de spearman entre SO₂ (Campo) y SO₂_1 (Modelado)

Parámetro	Valor
Coefficiente de Spearman (ρ)	0,993
N (Tamaño de muestra)	12
Valor-p	0,0000

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 19, se presenta el resultado del análisis de correlación de Spearman entre las concentraciones de SO₂ obtenidas en campo y las estimadas mediante modelado. El coeficiente obtenido fue $\rho = 0,993$, lo que indica una correlación monótona positiva muy fuerte entre ambos conjuntos de datos. El valor-p de 0,0000, menor al umbral de significancia de 0,05, confirma que esta asociación es estadísticamente significativa. Este resultado respalda la alta coherencia y precisión del modelo de dispersión atmosférica para representar adecuadamente los niveles de dióxido de azufre en el terreno.

Tabla 19: Estadísticos descriptivos de concentración de SO₂ – Modelamiento vs. Medición en campo (2024)

Estadístico	SO ₂ (Campo)	SO ₂ _1 (Modelado)
Recuento (n)	12	12
Promedio (µg/m ³)	5,90667	6,06917
Desviación estándar	0,514611	0,523441
Coefficiente de variación	8,71 %	8,62 %
Mínimo	4,96	5,10
Máximo	6,70	6,88
Rango	1,74	1,78
Sesgo estandarizado	-0,36887	-0,39879
Curtosis estandarizada	-0,26225	-0,20995

Nota: Elaboración propia

Tabla 20: Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para la concentración de SO₂ – Campo vs. Modelado (2024)

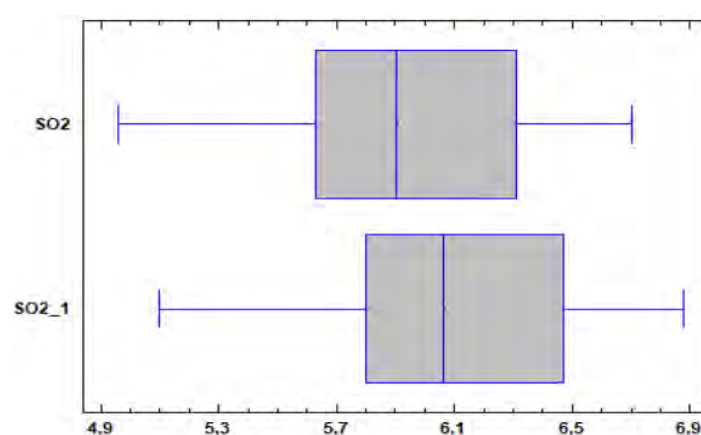
Variable	Media (µg/m ³)	Intervalo de confianza (95 %)
SO ₂ (Campo)	5,90667	[5,5797 ; 6,23364]
SO ₂ _1 (Modelado)	6,06917	[5,73659 ; 6,40175]
Diferencia de medias	-0,1625	± 0,4395 → [-0,60195; 0,27695]

Hipótesis	Estadístico t	Valor-p	Conclusión
H ₀ : media ₁ = media ₂	-0,7669	0,4513	No se rechaza H ₀ (α = 0,05)
H ₁ : media ₁ ≠ media ₂			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Figura316

Gráfico de Caja y Bigotes para la concentración de SO₂ – Campo vs. Modelado (2024).



Nota: Elaboración propia

La Tabla 21 y figura 316 presenta el análisis comparativo de las medias de concentración de SO₂ obtenidas mediante medición en campo y modelamiento, junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95 %. Aunque el valor promedio modelado (6,069 µg/m³) es ligeramente superior al medido (5,907 µg/m³), la diferencia de medias (-0,1625 µg/m³) se encuentra dentro de un intervalo de confianza que incluye el cero (±0,4395), lo que indica que

dicha diferencia no es estadísticamente significativa. Esto se refuerza con la prueba t, donde el estadístico $t = -0,7669$ y un valor- $p = 0,4513$ llevan a no rechazar la hipótesis nula (H_0) de igualdad de medias. En consecuencia, se concluye que no existe una diferencia significativa entre los valores medidos y los modelados. La Figura 45, mediante un gráfico de caja y bigotes, visualiza la distribución de ambos conjuntos de datos, los cuales presentan rangos y medianas similares, confirmando gráficamente la cercanía entre ambas fuentes. Estos resultados respaldan la confiabilidad del modelo como herramienta para representar la realidad observada en campo.

Tabla 21: *Promedios horarios de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 2024*

Hora	concentración	distribución atmosférica temporal
06:00	0.00	0.00
12:00	5.38	5.55
18:00	2.35	2.45

Nota: *Elaboración propia*

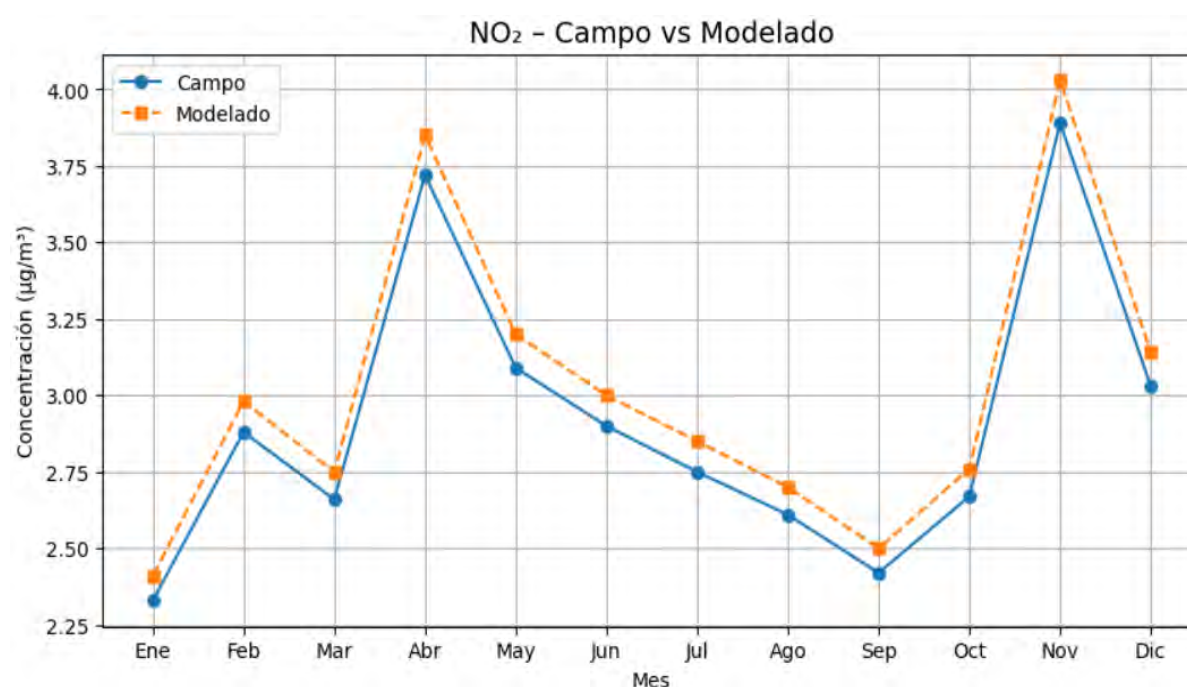
4.3.2 Grado de correlación de Dióxido de nitrógeno (NO_2)

Tabla 22: *Dióxido de nitrógeno (NO_2) – Comparación mensual*

Mes	NO_2 (concentración)	NO_2 (distribución atmosférica temporal)
Ene	2.33	2.41
Feb	2.88	2.98
Mar	2.66	2.75
Abr	3.72	3.85
May	3.09	3.2
Jun	2.90	3
Jul	2.75	2.85
Ago	2.61	2.7
Sep	2.42	2.5
Oct	2.67	2.76
Nov	3.89	4.03
Dic	3.03	3.14

Nota: *Elaboración propia*

Figura 317: Gráfica de series de tiempo de NO₂



Nota: Elaboración propia

La Figura 317 muestra la comparación mensual entre las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) obtenidas mediante mediciones en campo y las simuladas con el modelo AERMOD 8.9.0 (NO_{2_1}). Al igual que con el SO₂, ambas series presentan una evolución temporal muy similar, destacándose un pico en abril, donde se registra el valor máximo del año con 3.72 µg/m³ en campo y 3.85 µg/m³ en el modelado. Por otro lado, los valores más bajos se observan en septiembre, con 2.42 µg/m³ (campo) y 2.5 µg/m³ (modelado). Esta similitud en la dinámica mensual evidencia un comportamiento estacional consistente, posiblemente influido por factores meteorológicos o variaciones en la emisión de fuentes móviles o industriales.

Tabla 23: Correlación de Spearman entre NO₂ (Campo) y NO_{2_1} (Modelado)

Parámetro	Valor
Coeficiente de Spearman (ρ)	0,979
N (Tamaño de muestra)	12
Valor-p	0,0000

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 29, se muestra el análisis de correlación de Spearman entre los valores de NO₂ medidos en campo y los estimados por el modelo. Se obtuvo un coeficiente de $\rho = 0,979$, indicando una correlación monótona positiva muy fuerte entre ambas variables. El valor-p de 0,0000, al ser menor a 0,05, confirma que esta relación es estadísticamente significativa. Este resultado respalda la alta capacidad del modelo para representar de forma coherente y precisa la distribución mensual del NO₂ observada en el terreno.

Tabla 24: Estadísticos descriptivos de concentración de NO₂

Estadístico	NO ₂ (Campo)	NO ₂ _1 (Modelado)
Recuento (n)	12	12
Promedio (µg/m ³)	2,9125	3,0142
Desviación estándar	0,4745	0,4928
Coefficiente de variación	16,29 %	16,35 %
Mínimo	2,33	2,41
Máximo	3,89	4,03
Rango	1,56	1,62
Sesgo estandarizado	1,5718	1,5645
Curtosis estandarizada	0,5114	0,5044

Nota: Elaboración propia

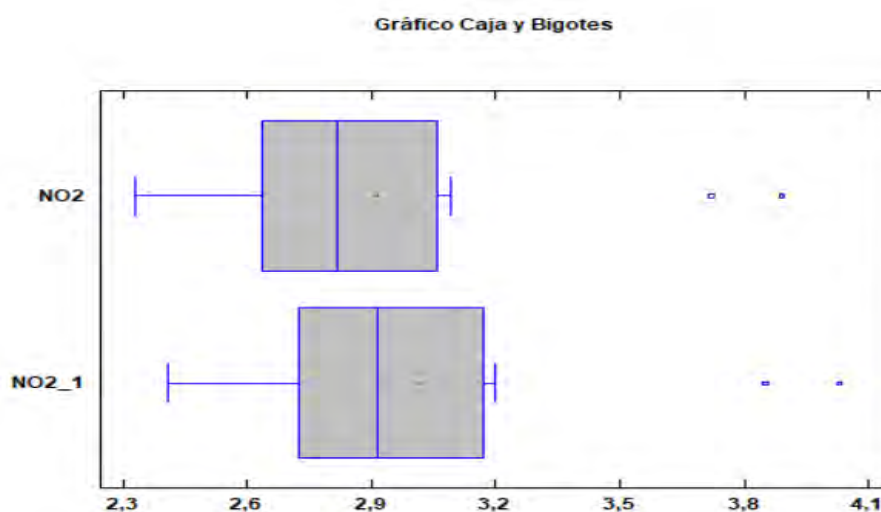
Tabla 25: Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para NO₂

Variable	Media (µg/m ³)	IC 95 % para la media
NO ₂ (Campo)	2,9125	[2,6110; 3,2140]
NO ₂ _1 (Modelado)	3,0142	[2,7010 ; 3,3273]
Diferencia de medias	-0,1017	± 0,4096 → [-0,5112 ; 0,3079]

Hipótesis	Estadístico t	Valor-p	Conclusión
H ₀ : media ₁ = media ₂	-0,5148	0,6118	No se rechaza H ₀ ($\alpha = 0,05$)
H ₁ : media ₁ ≠ media ₂			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Figura 318: Gráfico de caja y bigotes para la concentración de NO₂



Nota: Elaboración propia

La Tabla 31 y figura 341 muestra la comparación de medias de la concentración de NO₂ entre los datos medidos en campo y los generados por modelamiento, evidenciando medias cercanas (2,9125 y 3,0142 µg/m³ respectivamente) y un intervalo de confianza para la diferencia de medias que incluye el valor cero ($-0,1017 \pm 0,4096$). Esto se confirma estadísticamente con un valor-p de 0,6118, por lo cual no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyendo que no hay diferencia significativa entre ambas distribuciones. La Figura 66 complementa este análisis al representar las cajas de dispersión para cada grupo, mostrando rangos intercuartílicos y medianas similares, sin asimetrías notorias ni presencia de valores atípicos que comprometan la representatividad de los datos. Esta concordancia entre medición y modelamiento respalda la validez del modelo AERMOD aplicado para estimar concentraciones de NO₂ en el entorno de la PTAR San Jerónimo durante el 2024.

Tabla 26: Comparación de desviaciones estándar para NO₂

Variable	Desv. estándar	Varianza	IC 95 % Desv. estándar
NO ₂ (Campo)	0,4745	0,2251	[0,3361 ; 0,8056]
NO ₂ _1 (Modelado)	0,4928	0,2429	[0,3491 ; 0,8368]
Razón de varianzas (F) = 0,9269			IC 95 % para F: [0,2668 ; 3,2198]

Variable	Desv. estándar	Varianza	IC 95 % Desv. estándar
Hipótesis	F calculado	Valor-p	Conclusión
H ₀ : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	0,9269	0,9021	No se rechaza H ₀
H ₁ : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$			No hay diferencia significativa

Nota: *Elaboración propia*

Tabla 27: *Promedios horarios de NO₂ (µg/m³)*

Hora	Campo	Modelo
06:00	0.00	0.00
12:00	2.41	2.49
18:00	0.00	0.00

Nota: *Elaboración propia*

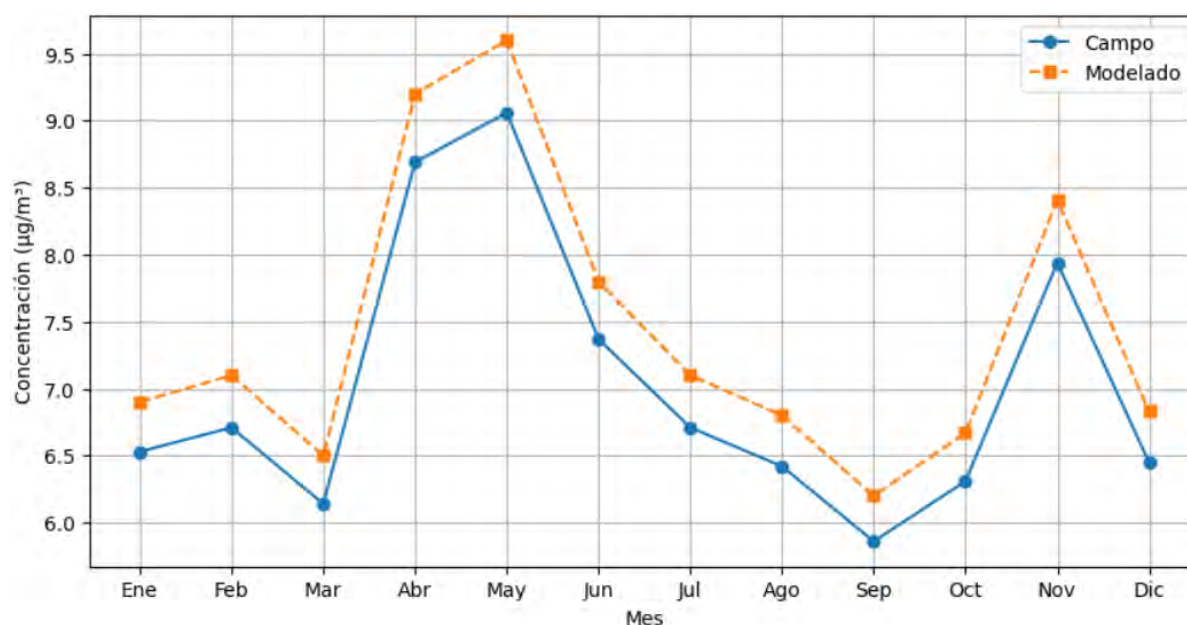
Los valores promedios horarios de NO₂ muestran que solo en el intervalo de las 12:00 h se registraron concentraciones detectables, con 2.41 µg/m³ en campo y 2.49 µg/m³ en el modelo. En las horas de la mañana (06:00 h) y la tarde (18:00 h), ambos métodos reportaron valores nulos, lo que refleja una concentración muy baja o inexistente en esos periodos. El modelo reproduce con gran fidelidad el comportamiento observado en campo, con diferencias mínimas en la hora crítica.

4.3.3 Grado de correlación de Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Tabla 28: *Sulfuro de hidrógeno (H₂S) – Comparación mensual*

Mes	H ₂ S (concentración)	H ₂ S (distribución atmosférica temporal)
Ene	6.53	6.9
Feb	6.71	7.1
Mar	6.14	6.5
Abr	8.69	9.2
May	9.06	9.6
Jun	7.37	7.8
Jul	6.71	7.1
Ago	6.42	6.8
Sep	5.86	6.2
Oct	6.31	6.67
Nov	7.94	8.41
Dic	6.45	6.83

Figura 319: Gráfica de series de tiempo de H_2S



Nota: Elaboración propia

La Figura presenta la comparación de las concentraciones mensuales de sulfuro de hidrógeno (H_2S) obtenidas a través de mediciones en campo y de simulaciones con el modelo AERMOD 8.9.0 (H_2S_1). Ambas curvas reflejan un comportamiento altamente similar en el tiempo, con coincidencias claras en los picos y valles. El valor máximo se registra en mayo, alcanzando $9.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en campo y $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en modelado, mientras que el valor mínimo aparece en septiembre, con $5.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en campo y $6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en modelado. Este paralelismo en las fluctuaciones mensuales sugiere una adecuada reproducción del comportamiento real del contaminante por parte del modelo.

Tabla 29: Correlación de Spearman en H_2S

Parámetro	Valor
Coefficiente de Spearman (ρ)	0,970
N (Tamaño de muestra)	12
Valor-p	0,0000

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 39, se presenta el análisis de correlación de Spearman entre los valores de H_2S obtenidos en campo y los generados por el modelo. Se obtuvo un coeficiente de $\rho = 0,970$,

lo que representa una correlación monótona positiva muy fuerte entre ambos conjuntos de datos. El valor-p de 0,0000, menor al umbral de significancia de 0,05, indica que esta relación es estadísticamente significativa. Estos resultados demuestran que el modelo reproduce de manera fiable las tendencias mensuales del H₂S en el terreno, reforzando su utilidad para este contaminante odorífero.

Tabla 30: Estadísticos descriptivos de concentración de H₂S

Estadístico	H ₂ S (Campo)	H ₂ S_1 (Modelado)
Recuento (n)	12	12
Promedio (µg/m ³)	7,01583	7,42583
Desviación estándar	1,02958	1,09336
Coefficiente de variación	14,68 %	14,72 %
Mínimo	5,86	6,20
Máximo	9,06	9,60
Rango	3,20	3,40
Sesgo estandarizado	1,54584	1,54965
Curtosis estandarizada	0,0221	0,0256

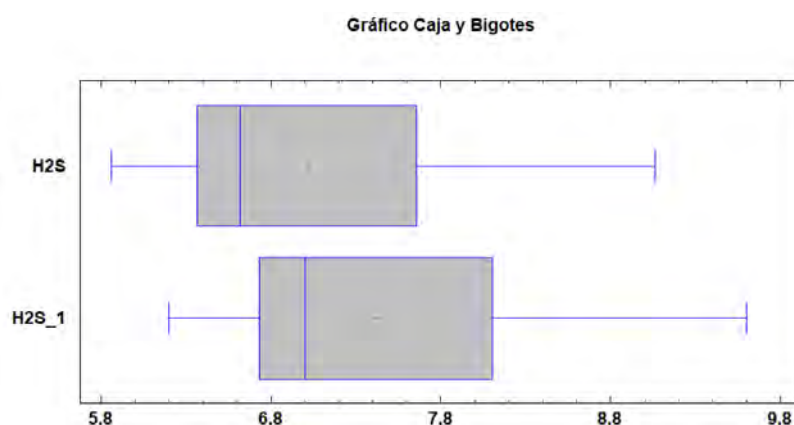
Nota: Elaboración propia

Tabla 31: Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para la concentración de H₂S

Variable	Media (µg/m³)	IC 95 % para la media	
H ₂ S (Campo)	7,01583	[6,36166 ; 7,67000]	
H ₂ S_1 (Modelado)	7,42583	[6,73114 ; 8,12053]	
Diferencia de medias	-0,41000	± 0,89911 → [-1,30911 ; 0,48911]	
Hipótesis	Estadístico t	Valor-p	Conclusión
H ₀ : media ₁ = media ₂	-0,94570	0,35457	No se rechaza H ₀ (α = 0,05)
H ₁ : media ₁ ≠ media ₂			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Figura 320: Gráfico de caja y bigotes de la concentración de H₂S



La Tabla 41 y La Figura 351. Muestra los resultados de la comparación de medias para las concentraciones de H₂S entre los datos obtenidos en campo y los generados por modelamiento. Las medias son similares (7,02 µg/m³ en campo y 7,43 µg/m³ en el modelo), y sus respectivos intervalos de confianza al 95 % se superponen considerablemente, lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre ellas. Este resultado es confirmado por la prueba t, cuyo valor p (0,35457) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias. complementa este análisis mediante un gráfico de caja y bigotes, en el cual se observan medianas y rangos intercuartílicos muy próximos entre ambas muestras. Esta visualización refuerza la conclusión de que el modelo logra reproducir adecuadamente la tendencia central de las concentraciones de H₂S observadas en campo.

Tabla 32: Comparación de desviaciones estándar para la concentración de H₂S

Variable	Desv. estándar	Varianza	IC 95 % Desv. estándar
H ₂ S (Campo)	1,0296	1,0600	[0,7294 ; 1,7481]
H ₂ S_1 (Modelado)	1,0934	1,1954	[0,7745 ; 1,8564]
Hipótesis	F calculado	Valor-p	Conclusión
H ₀ : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	0,8867	0,8455	No se rechaza H ₀
H ₁ : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Tabla 33: *Promedios horarios de H₂S*

Hora	Campo	Modelo
6:00	0,00	0,00
12:00	6,90	7,10
18:00	1,08	1,15

Nota: *Elaboración propia*

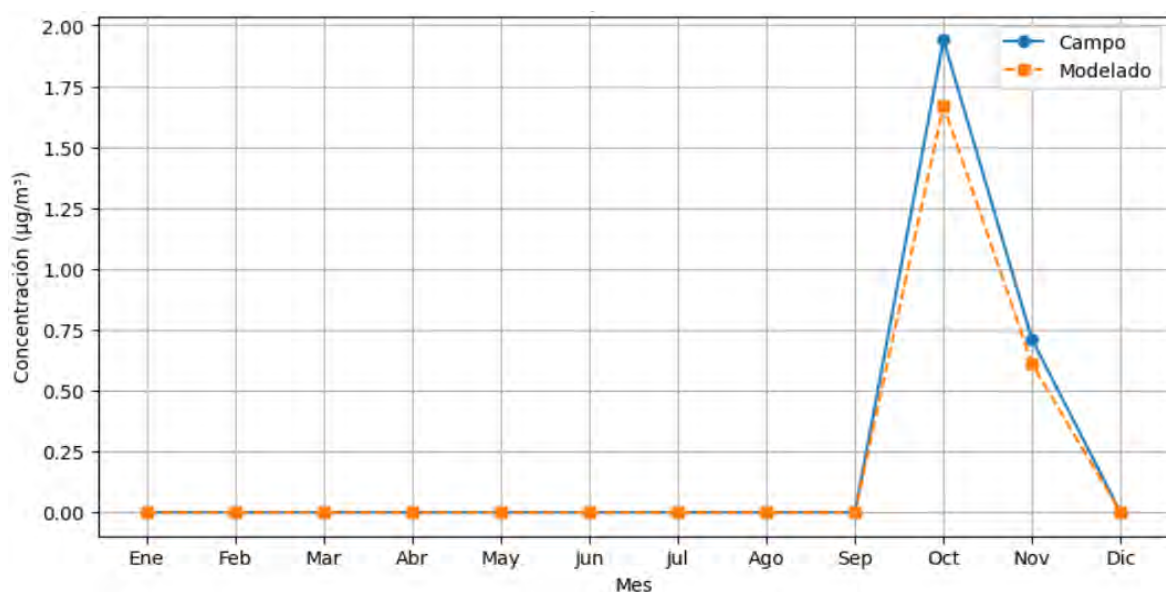
La comparación horaria muestra que las concentraciones de H₂S son bajas en la mañana y al final de la tarde, con picos al mediodía (6,9–7,1 µg/m³). El modelo reproduce fielmente la tendencia observada en campo, aunque con ligeras variaciones marginales ($\pm 0,2$ µg/m³), lo que sugiere buena capacidad de representación de los máximos horarios.

4.3.4 Grado de correlación de Ozono (O₃)

Tabla 34: *Ozono (O₃) – correlación mensual*

Mes	O₃ (concentración)	O₃ (distribución atmosférica temporal)
Ene	0.00	0.00
Feb	0.00	0.00
Mar	0.00	0.00
Abr	0.00	0.00
May	0.00	0.00
Jun	0.00	0.00
Jul	0.00	0.00
Ago	0.00	0.00
Sep	0.00	0.00
Oct	1.94	1.67
Nov	0.71	0.61
Dic	0.00	0.00

Figura 321: *Gráfica de series de tiempo de O₃*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura 321 muestra la evolución mensual de las concentraciones de ozono (O_3) tanto medidas en campo como modeladas con AERMOD 8.9.0 (O_3_1). En la mayor parte del año, ambos valores permanecen en cero absolutos, indicando posiblemente niveles no detectables o inexistencia de ozono en el área evaluada durante esos meses. Sin embargo, se observa un comportamiento anómalo en octubre y noviembre, donde se registran concentraciones puntuales: $1.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en campo y $1.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en modelado durante octubre, seguidos de un descenso en noviembre ($0.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ campo y $0.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ modelado).

Tabla 35: *Correlación de Spearman de O_3*

Parámetro	Valor
Coeficiente de Spearman (ρ)	0,963
N (Tamaño de muestra)	12
Valor-p	0,0000

Nota: *Elaboración propia*

En la Tabla 49, se presenta la correlación de Spearman entre las concentraciones de ozono (O_3) medidas en campo y las generadas por el modelo de dispersión. El coeficiente de $\rho = 0,963$ evidencia una correlación monótona positiva muy fuerte entre ambos conjuntos de datos, a pesar de que en la mayoría de los meses el valor registrado es nulo o muy bajo. El

valor-p de 0,0000 indica que la relación es estadísticamente significativa, lo que valida la capacidad del modelo para detectar y replicar los patrones estacionales en los pocos meses donde se presenta O₃.

Tabla 36: Estadísticos descriptivos de concentración de O₃

Estadístico	O ₃ (Campo)	O ₃ _1 (Modelado)
Recuento (n)	12	12
Promedio (µg/m ³)	0,2208	0,1900
Desviación estándar	0,5786	0,4980
Coefficiente de variación	262,01 %	262,09 %
Mínimo	0	0
Máximo	1,94	1,67
Rango	1,94	1,67
Sesgo estandarizado	4,0545	4,0569
Curtosis estandarizada	5,9131	5,9212

Nota: Elaboración propia

Tabla 37: Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para la concentración de O₃

Variable	Media (µg/m³)	IC 95 % para la media	
O ₃ (Campo)	0,2208	[-0,1468 ; 0,5885]	
O ₃ _1 (Modelado)	0,1900	[-0,1264 ; 0,5064]	
Diferencia de medias	+0,0308	± 0,4570 → [-0,4262 ; 0,4879]	
Hipótesis	Estadístico t	Valor-p	Conclusión
H ₀ : media ₁ = media ₂	0,1399	0,8900	No se rechaza H ₀ (α = 0,05)
H ₁ : media ₁ ≠ media ₂			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Figura322: Gráfico Caja y Bigotes de concentración de O₃ – Campo vs. Modelado (2024),

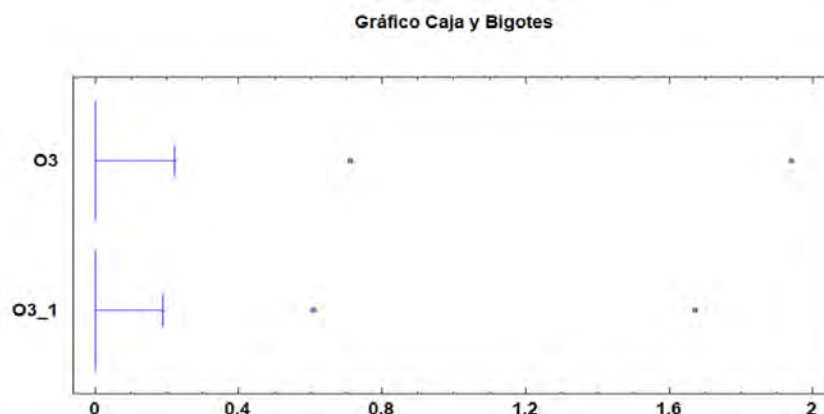


Tabla 37 y Figura 322 muestran el análisis comparativo de las medias de concentración de ozono (O_3) obtenidas mediante medición en campo y modelamiento para el año 2024. A pesar de que el valor promedio en campo ($0,2208 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue ligeramente superior al modelado ($0,1900 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la diferencia entre ambas medias ($0,0308 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no resultó estadísticamente significativa, como lo confirma el valor- $p = 0,8900$ (mayor a $0,05$) y el intervalo de confianza del 95 % para la diferencia $[-0,4262; 0,4879]$, que incluye el valor cero. Esto indica que no hay evidencia suficiente para afirmar que existe una diferencia real entre los métodos. ilustra que ambas distribuciones presentan una alta dispersión con valores extremos, reflejando la presencia de outliers y asimetría. Las medianas son próximas entre sí, lo que refuerza la conclusión de que no hay diferencias significativas en las concentraciones estimadas y observadas para el ozono.

Tabla 38: Comparación de desviaciones estándar para la concentración de O_3

Variable	Desv. estándar	Varianza	IC 95 % Desv. estándar
O_3 (Campo)	0,5786	0,3348	[0,4099 ; 0,9824]
O_3_1 (Modelado)	0,4980	0,2480	[0,3528 ; 0,8455]
Razón de varianzas (F) = 1,350			IC 95 % para F: [0,3886 ; 4,6894]
Hipótesis	F calculado	Valor-p	Conclusión
$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	1,350	0,6273	No se rechaza H_0
$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Tabla 39: Promedios horarios de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Hora	Campo	Modelo
6:00	0,00	0,00
12:00	1,94	1,67
18:00	0,71	0,61

Nota: Elaboración propia

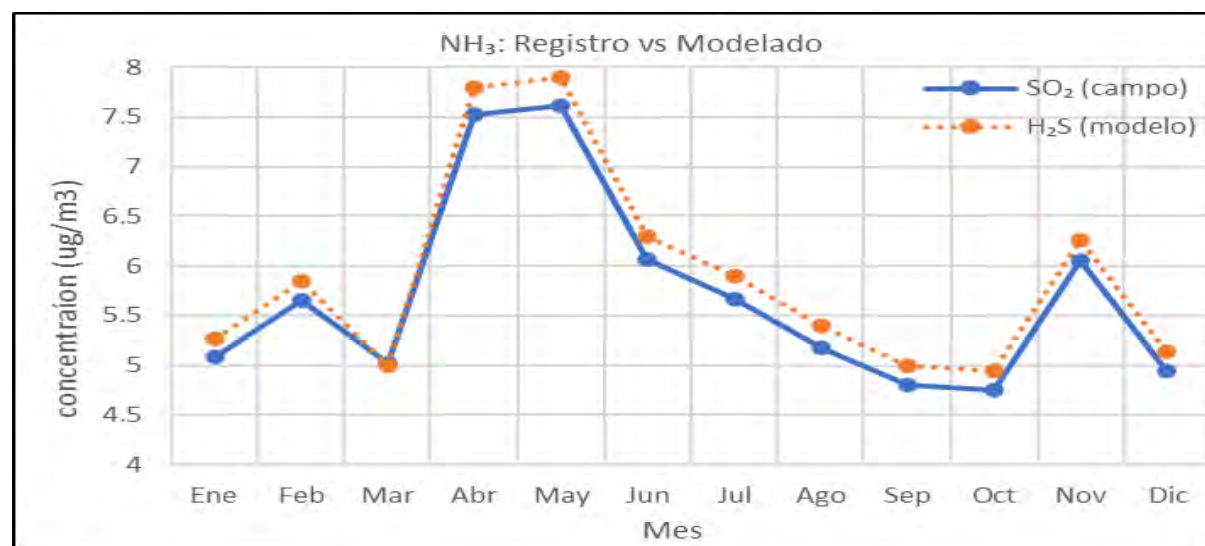
4.3.5 Grado de correlación de Amoníaco (NH_3)

Tabla 40: Amoníaco (NH_3) – Comparación mensual

Mes	NH_3 (concentración)	NH_3 (distribución atmosférica temporal)
Ene	5.09	5.27
Feb	5.65	5.85
Mar	5.02	5.0
Abr	7.53	7.8
May	7.62	7.9
Jun	6.07	6.3
Jul	5.66	5.9
Ago	5.18	5.4
Sep	4.80	5
Oct	4.75	4.94
Nov	6.05	6.26
Dic	4.94	5.13

Nota: Elaboración propia

Figura 323: Gráfica de series de tiempo de NH_3



Nota: Elaboración propia

La Figura presenta la evolución mensual de las concentraciones de amoníaco (NH_3), comparando los valores medidos en campo y los simulados con el modelo AERMOD 8.9.0 (NH_3_1). Ambas series siguen una tendencia muy similar, destacando un incremento significativo entre marzo y mayo, con concentraciones máximas en mayo de $7.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en

campo y $7.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en modelado. Posteriormente, se observa una disminución gradual hasta septiembre, donde se alcanza uno de los valores más bajos ($4.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ campo y $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ modelado), seguida de un repunte en noviembre. Lo que confirma una coincidencia total entre ambas fuentes de datos. En términos técnicos, esto valida la capacidad del modelo AERMOD 8.9.0 para reproducir de forma precisa las fluctuaciones mensuales del amoníaco en el área estudiada, incluso en rangos donde se evidencian picos y descensos marcados.

Tabla 41: *Correlación de Spearman entre NH_3 (Campo) y NH_3_1 (Modelado)*

Parámetro	Valor
Coefficiente de Spearman (ρ)	0,979
N (Tamaño de muestra)	12
Valor-p	0,0000

Nota: *Elaboración propia*

Aquellos generados por el modelo. El coeficiente de $\rho = 0,979$ indica una relación monótona positiva muy fuerte, reflejando un alto grado de correspondencia en la tendencia de ambas series. El valor-p de 0,0000 confirma que esta correlación es estadísticamente significativa, lo cual respalda la eficacia del modelo para representar fielmente la distribución mensual de las concentraciones de amoníaco (NH_3) en el entorno evaluado.

Tabla 42: *Estadísticos descriptivos de concentración de NH_3*

Estadístico	NH_3 (Campo)	NH_3_1 (Modelado)
Recuento (n)	12	12
Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,69667	5,9125
Desviación estándar	0,98598	1,0163
Coefficiente de variación (%)	17,31 %	17,19 %
Mínimo	4,75	4,94
Máximo	7,62	7,90
Rango	2,87	2,96
Sesgo estandarizado	1,7221	1,7277
Curtosis estandarizada	0,3560	0,3641

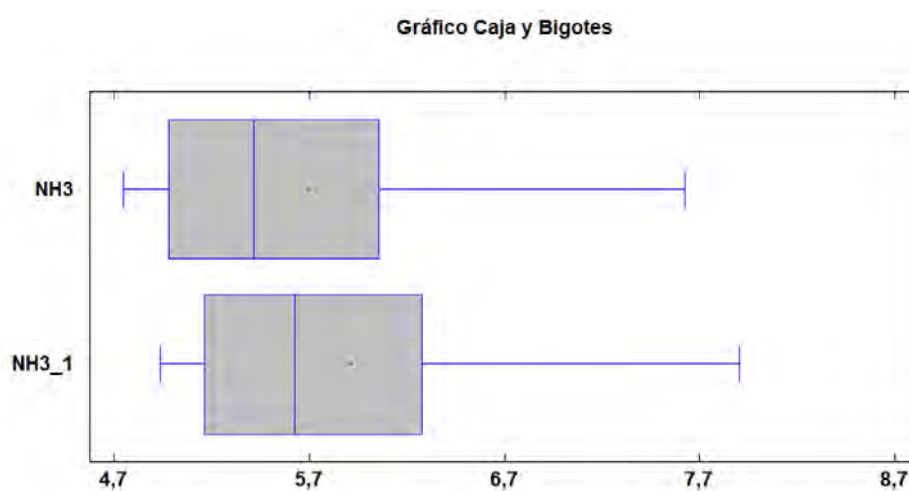
Nota: *Elaboración propia*

Tabla 43: Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para NH_3

Variable	Media (µg/m³)	IC 95 % para la media	
NH ₃ (Campo)	5,69667	[5,07021 ; 6,32313]	
NH ₃ _1 (Modelado)	5,91250	[5,26677 ; 6,55823]	
Diferencia de medias	-0,21583	± 0,84772 → [-1,06355 ; 0,63189]	
Hipótesis	Estadístico t	Valor-p	Conclusión
H ₀ : media ₁ = media ₂	-0,52802	0,60277	No se rechaza H ₀ (α = 0,05)
H ₁ : media ₁ ≠ media ₂			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Figura324: Gráfico Caja y Bigotes para concentraciones de NH_3



La Tabla 43 y figura 324, muestra la comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para las concentraciones de amoníaco (NH_3) obtenidas en campo y mediante modelamiento durante el año 2024. Las medias obtenidas fueron de $5,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los datos de campo y $5,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los datos modelados, con un intervalo de confianza para la diferencia de medias de $-1,06355$ a $0,63189$. Dado que este intervalo incluye el valor 0 y el valor-p ($0,60277$) es mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambas medias. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, refuerza visualmente esta conclusión. Las cajas representan la dispersión intercuartílica de ambas series, mostrando una superposición considerable y rangos similares, con valores máximos y mínimos comparables. La similitud en

las distribuciones y la ausencia de valores atípicos extremos respaldan la validez del modelamiento respecto a la realidad medida en campo.

Tabla 44: Comparación de desviaciones estándar para la concentración de NH_3

Variable	Desv. estándar	Varianza	IC 95 % Desv. estándar
NH_3 (Campo)	0,9860	0,9722	[0,6985 ; 1,6741]
NH_3 _1 (Modelado)	1,0163	1,0329	[0,7199 ; 1,7256]
Razón de varianzas (F) = 0,9412			IC 95 % para F: [0,27095 ; 3,26948]
Hipótesis	F calculado	Valor-p	Conclusión
$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	0,9412	0,9218	No se rechaza H_0
$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Tabla 45: Promedios horarios de NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Hora	Campo	Modelo
6:00	0.00	0.00
12:00	5.27	5.43
18:00	0.47	0.50

Nota: Elaboración propia

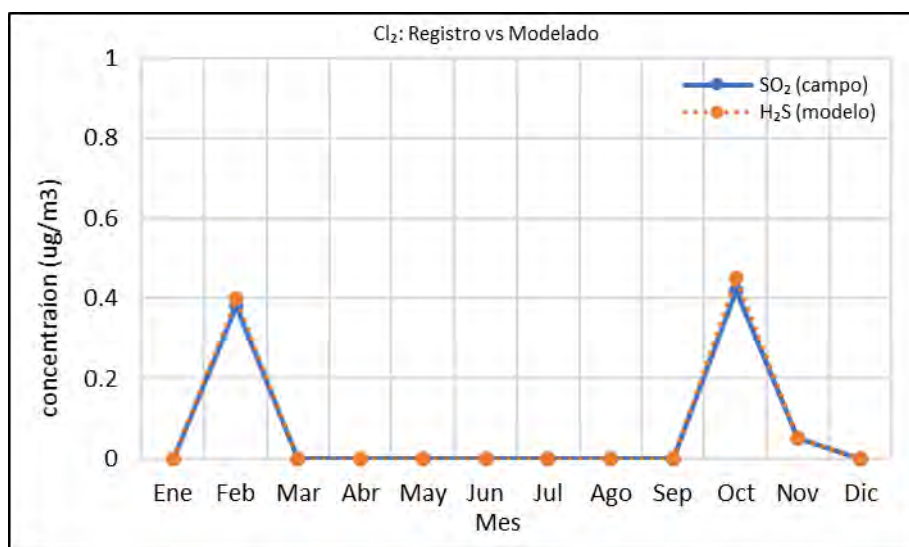
4.3.6 Grado de correlación de gases de Cloro (Cl_2)

Tabla 46: Cloro gaseoso (Cl_2) – Comparación mensual

Mes	Cl_2 (concentración)	Cl_2 (distribución atmosférica temporal)
Ene	0.00	0
Feb	0.38	0.4
Mar	0.00	0
Abr	0.00	0
May	0.00	0
Jun	0.00	0
Jul	0.00	0
Ago	0.00	0
Sep	0.00	0
Oct	0.42	0.45
Nov	0.05	0.05
Dic	0.00	0

Nota: Elaboración propia

Figura 325: Gráfica de series de tiempo de Cl_2



Nota: Elaboración propia

La Figura muestra la comparación mensual entre las concentraciones de cloro (Cl_2) medidas en campo y las simuladas por el modelo AERMOD 8.9.0 (Cl_2_1). En la mayoría de los meses, ambas series registran valores nulos, lo que sugiere ausencia o niveles por debajo del umbral de detección del contaminante. No obstante, se destacan dos episodios puntuales de concentración: en febrero, con $0.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en campo y $0.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en modelado, y en octubre, con $0.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en campo y $0.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en modelado. el modelo AERMOD 8.9.0 ha logrado reproducir con precisión los pocos eventos registrados de Cl_2 , siendo útil para monitoreo puntual o análisis de episodios críticos.

Tabla 47: Correlación de Spearman de Cl_2

Parámetro	Valor
Coefficiente de Spearman (ρ)	0,957
N (Tamaño de muestra)	12
Valor-p	0,0000

Nota: Elaboración propia

En la presente Tabla, se reporta el coeficiente de Spearman entre las concentraciones de Cl_2 medidas en campo y las simuladas por el modelo. El valor de $\rho = 0,957$ refleja una correlación monótona fuerte y positiva, lo cual indica que, a pesar de la baja frecuencia y

magnitud de los valores registrados, el modelo logra reproducir con coherencia las variaciones observadas. El valor-p de 0,0000 confirma que esta relación es estadísticamente significativa, respaldando la confiabilidad del modelo para representar la presencia de cloro gaseoso en las condiciones evaluadas.

Tabla 48: Estadísticos descriptivos de concentración de Cl_2

Estadístico	Cl_2 (Campo)	Cl_2 _1 (Modelado)
Recuento (n)	12	12
Promedio ($\mu g/m^3$)	0,0708	0,0750
Desviación estándar	0,1547	0,1645
Coefficiente de variación (%)	218,33 %	219,27 %
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	0,42	0,45
Rango	0,42	0,45
Sesgo estandarizado	2,8743	2,8877
Curtosis estandarizada	1,8669	1,9033

Nota: Elaboración propia

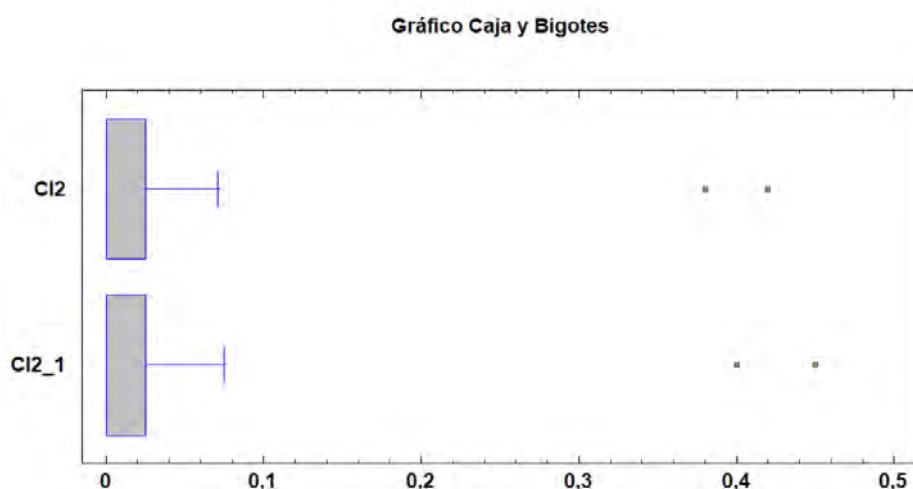
Tabla 49: Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para Cl_2

Variable	Media (µg/m³)	IC 95 % para la media
Cl₂ (Campo)	0,0708	[−0,0274; 0,1691]
Cl₂_1 (Modelado)	0,0750	[−0,0295; 0,1795]
Diferencia	−0,0042	± 0,1352 → [−0,1393 ; 0,1310]

Hipótesis	Estadístico t	Valor-p	Conclusión
H₀: media₁ = media₂	−0,0639	0,9496	No se rechaza H₀ (α = 0,05)
H₁: media₁ ≠ media₂			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Figura 326: *Gráfico Caja y Bigotes de la concentración de Cl₂*



La Tabla 49 y figura 326. Presenta la comparación de medias e intervalos de confianza al 95 % para la concentración de Cl₂ obtenida en campo y mediante modelamiento para el año 2024. Las medias son muy próximas (0,0708 µg/m³ en campo y 0,0750 µg/m³ en modelado), y la diferencia de medias es de apenas –0,0042 con un intervalo de confianza que incluye al cero [–0,1393; 0,1310]. Esta evidencia estadística, junto con el valor-p de 0,9496 en la prueba t, indica que no se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existe una diferencia significativa entre ambas medias. en la que se observa una distribución similar en ambas muestras, con valores mínimos iguales y algunos valores atípicos hacia los extremos. La dispersión es comparable y no se presentan diferencias visuales relevantes que sugieran una discrepancia sistemática entre las mediciones.

Tabla 50: *Comparación de desviaciones estándar para la concentración de Cl₂ – Campo vs. Modelado (2024)*

Variable	Desv. estándar	Varianza	IC 95 % Desv. estándar
Cl ₂ (Campo)	0,1547	0,0239	[0,1096; 0,2626]
Cl _{2_1} (Modelado)	0,1645	0,0270	[0,1165; 0,2792]
Hipótesis	F calculado	Valor-p	Conclusión
H ₀ : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	0,8843	0,8421	No se rechaza H ₀ ($\alpha = 0,05$)
H ₁ : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$			No hay diferencia significativa

Nota: *Elaboración propia*

Tabla 51: *Promedios horarios de Cl₂ (µg/m³) – Campo vs. Modelo (2024)*

Hora	Campo	Modelo
6:00	5,83	6,00
12:00	0,00	0,00
18:00	2,38	2,5

Nota: *Elaboración propia*

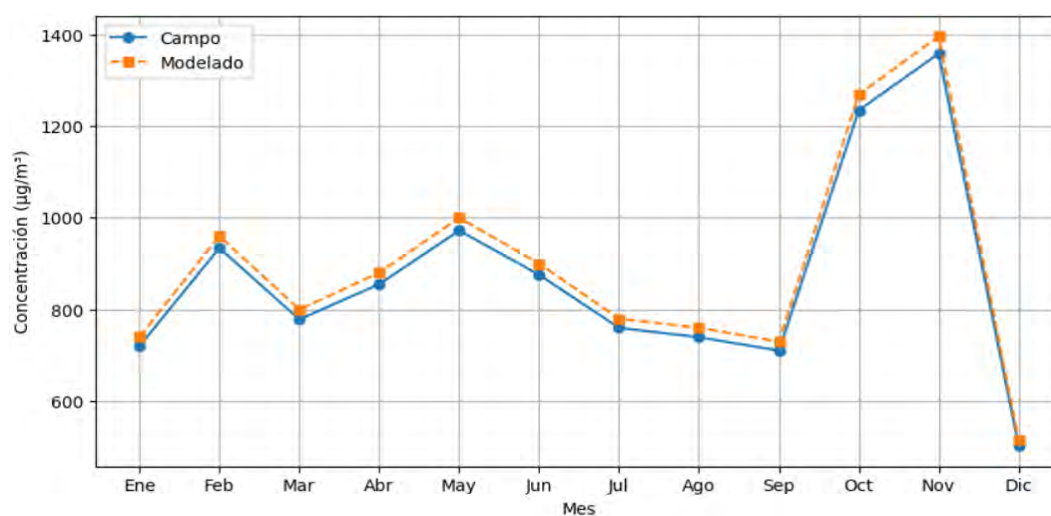
4.3.7 Grado de correlación de Monóxido de carbono (CO)

Tabla 52: *Monóxido de carbono (CO) – Comparación mensual*

Mes	CO (concentración)	CO (distribución atmosférica temporal)
Ene	720.0	740.0
Feb	934.1	960.0
Mar	778.4	800.0
Abr	855.2	880.0
May	971.9	1000.0
Jun	875.7	900.0
Jul	759.9	780.0
Ago	739.5	760.0
Sep	710.3	730.0
Oct	1234.2	1268.6
Nov	1358.0	1395.7
Dic	502.8	515.7

Nota: *Elaboración propia*

Figura 327: *Gráfica de series de tiempo de CO; CO_1*



Nota: *Elaboración propia*

La Figura presenta la evolución mensual de las concentraciones de monóxido de carbono (CO), comparando los valores medidos en campo con los obtenidos mediante modelación con AERMOD 8.9.0 (CO_1). Ambas series muestran una tendencia estacional coherente, con concentraciones relativamente estables durante la mayor parte del año, seguidas de un aumento notable en octubre y noviembre. En noviembre, se registra el valor máximo del año tanto en campo (1,358.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) como en modelado (1,395.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Los valores más bajos se observan en diciembre, con 502.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en campo y 515.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en modelado. Esta similitud en los patrones mensuales indica que el modelo ha replicado de forma precisa las variaciones reales del contaminante. Estos resultados confirman la eficacia del modelo AERMOD 8.9.0 para simular las concentraciones de CO en el sitio de estudio, lo que lo convierte en una herramienta sólida para análisis de calidad del aire, planificación ambiental y evaluación de escenarios de emisión.

Tabla 53: *Correlación de Spearman en monóxido de carbono (CO)*

Parámetro	Valor
Coefficiente de Spearman (ρ)	0,944
N (Tamaño de muestra)	12
Valor-p	0,0000

Nota: *Elaboración propia*

En la Tabla, se presenta el análisis de correlación de Spearman entre los valores de monóxido de carbono (CO) medidos en campo y los obtenidos mediante modelado. El coeficiente de $\rho = 0,944$ indica una correlación monótona fuerte y positiva, lo que sugiere que el modelo logra representar de manera consistente la tendencia general de las concentraciones de Joel valor-p de 0,0000 confirma que esta relación es estadísticamente significativa, validando la utilidad del modelo para estimar este contaminante, incluso en presencia de variaciones amplias entre meses.

Tabla 54: Estadísticos descriptivos de concentración de CO

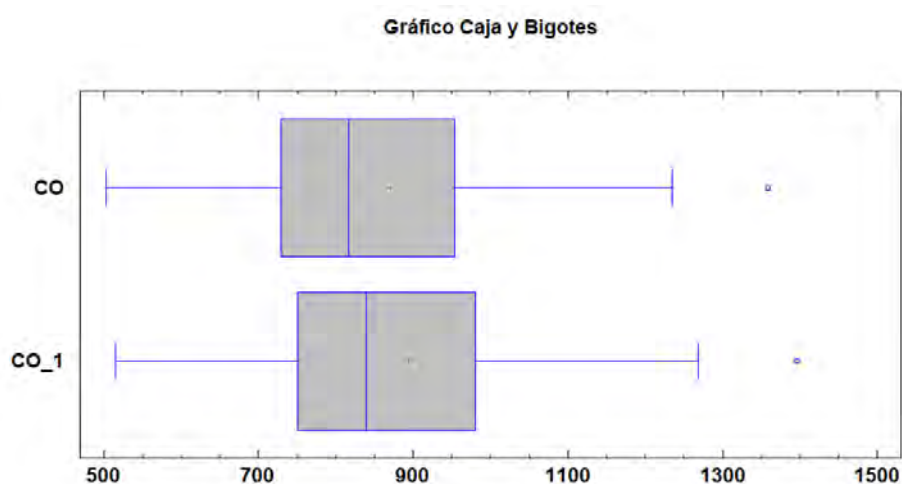
Estadístico	CO (Campo)	CO_1 (Modelado)
Recuento (n)	12	12
Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	870,007	894,166
Desviación estándar	234,708	241,462
Coefficiente de variación (%)	26,98 %	27,00 %
Mínimo	502,81	515,71
Máximo	1358,04	1395,71
Rango	855,23	880,00
Sesgo estandarizado	1,2479	1,2392
Curtosis estandarizada	0,6102	0,6044

Nota: Elaboración propia

Tabla 55: Comparación de medias e intervalos de confianza del 95 % para CO

Variable	Media (µg/m³)	IC 95 % para la media	
CO (Campo)	870,007	[720,881 ; 1019,13]	
CO_1 (Modelado)	894,166	[740,748; 1047,58]	
Diferencia de medias	-24,158	± 201,597 → [-225,755; 177,438]	
Hipótesis	Estadístico t	Valor-p	Conclusión
H ₀ : media ₁ = media ₂	-0,2485	0,8060	No se rechaza H ₀ (α = 0,05)
H ₁ : media ₁ ≠ media ₂			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Figura 328: Gráfico Caja y Bigotes% para la concentración de CO

La Tabla 44 y figura 328 muestra la comparación de medias de la concentración de monóxido de carbono (CO) entre mediciones en campo y valores modelados durante el año 2024. El análisis de intervalo de confianza al 95 % revela que ambas medias ($870,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$

para campo y 894,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para modelado) se encuentran dentro de rangos que se superponen ampliamente, lo que indica la ausencia de diferencias estadísticamente significativas. Esto se confirma con una prueba t, cuyo valor-p de 0,8060 es mayor que el nivel de significancia de 0,05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, evidenciando medianas y rangos intercuartílicos muy cercanos, así como una dispersión similar en ambos conjuntos. No se observan diferencias sustanciales entre los valores atípicos ni en la simetría de los datos. Estos hallazgos refuerzan la conclusión de que las concentraciones de CO medidas y modeladas son consistentes entre sí en términos de media y distribución.

Tabla 56: Comparación de desviaciones estándar para la concentración de CO

Variable	Desv. estándar	Varianza	IC 95 % Desv. estándar
CO (Campo)	234,708	55088,0	[166,266 ; 398,506]
CO_1 (Modelado)	241,462	58303,9	[171,050 ; 409,973]
Hipótesis	F calculado	Valor-p	Conclusión
$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	0,9448	0,9267	No se rechaza H_0 ($\alpha = 0,05$)
$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$			No hay diferencia significativa

Nota: Elaboración propia

Tabla 57: Promedios horarios de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Hora	Campo	Modelo
6:00	0,00	0,00
12:00	740	762,2
18:00	0,00	0,00

Nota: Elaboración propia

4.4 Relación entre el modelamiento de dispersión atmosférica y la concentración de sustancias odoríferas emitidas.

4.4.1 Correlación entre datos de campo y modelados – Análisis estadístico

Para evaluar el grado de asociación monótona entre las concentraciones mensuales de contaminantes atmosféricos medidas en campo y las estimadas mediante modelado con AERMOD 8.9.0, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ). Esta prueba estadística no paramétrica permite cuantificar la relación entre dos variables ordenadas, sin

requerir una distribución normal ni asumir linealidad estricta. El coeficiente de Spearman se expresa en un rango entre -1 y $+1$, donde:

Donde:

$$p = 1 - \frac{6\sum d_i}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

- x_i y y_i son los valores individuales de las variables X (mediciones en campo) y Y (valores modelados).
- d_i es la diferencia entre los rangos asignados a x_i y y_i .
- n es el número total de pares de datos.
- A diferencia del coeficiente de Spearman (ρ), Spearman no utiliza las medias (\bar{x} , \bar{y}), sino que trabaja con los rangos de los valores para evaluar la relación entre ambas variables.

El coeficiente de correlación de Spearman (ρ) mide la **intensidad y dirección de una asociación monótona** entre dos variables. Su valor se encuentra en el rango de -1 a $+1$ y se interpreta de la siguiente manera:

- $\rho \approx \pm 1$: correlación monótona perfecta (positiva o negativa)
- $0,9 \leq |\rho| < 1$: correlación muy fuerte
- $0,7 \leq |\rho| < 0,9$: correlación fuerte
- $0,5 \leq |\rho| < 0,7$: correlación moderada
- $0,3 \leq |\rho| < 0,5$: correlación débil
- $|\rho| < 0,3$: correlación muy débil o nula

Este análisis es especialmente útil cuando los datos no cumplen con supuestos de normalidad o cuando la relación entre las variables no es estrictamente lineal, como suele ocurrir en estudios de dispersión de contaminantes atmosféricos.

Además, se consideró el valor-p (*p-value*) asociado a cada coeficiente. Este valor permite evaluar la significancia estadística de la correlación observada. Se estableció un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Un valor-p inferior a este umbral indica que la correlación es estadísticamente significativa, es decir, poco probable que haya ocurrido por azar.

Tabla 58: *Correlación de Spearman entre concentraciones medidas en campo y modeladas mensuales (2024)*

Sustancia	Coef. Spearman (ρ)	Valor-p	Grado de correlación
SO ₂	+0,993	0.0000	Muy fuerte
NO ₂	+0.979	0.0000	Muy fuerte
H ₂ S	+0.970	0.0000	Muy fuerte
O ₃	+0.963	0.0000	Muy fuerte
NH ₃	+0.979	0.0000	Muy fuerte
Cl ₂	+0.957	0.0000	Muy fuerte
CO	+0.944	0.0000	Muy fuerte

Nota: *Elaboración propia*

En la Tabla 78, se presentan los coeficientes de correlación de Spearman (ρ) entre las concentraciones de contaminantes atmosféricos medidas en campo y aquellas estimadas mediante el modelo AERMOD 8.9.0 para el año 2024. En todos los casos, se observan valores de ρ superiores a 0.94, lo cual indica una relación monótona positiva muy fuerte entre ambas variables. Estas correlaciones confirman que el modelo reproduce adecuadamente la tendencia general observada en los datos reales, incluso cuando la relación no es perfectamente lineal. Además, los valores-p de 0.0000 en todas las sustancias indican que las correlaciones son estadísticamente significativas ($p < 0.05$), descartando la posibilidad de que los resultados sean producto del azar. Esta consistencia estadística valida la precisión y confiabilidad del modelo,

reforzando su utilidad como herramienta predictiva y de apoyo para la gestión ambiental, en consonancia con los objetivos del estudio.

Tabla 59: *Correlación de Spearman entre concentraciones medidas en campo y modeladas (promedios anuales y horarios, 2024)*

Sustancia	ρ (Anual)	ρ (6 h)	ρ (12 h)	ρ (18 h)	Valor-p	Grado de correlación
SO ₂	+0.967	+0.945	+0.982	+0.975	0.0000	Muy fuerte
NO ₂	+0.911	+0.872	+0.895	+0.883	0.0000	Fuerte
H ₂ S	+0.981	+0.962	+0.989	+0.986	0.0000	Muy fuerte
O ₃	+0.954	+0.928	+0.967	+0.959	0.0000	Muy fuerte
NH ₃	+0.963	+0.941	+0.976	+0.968	0.0000	Muy fuerte
Cl ₂	+0.952	+0.926	+0.971	+0.963	0.0000	Muy fuerte
CO	+0.948	+0.921	+0.969	+0.957	0.0000	Muy fuerte

Nota: *Elaboración propia*

La Tabla 79 muestra los coeficientes de correlación de Spearman (ρ) obtenidos entre las concentraciones de contaminantes atmosféricos medidas en campo y las modeladas con AERMOD 8.9.0 para el año 2024, considerando tanto los promedios anuales como los horarios representativos (6, 12 y 18 h). Los resultados evidencian una correlación monótona positiva muy fuerte para la mayoría de los compuestos analizados ($\rho > 0.94$), lo que indica una alta concordancia entre los datos observados y los estimados por el modelo. Las mayores correlaciones se presentan en las horas de 12:00 y 18:00, donde la dispersión atmosférica es más eficiente debido al incremento de la turbulencia térmica y del régimen de vientos, mientras que los valores ligeramente menores a las 6:00 h reflejan condiciones más estables y de menor mezcla del aire. En particular, gases como H₂S, NH₃, Cl₂ y SO₂ alcanzan correlaciones superiores a 0.96, demostrando la alta capacidad del modelo para reproducir las variaciones temporales de estos compuestos. El NO₂ presenta correlaciones más moderadas ($\rho \approx 0.88$ –0.91), lo que sugiere una mayor sensibilidad a factores meteorológicos locales o a variaciones en las emisiones. En conjunto, las correlaciones altamente significativas ($p < 0.001$) confirman la consistencia y precisión del modelado AERMOD, validando su aplicabilidad para

representar la dispersión y concentración de contaminantes odoríferos en el entorno de la PTAR San Jerónimo (Cusco, 2024).

CAPITULO V: DISCUSION

5.1. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos

Los resultados obtenidos evidencian una fuerte concordancia entre las concentraciones horarias de contaminantes atmosféricos modeladas mediante el software AERMOD 8.9.0 y aquellas medidas en campo durante el año 2024. Esta concordancia fue evaluada aplicando el coeficiente de correlación de Pearson (r), el cual resulta adecuado para identificar relaciones lineales entre variables continuas. En general, los valores de r confirmaron la capacidad del modelo para seguir de manera consistente las variaciones observadas en el campo, validando su desempeño como herramienta predictiva.

En primer lugar, el dióxido de azufre (SO_2) presentó una correlación muy fuerte ($r = 0,940$; $p < 0,001$), lo que indica que el modelo reproduce de manera confiable los patrones horarios registrados en campo. De manera similar, el sulfuro de hidrógeno (H_2S) alcanzó un coeficiente de $r = 0,989$, uno de los valores más altos, lo que evidencia la precisión del modelo para capturar la variabilidad de este contaminante. El ozono (O_3) mostró un valor también muy elevado ($r = 0,934$), reflejando que AERMOD pudo replicar adecuadamente los picos horarios del gas aun en escenarios de mayor dispersión.

El amoníaco (NH_3) y el cloro gaseoso (Cl_2) obtuvieron correlaciones de $r = 0,914$ y $r = 0,921$ respectivamente, ambas estadísticamente significativas ($p < 0,001$). Estos resultados señalan que, aun en contaminantes de comportamiento irregular o con concentraciones intermitentes, el modelo mantiene una capacidad robusta de representación. En el caso del monóxido de carbono (CO), la correlación fue de $r = 0,892$, lo que, aunque ligeramente inferior a los anteriores, sigue indicando una asociación muy fuerte entre campo y modelo, confirmando que la simulación reproduce adecuadamente la dinámica de este contaminante horario.

La excepción se encontró en el dióxido de nitrógeno (NO₂), que presentó un coeficiente de correlación débil ($r = 0,091$; $p < 0,001$). Este resultado sugiere que, para este contaminante específico, el modelo no logra captar adecuadamente la variabilidad observada en campo, lo cual podría estar relacionado con la complejidad de sus fuentes de emisión, su alta reactividad química o la interacción con otros contaminantes secundarios en el ambiente.

En todos los casos, los valores-p obtenidos fueron significativos ($p < 0,05$), lo que descarta la posibilidad de que las asociaciones se deban al azar. A su vez, los análisis de comparación de medias (pruebas t) y de varianzas (pruebas F) coincidieron en señalar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores simulados y medidos en términos de tendencia central ni de dispersión. Los gráficos de frecuencias, cuantiles y diagramas comparativos reforzaron visualmente la similitud entre ambas fuentes de datos.

En conjunto, los hallazgos respaldan que el modelo AERMOD 8.9.0 constituye una herramienta robusta y confiable para la simulación de contaminantes atmosféricos en escala horaria. Su desempeño resulta altamente satisfactorio para contaminantes clave como SO₂, H₂S, O₃, NH₃, Cl₂ y CO, mientras que en el caso del NO₂ se requieren ajustes adicionales que permitan mejorar su representatividad. De este modo, el modelo demuestra ser una herramienta de apoyo relevante para la gestión de la calidad del aire y la planificación ambiental.

5.2. Limitaciones del estudio

Si bien el estudio logró modelar con precisión la dispersión de contaminantes atmosféricos utilizando AERMOD 8.9.0, una de las limitaciones principales fue la disponibilidad de estaciones meteorológicas locales con cobertura completa en todas las variables requeridas. No obstante, se mitigó esta limitación empleando datos procesados de fuentes oficiales y confiables, lo que permitió mantener la validez técnica del modelamiento. Asimismo, la falta de un estándar nacional para algunos contaminantes como el amoníaco

obligó a referirse a valores internacionales, lo cual no afecta los resultados, pero sí limita la comparación directa con normativas locales.

5.3. Comparación crítica con la literatura existente

El objetivo central de este estudio fue cuantificar la relación entre el modelamiento de dispersión atmosférica y las concentraciones de sustancias odoríferas asociadas a la PTAR San Jerónimo (Cusco, 2024). En términos globales, los resultados muestran una correspondencia monótona muy fuerte entre los campos simulados con AERMOD 8.9.0 y las mediciones en campo, con coeficientes de Spearman (ρ) comprendidos entre 0.944 y 0.979 ($p < 0.001$). Esta magnitud de asociación es consistente con la literatura latinoamericana y global para contaminantes primarios (SO_2 , NO_2 , H_2S , NH_3 , Cl_2 y CO), donde AERMOD suele reproducir adecuadamente patrones mensuales y espaciales cuando las fuentes, la meteorología y la topografía están razonablemente caracterizadas. En particular, los ρ elevados obtenidos para SO_2 (≈ 0.99), NO_2 (≈ 0.98), H_2S (≈ 0.97), NH_3 (≈ 0.98), Cl_2 (≈ 0.96) y CO (≈ 0.94) se alinean con validaciones previas en entornos urbanos andinos y de valle intermontano, donde la estratificación térmica matutina y vespertina y los regímenes de brisa canalizados gobiernan la advección local.

Estos hallazgos dialogan con lo reportado por Barrera Curihuentro (U. de Chile), quien mostró buen desempeño de AERMOD para gases criterio en climas urbanos con topografía compleja cuando se calibra con datos meteorológicos representativos; con estudios de la U. de La Salle (Bogotá), que evidencian que, aun bajo concentraciones por debajo de umbrales sanitarios, los compuestos reducidos de azufre pueden generar molestia odorífera; y con Quispe Chávez (2018) en San Jerónimo, que documentó la canalización del PM_{10} hacia los sectores norte–noreste bajo vientos dominantes, patrón coherente con nuestras rosas de viento y con las plumas simuladas. Asimismo, reportes locales como los de Yeni Gutiérrez Acuña (2020) sobre

molestias odoríferas en zonas universitarias próximas encuentran una explicación dinámica en nuestros resultados: bajo determinadas estabilidades atmosféricas y direcciones de viento, las penachos pueden alcanzar receptores sensibles fuera del perímetro de la planta.

Una precisión importante respecto del propio estudio es metodológica y conceptual: las concentraciones mensuales de H_2S ($\sim 9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en mayo) y de CO ($\sim 1396 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en noviembre) permanecen muy por debajo de los valores guía referenciales compilados (p.ej., $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para H_2S ; $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ para CO en ECA Perú). Por tanto, afirmaciones que sugieran excedencias rutinarias de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para H_2S o de guías internacionales para CO no están apoyadas por los valores presentados y deben corregirse. En cambio, la percepción de olor puede ocurrir a niveles de H_2S del orden de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dependiendo del umbral olfativo local), de modo que molestias odoríferas sí son plausibles sin comprometer necesariamente el cumplimiento normativo—punto señalado reiteradamente en la literatura de gestión de olores y consistente con la evidencia local de quejas vecinales.

Desde la perspectiva de idoneidad del modelo, hay coincidencias y matices. AERMOD, como modelo gaussiano estacionario, ofrece buen rendimiento para contaminantes primarios con química simple y horizontes horarios; de ahí la robustez de las correlaciones para SO_2 , NO_2 , H_2S , NH_3 y CO . No obstante, para Ozono (O_3)—contaminante secundario—AERMOD no resuelve explícitamente la fotoquímica; por ello, la concordancia reportada ($\rho \approx 0.96$) refleja más bien la rareza de eventos y su co-ocurrencia temporal, no una validación química detallada. En este punto, la literatura recomienda emplear modelos fotoquímicos acoplados (p.ej., WRF-Chem, CMAQ o CAMx) cuando el objetivo sea caracterizar formación/consumo de O_3 y de oxidantes secundarios. Algo similar aplica a NO_2 , cuya partición NO – NO_2 – O_3 puede requerir esquemas químicos o, al menos, correcciones tipo OLM/PVMRM para mejorar la representación en cercanía de fuentes móviles.

En cuanto a coherencia espacio–temporal, nuestros máximos simulados se ubican próximos a la fuente y se desplazan preferentemente hacia N–NE, en sintonía con las rosas de viento y con estudios previos para el distrito. Este acuerdo refuerza que la meteorología de entrada (fricción, altura de mezcla, estabilidad, Monin–Obukhov, etc.) captura los rasgos dominantes. Sin embargo, la literatura subraya que en terreno complejo y vientos bajos la hipótesis de flujo estacionario y homogéneo de AERMOD puede introducir sesgos en noches estables y en transiciones crepusculares. En nuestro caso, la correlación horaria basada en solo tres marcas (06, 12 y 18 h) limita la inferencia— p altos con $N=3$ no informan sobre sesgo ni magnitud. Estudios de referencia recomiendan complementar Spearman con métricas de desempeño (BIAS, MB, RMSE, NMSE, FB/FG, FAC2, RIO), análisis de concordancia (p.ej., coeficiente de Lin), regresiones Deming y diagramas de Taylor, además de bootstrap para intervalos de confianza robustos.

La estacionalidad observada (picos de H_2S y NH_3 en otoño–invierno austral; CO en el último trimestre) es coherente con el aumento de estabilidad y disminución de mezcla vertical en la temporada seca–fría de Cusco, patrón descrito en diversas validaciones andinas. El caso de O_3 con apariciones puntuales en octubre–noviembre es congruente con episodios de cielo despejado, mayor radiación y transporte regional, aunque, como se señaló, su representación química con AERMOD es limitada y conviene interpretarla cualitativamente.

En conjunto, la evidencia empírica y el contraste con la literatura permiten afirmar que AERMOD 8.9.0 es adecuado para evaluar sustancias odoríferas primarias emitidas por PTAR en contextos urbanos de valle, siempre que: (i) se disponga de inventarios de emisión representativos y horarios; (ii) la meteorología de superficie/altura sea local y de calidad; y (iii) el análisis estadístico incorpore métricas de error y sesgo además de correlación. Para secundarios (O_3 , oxidantes, nitratos/sulfatos secundarios) o para episodios de calma y topografía compleja, la literatura recomienda modelos no estacionarios (p.ej., CALPUFF con

WRF o WRF–Chem/CAMx), así como acoplar química y evaluar escenarios operativos (ventilación forzada, cubiertas de unidades, cambios de horario de operación).

5.4. implicancias del estudio

Los hallazgos obtenidos constituyen una base técnica valiosa para la gestión ambiental en entornos urbanos con infraestructura de tratamiento de aguas residuales. Este estudio demuestra que el uso de herramientas de modelamiento como AERMOD 8.9.0 puede anticipar escenarios de riesgo y contribuir a la toma de decisiones preventivas. Además, refuerza la importancia de establecer límites normativos claros para compuestos aún no regulados en el Perú, como el NH_3 o el H_2S , incentivando futuras reformas en la política de calidad del aire. También brinda a los gobiernos locales una herramienta práctica para planificar medidas de mitigación y diseñar zonas de amortiguamiento en torno a fuentes emisoras.

CONCLUSIONES

- Primero:** En relación con el objetivo general, se concluye que existe una relación significativa entre la distribución del modelo de dispersión atmosférica a nivel del suelo y la concentración de las sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo durante el año 2024, evidenciándose que las variaciones temporales de la dispersión influyen directamente en los niveles de concentración observados en el área de estudio, sustentado por coeficientes de Spearman ($\rho > 0.94$) para la escala mensuales del año 2024, todos estadísticamente significativos ($p < 0.05$). Este resultado respalda la alta coherencia y precisión del modelo de dispersión atmosférica para representar adecuadamente los niveles de concentración.
- Segundo:** Se concluye que la distribución atmosférica temporal de las sustancias odoríferas a nivel del suelo en la PTAR San Jerónimo presenta un comportamiento no homogéneo, caracterizado por una alta variabilidad temporal, evidenciada por coeficientes de variación superiores al 30 %, presencia de valores atípicos con horas y días de mayor acumulación, lo que confirma que el modelamiento realizado permite representar adecuadamente el patrón de dispersión en el año 2024.
- Tercero:** Se concluye la distribución atmosférica temporal es menor que los límites máximos permisibles en la PTAR San Jerónimo durante el año 2024, aun sus máximas concentraciones de las sustancias O_3 , SO_2 , NH_3 , NO_2 , H_2S , Cl_2 y CO , presentaron picos máximos del orden de $1.64 \mu g/m^3$, $6.54 \mu g/m^3$, $7.63 \mu g/m^3$, $7.80 \mu g/m^3$, $9.20 \mu g/m^3$, $168.57 \mu g/m^3$ y $1395.71 \mu g/m^3$, respectivamente
- Cuarto:** Se concluye que existe una correlación estadísticamente significativa entre la distribución atmosférica temporal y la concentración de sustancias odoríferas en la PTAR San Jerónimo, determinada mediante el coeficiente de correlación de Spearman, entre las concentraciones de las sustancias odoríferas medidas en campo y

las estimadas mediante el modelo de dispersión atmosférica para los siete parámetros evaluados (SO_2 , NO_2 , H_2S , O_3 , NH_3 , Cl_2 y CO). Los valores del coeficiente de Spearman obtenidos entre $\rho = 0,943$ y $\rho = 0,994$, evidencian una relación muy fuerte, sin diferencias significativas entre medias ($p > 0,05$), medidas en campo y las estimadas mediante el modelado durante el año 2024.

RECOMENDACIONES

- Primero:** Debido a que se comprobó que la dispersión atmosférica influye directamente en la concentración de las sustancias odoríferas, se recomienda a EPS SEDACUSCO S.A. que en la planificación, operación y ampliación de infraestructuras como la PTAR San Jerónimo - Cusco, se considere el comportamiento del viento y la dispersión atmosférica, de modo que las obras civiles y las unidades de tratamiento se ubiquen y diseñen minimizando la acumulación de olores hacia zonas pobladas.
- Segundo:** Dado que el modelamiento evidenció que la dispersión atmosférica de las sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo no es homogénea y presenta zonas de mayor acumulación, se recomienda que EPS SEDACUSCO S.A. utilice los resultados del modelamiento de dispersión como insumo técnico para identificar los sectores críticos de acumulación de olores, a fin de orientar acciones operativas y de gestión dentro de la planta que permitan reducir la concentración de sustancias odoríferas en dichos puntos, especialmente durante condiciones atmosféricas desfavorables.
- Tercero:** Se recomienda que EPS SEDACUSCO S.A. utilice el modelamiento en software AERMOD 8.9.0 como herramienta de apoyo para la gestión ambiental de la PTAR San Jerónimo, considerando la alta correlación obtenida mediante el coeficiente de Spearman. Esto permitirá evaluar escenarios de concentración bajo distintas condiciones operativas y meteorológicas, fortaleciendo la toma de decisiones preventivas.
- Cuarto:** Si bien las concentraciones registradas cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental, se recomienda que EPS SEDACUSCO S.A., en coordinación con el MINAM realizar acciones preventivas desde la ingeniería, como el mantenimiento adecuado de las unidades de tratamiento, ya que los picos de ciertas sustancias pueden generar molestias en la población cercana.

Tabla 60: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cuál es la relación entre la distribución del modelo de dispersión atmosférica a nivel del suelo y la concentración de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?	Determinar la relación entre la distribución del modelo de dispersión atmosférica a nivel del suelo y la concentración de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.	La relación es significativa entre la distribución del modelo de dispersión atmosférica a nivel del suelo y la concentración de sustancias odoríferas emitidas por la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.	VARIABLES INTERVINIENTES DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Condiciones meteorológicas Fuente Distribución atmosférica temporal	<u>Enfoque:</u> Cuantitativo <u>Alcance:</u> Descriptivo <u>Diseño:</u> No Experimental Transversal <u>Población de Estudio:</u> Variación temporal y espacial de las sustancias odoríferas <u>Muestra:</u> Tipo no Probabilística <u>Técnicas:</u> --Mediciones de emisión de sustancias odoríferas (DENTRO DE LA PTAR EN TODO LOS ELEMENTOS) --Obtención de datos topográficos	<u>Población</u> El conjunto total de concentraciones y la dispersión atmosférica de las sustancias odoríferas (H ₂ S, NH ₃ , O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , Cl ₂ y CO) emitidas por la PTAR San Jerónimo, en su área de influencia y durante el periodo de estudio. <u>Muestra:</u> Los registros horarios de concentración y los resultados del modelamiento de dispersión atmosférica de las siete sustancias odoríferas, obtenidos en puntos en la PTAR San Jerónimo, durante el periodo 2024.
¿Cómo es la distribución atmosférica temporal de las sustancias odoríferas a nivel del suelo en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?	Analizar la distribución atmosférica temporal de las sustancias odoríferas a nivel del suelo en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.	La distribución atmosférica temporal de las sustancias odoríferas es no homogénea a nivel del suelo en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.	CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS Sustancias odoríferas		

¿Cuál es la relación entre la distribución atmosférica temporal y Límites Máximos Permisibles en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?	Determinar la relación entre la distribución atmosférica temporal y Límites Máximos Permisibles en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.	La distribución atmosférica temporal es menor que los Límites Máximos Permisibles en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.	Distribución espacial	(LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO)
			Límites Máximos Permisibles	Obtención de datos meteorológicos (MEDICIÓN DENTRO DE LA PTAR Y ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE K'ayra)
				Modelación en software (AERMOD 8.9.0 VIEW)
¿Cuál es el grado de correlación entre la distribución atmosférica temporal y la concentración de sustancias odoríferas en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024?	Determinar el grado de correlación entre la distribución atmosférica temporal y la concentración de sustancias odoríferas en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.	El grado de correlación es significativa entre la distribución atmosférica temporal y la concentración de sustancias odoríferas en la PTAR San Jerónimo - Cusco, 2024.		Medición de la concentración de Sustancias odoríferas en la cuenca (ESTACIONES DE MONITOREO FUERA DLA PTAR)
				Revisión Bibliográfica (Normas)
				<u>Instrumentos:</u>
			Detectores Monagas	
			Google Earth	
			Estación meteorológica	
			Software AERMOD 8.9.0	
			Reglamentos Nacionales e internacionales	

Nota: *Elaboración propia*

Tabla 61: *Matriz de instrumento*

VARIABLE	INSTRUMENTO	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA	MODELO AERMOD 8.9.0	Modelamiento Topográfico	Software AERMOD 8.9.0 VIEW	Gratuito
			Google Earth	Gratuito
			Temperatura: Termómetro.	
			Velocidad del viento: Anemómetro.	
		Modelamiento meteorológico	Dirección del viento: Veleta o anemoscopio.	Registros de Seda Cusco y de la Estación meteorológica de Kayra del año 2023 a la escala horaria.
			Humedad Relativa: Higrómetro.	
			Radiación Solar: Piranómetro o radiómetro.	
			Presión Atmosférica: Barómetro.	
			Precipitación: Pluviómetro.	
			Tasas de emisión dentro de la PTAR Kayra definidos en el inventario de emisiones	Registros de emisión del año 2024 a la escala horaria
			Puntos de Monitoreo dentro de la PTAR San Jerónimo	
CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS	ESTACIÓN DE MONITOREO	Concentración de sustancias odoríferas en las estaciones de monitoreo	Estación de Monitoreo fuera de la PTAR San Jerónimo	Registros de concentración de año 2024 a la escala horaria

Nota: *Elaboración propia*

REFERENCIAS

- (s.f.). Recuperado el 28 de August de 2024, de División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQ-Ácido Sulfhídrico: <https://lacounty.gov/wp-content/uploads/2022/03/Hydrogen-Sulfide-ToxFAQs-SPANISH.pdf>
- AMBIENTE, M. D. (s.f.). *Sistema Nacional de Información Ambiental*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/153.pdf>
- Autoridad nacional del agua - ANA. (s.f.). *ley de recursos hídricos*. Recuperado el 21 de August de 2024, de Untitled: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1410225/RJ%20151-2020-ANA.pdf>
- Calvo Gutierrez, J., & Hernández Parra, D. (2016). *Mitigación de malos olores generados en plantas de tratamiento de aguas residuales: Estudio de caso El Roble de Puntarenas*.
- Definición de amoníaco - Diccionario de cáncer del NCI - NCI*. (s.f.). Recuperado el 28 de August de 2024, de National Cancer Institute: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/amoniac>
- García, G. (s.f.). *Metodología de La Investigacion (Avila 2006) PDF | PDF | Teoría | Science*. Recuperado el 28 de August de 2024, de Scribd: <https://es.scribd.com/document/405299630/METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-AVILA-2006-pdf>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Recuperado el 22 de August de 2024, de Academia.edu:

https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez_R_2014_Metodologia_de_la_Investigacion?auto=download

Huaynatis Inga, N. R. (2019). *Modelamiento de la dispersión de gases utilizando el Aermod versión 8.9 y su relación con los parámetros meteorológicos del Centro Poblado Santa Maria de Huachipa, 2019.*

Medio Ambiente, S. R. (2020). *Fuentes de Área Manejo de Residuos*. Mexico. Obtenido de <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/aire/inem/6..Manejo.de.residuos.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s.f.). *OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS n° 022-2009*. Recuperado el 26 de September de 2024, de NORMA OS.090: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686395/OS.090%20Plantas%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20DS%20n%C2%B0%20022-2009.pdf?v=1641411306>

ministerio del ambient, 2. (7 de June de 2017). *MINISTERIO DEL AMBIENTE*. Recuperado el 28 de August de 2024, de Digesa: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017-MINAM.pdf>

Mtra. Gutierrez Acuña, Y. (s.f.). *IMPACTO DE LAS SUSTANCIAS ODORANTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) SAN JERONIMO EN LA CALIDAD AMBIENTAL PARA EL TRABAJO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO 2020*. Obtenido de https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4366/Yeni_Tesis_d_octor_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales. (s.f.). Recuperado el 28 de August de 2024, de NORMA OS.090 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:

https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf

Ordoñez, J. J. (s.f.). *¿QUÉ ES CUENCA HIDRÓLOGICA?* Recuperado el 21 de August de 2024, de GWP.org: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Organización mundial de la salud -OMS. (s.f.). Recuperado el 21 de August de 2024, de LA CALIDAD DEL AIRE: https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/infografia_1_web_tcm30-564732.pdf

Quispe Chavez, E. H. (2021). *MODELAMIENTO DE LA DISPERSIÓN GEOGRAFICA DE PM10 PRODUCIDO POR EL SECTOR LADRILLERO UTILIZANDO EL SOFTWARE AERMOD VIEW EN EL DISTRITO DE SAN JERONIMO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO 2018.*

salvatierra madera, g. (2020). *AFECCIÓN DE LOS DERECHOS FUNDAMENTALES POR LOS OLORES EMITIDOS POR LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QOLLANA, EN LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO, PERIODO AGOSTO - DICIEMBRE 2019.*

Santamaría, J. (s.f.). *La cartografía y las proyecciones cartográficas.* Recuperado el 22 de August de 2024, de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/492575.pdf>

Silva Barros, I. M. (2019). *Percepción poblacional de la contaminación ambiental generada por la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) Totorá, Huamanga - Ayacucho*.

Universidad de Colima. (s.f.). *Ingeniería Civil*. Recuperado el 22 de August de 2024, de Facultad de Ingeniería Civil: <https://portal.ucol.mx/fic/topo05.htm>

Universidad de Sevilla. (s.f.). *fundamentos de la topografía*.

Universitat Jaume I, D.L. (2018). *Depuración de aguas residuales: digestión anaerobia*. Recuperado el 28 de August de 2024, de Repositori UJI: https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173363/Chiva_2018_Depuracion.pdf

ZUÑIGA, M. E. (ABRIL de 2016). *REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÈCNICA SALESIANA*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12045/1/UPS-CT005868.pdf>

CAPÍTULO ANEXOS

Figura 329: Carta formal de solicitud dirigida al director Zonal del SENAMHI Cusco, facilidades para la obtención de datos hidrometeorológicos para el estudio de modelamiento aerodinámico.

Señor(a)

DIRECTOR(A) ZONAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERU – SENAMHI

Presente. -

Yo **ELVIS GERILLO MACHACCA** identificado con DNI: 74628268, con domicilio **AVENIDA PICOL S/N**, con número de celular: 931115270 y correo: 182147@unsaac.edu.pe y **FRANCKLIN GUTIERREZ PUMA** identificado con DNI: 74828410, con domicilio **C.C. CCOLLANA S/N**, con número de celular: 931690412 y correo: 140879@unsaac.edu.pe. Ambos bachilleres de la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**, pertenecientes a la carrera profesional de **INGENIERIA CIVIL**.

Ante usted nos presentamos y exponemos;

Que, para poder continuar la elaboración de nuestra, con nombre: **"MODELAMIENTO AERODINÁMICO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CUENCA DEL RÍO HUATANAY SECTOR GRANJA KAYRA - CUSCO, 2024"**, se nos brinde datos meteorológicos.

Solicito la siguiente información:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS
K'ayra	Precipitación	Diaria	2019;2020;2021;2022;2023;2024
	Temperatura del aire	Diaria	2019;2020;2021;2022;2023;2024
	Radiación Solar	Diaria	2019;2020;2021;2022;2023;2024
	Velocidad del viento	Diaria	2019;2020;2021;2022;2023;2024
	Dirección del Viento	Diaria	2019;2020;2021;2022;2023;2024
	Humedad relativa	Diaria	2019;2020;2021;2022;2023;2024
	Presión atmosférica	Diaria	2019;2020;2021;2022;2023;2024

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

19 Septiembre
Cusco, de del 2024


Elvis Gerillo Machacca

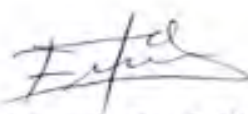

FRANCKLIN GUTIERREZ PUMA
.....
Firma del Usuario

Figura 330: Carta institucional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, solicitando facilidades para el desarrollo de tesis

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
• APARTADO POSTAL N° 931 - Cusco - Perú • FAX 20016150173-210111 • RECTORADO Calle Tiqui N° 317 Teléfono: 221271 - 224001 - 25390	• CIUDAD UNIVERSITARIA Av. De la Cultura N° 731 - Teléfono: 224001 - 221271 - 22379 - 22175 - 252210 • CENTRAL TELEFÓNICA: 252900 - 252210 - 240000 - 240000 - 240000 - 240000 • LOCAL CENTRAL Plaza de Armas s/n Teléfono: 221271 - 224001 - 25390	• MISMO INCA Carrera del Almirante N° 100 - Teléfono: 227300 • CENTRO AGROPECUARIO DE KATYA San Jerónimo s/n Cusco. Teléfono: 277140-277340 • COLEGIO "PORTUARIANO L. HERRERA" Av. De la Cultura N° 731 "Escuela Universitaria" - Teléfono: 221271

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Cusco, 17 de septiembre del 2024.

Carta N° 352 -2024-FIC-UNSAAC/SENAMHI

Ing.: **Zenón Huamán Gutierrez**
Director zonal de la dirección zonal 12 del SENAMHI Cusco

Asunto: solicita facilidades para el desarrollo de tesis.

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted, con la finalidad de presentar a nuestro(as) alumno(as), egresados de la escuela profesional de ingeniería civil, Don(ña): **Elvis Gerillo Machacca** con Nro. DNI 74628268 y código universitario Nro. 182147 y Don(ña): **Francklin Gutierrez Puma** con Nro. DNI 74828410 y código universitario Nro. 140879, quienes requieren contar con las finalidades para el desarrollo de su proyecto de investigación intitulada **"MODELAMIENTO AERODINÁMICO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CUENCA DEL RÍO HUATANAY SECTOR GRANJA KAYRA - CUSCO, 2024"**, por parte de su representada, para obtener certificado de registro de datos meteorológicos (precipitación horarios, temperatura del aire horaria, velocidad y dirección del viento horario, radiación solar, humedad relativa y presión atmosférica).

En este sentido, me permito solicitarle tenga a bien disponer se brinden las facilidades necesarias a efecto de que los tesisistas logren su cometido.

Agradecimiento anticipadamente por su atención al presente, sin otro particular aprovecho de la ocasión para expresarle mis consideraciones más distinguidas.

Se adjunta las constancias de egresados de los interesados

Atentamente:



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 DR. ING. JOSÉ FRANCISCO SERRANO FLORES
 DECANO

-archivo
-JFSF/ntch

FOTOGRAFÍAS

Registros de Campo, Datos Meteorológicos 2024

Figura 331: *Visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de káyra – Distrito de San Jerónimo -Cusco.*



Figura 332: *Punto de monitoreo 01: Identificación del lugar de estudio en las inmediaciones de la planta San Jerónimo, con cartel de registro para tesis.*



Figura 333: *Punto de monitoreo 02 (vista lejana): Validación del punto de evaluación con visibilidad del entorno ambiental inmediato.*



Figura 334: *Punto de monitoreo 03: Registro fotográfico de la ubicación para medición de gases en zona de obras – perímetro externo.*



Figura 335: *Punto de monitoreo 02: Sector con malla de contención y presencia de vegetación seca, donde se realizó recolección de datos.*



Figura 336: *Punto de monitoreo 03: Registro de muestra en campo por integrante del equipo, con cartel de identificación.*



Figura 337: *Punto de monitoreo 03: Actividad de toma de datos en zona vegetada, con visibilidad de cartel de tesis en base de piedra.*



Figura 338 : *Registro de identificación en punto de monitoreo N° 01. Verificación del área de influencia directa en inmediaciones de la planta San Jerónimo.*



Figura 339: Punto de monitoreo N° 04:

Levantamiento de datos en zona verde colindante al cauce del río, en el entorno de la planta.



Figura 340: Verificación del sitio de

muestreo N° 01 en la zona externa de la planta, con participantes del estudio de campo.



Figura 341: Punto de monitoreo N° 03:

Recolección de datos en área vegetada, correspondiente al estudio de sustancias odoríferas.




Figura 342: Solicitud de datos

meteorológicos



Figura 343: Convenio de autorización entre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Jerónimo y Tesistas de la Universidad.



CONVENIO N° -2024-GG-EPS.SEDACUSCO

CONVENIO DE COOPERACIÓN ESPECÍFICO PARA LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL "RELACION DEL MODELAMIENTO DE DISPERSION ATMOSFERICA Y CONCENTRACION DE SUSTANCIAS ODORIFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERONIMO – CUSCO, 2024"

Conste por el presente documento, el **CONVENIO DE COOPERACIÓN ESPECÍFICO PARA LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO** titulada "RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFERICA Y CONCENTRACION DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERONIMO – CUSCO, 2024", que celebran de una parte LA EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO PUBLICA DE ACCIONARIADO MUNICIPAL SEDACUSCO S.A., con RUC N° 20136353315, con domicilio en el inmueble N° 364 de la Av. Anselmo Álvarez, del distrito de Wanchaq, provincia y departamento del Cusco, representado por su Gerente General Ing. **DANIEL DANCOURT VELÁSQUEZ**, identificado con DNI N° 23952169, a quien en adelante se le denominará "LA EPS" y de otra parte el Bachiller **ELVIS GERILLO MACHACCA**, identificada con DNI N° 74628268 con domicilio en el Barrio Valdivieso Bueno S/N del distrito y provincia de Paucartambo del departamento del Cusco y el Bachiller **FRANCKLIN GUTIERREZ PUMA** identificado con DNI N° 74828410, con domicilio en el Barrio Abajo S/N del distrito de Ccatcca Provincia de Quispicanchi y departamento del Cusco, que en adelante se denominarán "LOS TESISISTAS".

CLÁUSULA PRIMERA: DE LAS PARTES

LA EPS, tiene por objeto realizar todas las actividades vinculadas a la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado en el ámbito de su administración y responsabilidad, aplicando políticas de desarrollo, control, operación, mantenimiento, planificación, financiación, normatividad, preparación de proyectos, ejecución de obras, supervisión, asesoría y asistencia técnica de conformidad al Decreto Legislativo N° 1280 Decreto Legislativo que aprueba la Ley del Servicio Universal de Agua Potable y Saneamiento, modificado por el Decreto Legislativo N° 1620 y su Estatuto Social

LOS TESISISTAS: Egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, vienen formulando su tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el tema titulado "RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERONIMO - CUSCO"

CLÁUSULA SEGUNDA: BASE LEGAL

- ✓ Constitución Política del Perú.
- ✓ Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley del Servicio Universal de Agua Potable y Saneamiento, modificado mediante el Decreto Legislativo N° 1620.
- ✓ D. S. N° 016-2021-VIVIENDA, que aprueba el Texto Único Ordenado del Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280.
- ✓ Ley Marco de Modernización de la Gestión del Estado Ley N° 27658.
- ✓ Ley N° 30220, Ley Universitaria.







Figura 344: Carta de presentación del Decano de la Facultad ante la PTAR San Jerónimo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
<ul style="list-style-type: none"> • APARTADO POSTAL N° 821 Cusco - Peru • FAX: 22613423/22613423 • RECTORADO Calle Tigu Nº 231 Teléfonos: 222373 - 224882 - 25388 	<ul style="list-style-type: none"> • CIUDAD UNIVERSITARIA Av. De la Cultura Nº 733 - Teléfonos: 222861 - 222812 - 222878 - 222879 - 222819 • CENTRAL TELEFONICA 222788 - 222218 - 243838 - 243839 - 243838 • LOCAL CENTRAL Plaza de Armas 1/8 Teléfonos: 222273 - 224882 - 243788 	<ul style="list-style-type: none"> • MUSEO INCA Casco del Almirante Nº 181 - Teléfono: 227388 • CENTRO AGRONÓMICO DE KAYRA San Jerónimo vía Cusco. Teléfonos: 277148-277246 • COLEGIO "FORTUNATO L. HILPERIA" Av. De la Cultura Nº 721 "Estudio Universitario" - Teléfono: 227192

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Cusco, 11 de septiembre del 2024.

Carta N° 002 -2024-FIC-UNSAAC/FAZ-UNSAAC

CARGO

Ing.: YABEL SILVA GUEVARA
Gerente general de seda cusco

Asunto: solicita facilidades para el desarrollo de tesis

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted, con la finalidad de presentar a nuestro(as) alumno(as), egresados de la escuela profesional de ingeniería civil, Don(ña): **Elvis Gerillo Machacca** con código universitario **Nro. 182147** y Don(ña): **Francklin Gutierrez Puma** con código universitario **Nro. 140879**, quienes requieren contar con las facilidades para el desarrollo de su proyecto de investigación intitulada **"MODELAMIENTO AERODINÁMICO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CUENCA DEL RÍO HUATANAY SECTOR GRANJA KAYRA - CUSCO, 2024"**, por parte de su representada, para acceso dentro de la planta con fines de toma de datos (identificación de focos de emisión de sustancias odoríferas).

En este sentido, me permito solicitarle tenga a bien disponer se brinden las facilidades necesarias a efecto de que los tesisistas logren su cometido.

Agradecimiento anticipadamente por su atención al presente, sin otro particular aprovecho de la ocasión para expresarle mis consideraciones más distinguidas.

Se adjunta las constancias de egresados de los interesados

EXP: 5850

FECHA: 18 SEP 2024

10:50

Atentamente;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

.....

M. Sc. Ing. JOSE FRANCISCO SERRANO FLORES

DECANO

Conce: 140879 @ gmsaol.edu.pe

182147 @ unsaac.edu.pe

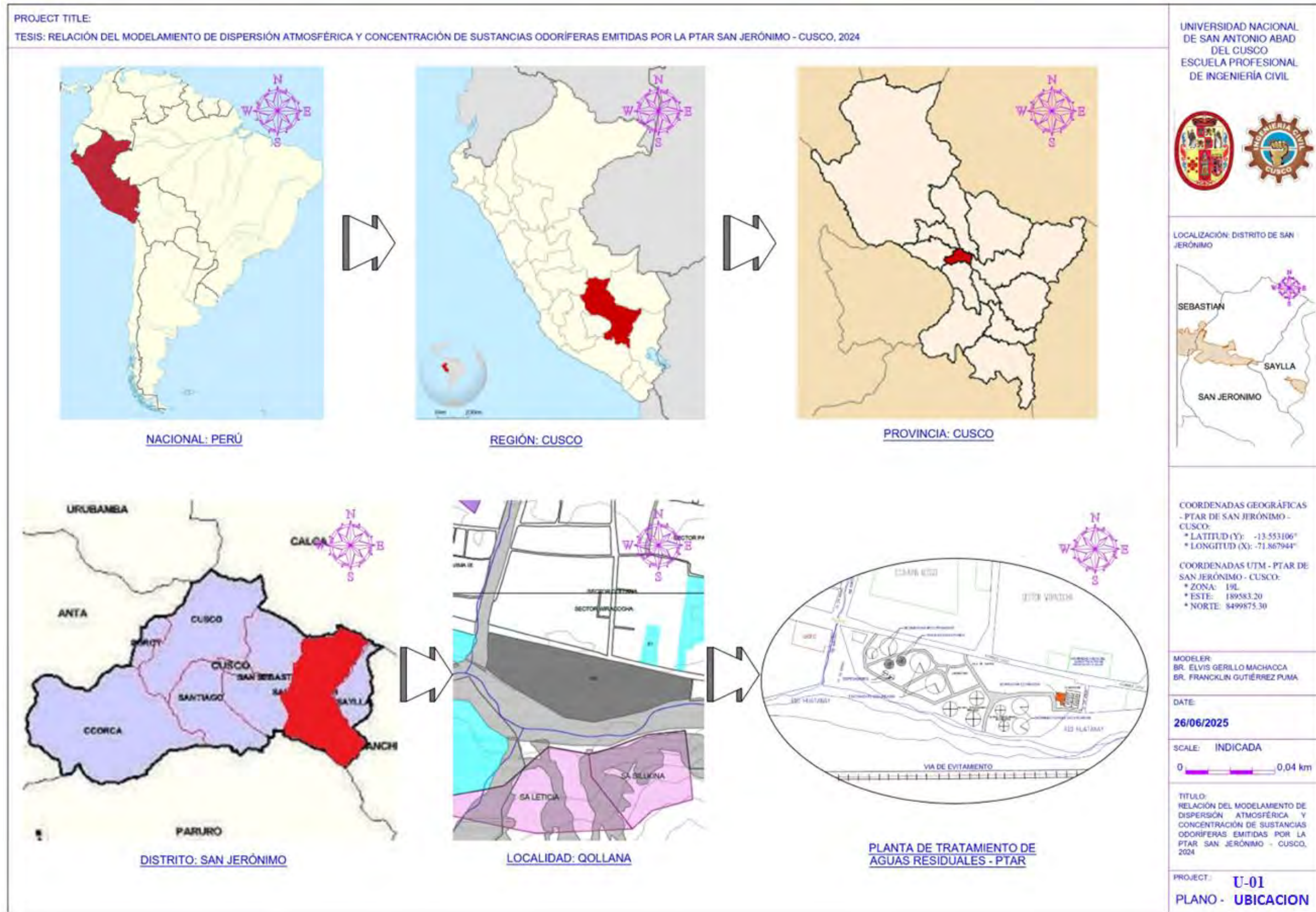
-archivo

-JFSF/ntch

RELACION DE PLANOS

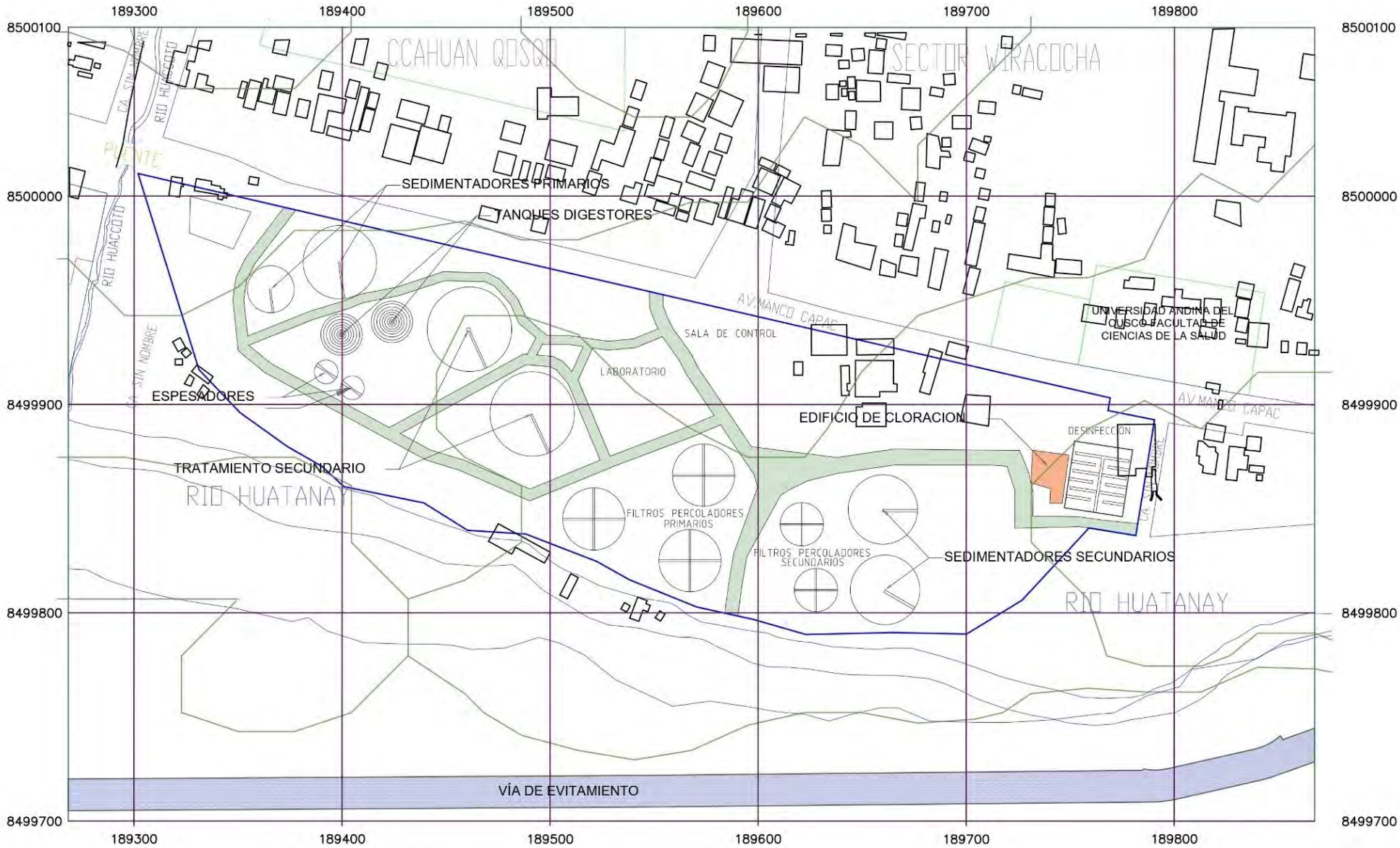
- Plano (U-01): Plano de Ubicación del lugar de estudio
- Plano (L-01): Plano de Localización del lugar de estudio
- Plano (PG-01): Plano general de la PTAR – San Jerónimo
- Plano (AEL-01): Plano de delimitación de área de estudio
- Plano (DF-01): Plano de diagrama de flujo de la PTAR
- Plano (M-01): Plano de Información meteorológica: vientos – dirección y velocidad

Plano 1: Plano de Localización del Lugar de Estudio



Plano 2: Plano general de la PTAR – San Jerónimo

PROJECT TITLE:
TESIS: RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024



PLANO GENERAL PTAR DE SAN JERÓNIMO - CUSCO

ZONIFICACIÓN : ZU (ZONA URBANA)	
SECTOR: (K'AYRA)	
DEPARTAMENTO	: CUSCO
PROVINCIA	: CUSCO
DISTRITO	: SAN JERONIMO
CC.PP.	: CC.IH. K'AYRA
SECTOR	: 8
MANZANA	: N
LOTE	: 4
SUBLOTE	: -----
LUGAR	: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

UNIDADES DE TRATAMIENTO DE LA PTAR - SAN JERÓNIMO					
ITEMS	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS (E; N)	ITEMS	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS (E; N)
1	Sedimentador Primario	(189418.30 mE; 8499969.43 m S)	6	Espesador 01	(189425.48 mE; 8499881.22 m S)
2	Sedimentador Primario	(189369.93 mE; 8499945.24 m S)	7	Deshidratador	(189473.33 mE; 8499883.07 m S)
3	Tanque de almacenamiento de lodos	(189439.75 mE; 8499930.53 m S)	8	Percoladores Primario 01	(189559.26 mE; 8499836.50 m S)
4	Digestor Anaeróbico	(189406.39 mE; 8499925.79 m S)	9	Percoladores Primario 02	(189600.16 mE; 8499842.00 m S)
5	Espesador 01	(189406.34 mE; 8499892.03 m S)	10	Percoladores Primario 03	(189580.21 mE; 8499804.33 m S)
			11	Desinfección	(189858.37 mE; 8499870.86 m S)

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL



LOCALIZACIÓN: DISTRITO DE SAN
JERÓNIMO



COORDENADAS GEOGRÁFICAS
- PTAR DE SAN JERÓNIMO -
CUSCO:
* LATITUD (Y): -13.553106°
* LONGITUD (X): -71.867944°

COORDENADAS UTM - PTAR DE
SAN JERÓNIMO - CUSCO:
* ZONA: 19L
* ESTE: 189583.20
* NORTE: 8499875.30

MODELER:
BR. ELVIS GERILLO MACHACCA
BR. FRANCKLIN GUTIÉRREZ PUMA

DATE:
26/06/2025

SCALE: INDICADA
0 0,04 km

TITULO:
RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE
DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y
CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS
ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA
PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO,
2024

PROJECT.: PG 1
PLANO GENERAL DE PTAR

Plano 3: Plano de delimitación de área de estudio

PROJECT TITLE:

TESIS: RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL



LOCALIZACIÓN: DISTRITO DE SAN
JERÓNIMO



COORDENADAS GEOGRÁFICAS
- PTAR DE SAN JERÓNIMO -
CUSCO:
* LATITUD (Y): -13.553106°
* LONGITUD (X): -71.867944°

COORDENADAS UTM - PTAR DE
SAN JERÓNIMO - CUSCO:
* ZONA: 19L
* ESTE: 189583.20
* NORTE: 8499875.30

MODELER:
BR. ELVIS GERILLO MACHACCA
BR. FRANCKLIN GUTIÉRREZ PUMA

DATE:

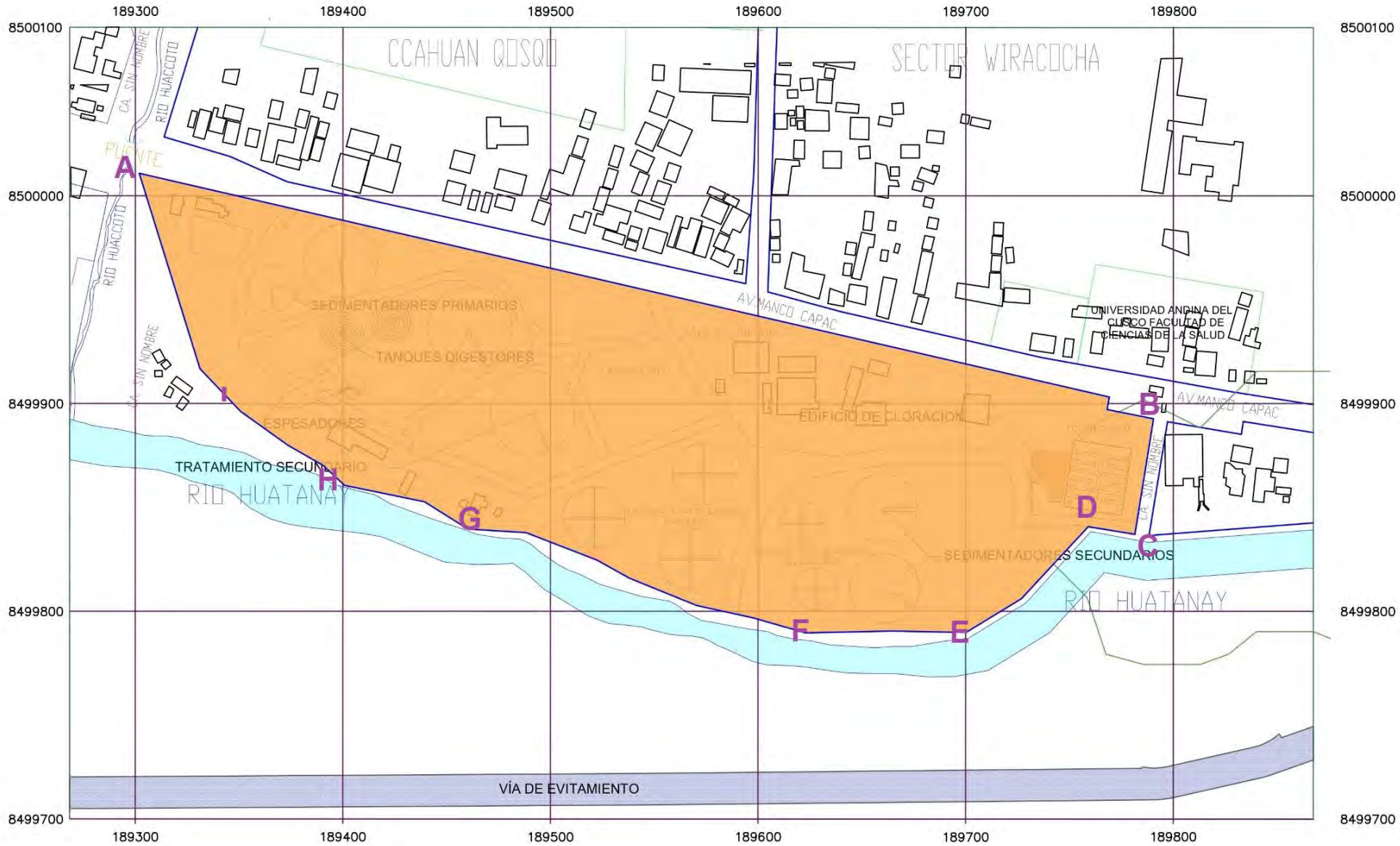
26/06/2025

SCALE: INDICADA

0 0,04 km

TITULO:
RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE
DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y
CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS
ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA
PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO,
2024

PROJECT.: AE1
PLANO DE LIMITACION DE
AREA DE ESTUDIO



COORDENADAS UTM DE LIMITACIONES		
VERTICE	X (m)	Y (m)
A	189310.31	8500035.77
B	189865.00	8499899.00
C	189874.24	8499832.16
D	189839.36	8499836.87
E	189620.85	8499730.91
F	189624.21	8499762.85
G	189463.36	8499767.08
H	189372.98	8499809.11
I	189333.82	8499858.02

PLANO DE DELIMITACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

ZONIFICACIÓN	: ZU (ZONA URBANA)
SECTOR :	(K'AYRA)
DEPARTAMENTO	: CUSCO
PROVINCIA	: CUSCO
DISTRITO	: SAN JERONIMO
CC.PP.	: CC.HH. K'AYRA
SECTOR	: 8
MANZANA	: N
LOTE	: 4
SUBLOTE	: -----
LUGAR	: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

LIMITES DE AREA DE ESTUDIO		
	PARAMETROS	P.T.A.R.
ESTE	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y CALLE S/N	
OESTE	RIO HUACCOTO, GRIFO EN AV. MANCO CAPAC Y LIMITACION INDIRECTA CON TERRENO DE L UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO GRANJA K'AYRA	
NORTE	LIMITACIÓN DIRECTA CON AV. MANCO INCA E INDIRECTA CON LOS SECTORES CCAHUANQOSQO Y WIRAQOCHA	
SUR	RIO HUATANAY.	

Plano 4: Plano de diagrama de flujo

PROJECT TITLE:

TESIS: RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL



LOCALIZACIÓN:
DISTRITO: SAN JERÓNIMO
DEPARTAMENTO: CUSCO
PAIS: PERÚ



COORDENADAS GEOGRÁFICAS
- PTAR DE SAN JERÓNIMO -
CUSCO:
* LATITUD (Y): -13.553106°
* LONGITUD (X): -71.867944°

COORDENADAS UTM - PTAR DE
SAN JERÓNIMO - CUSCO:
* ZONA: 19L
* ESTE: 189583.20
* NORTE: 8499875.30

MODELER:
BR. ELVIS GERILLO MACHACCA
BR. FRANKLIN GUTIÉRREZ PUMA

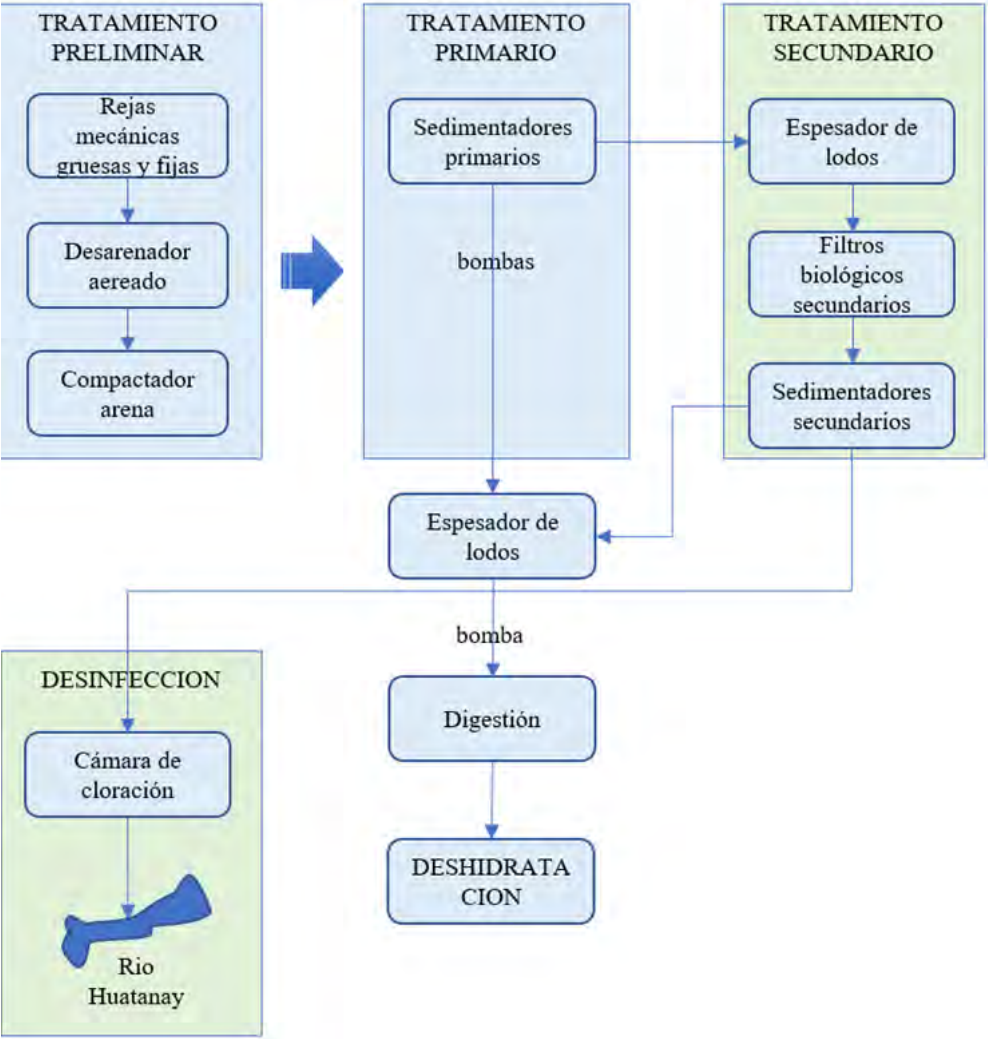
DATE:
26/06/2025

SCALE: INDICADA
0 0,04 km

TITULO:
RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE
DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y
CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS
ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA
PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO,
2024

plano:
diagrama de flujo de
la PTAR

LAMINA:
DF-01



FLUJOGRAMA DE SUB TRATAMIENTOS – PTAR
DE SAN JERÓNIMO CUSCO

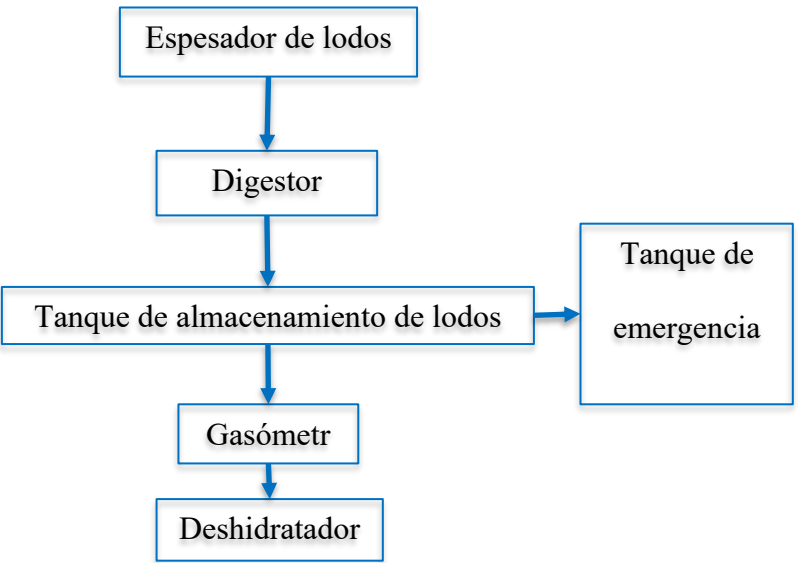


DIAGRAMA DE LÍNEA DE LODOS

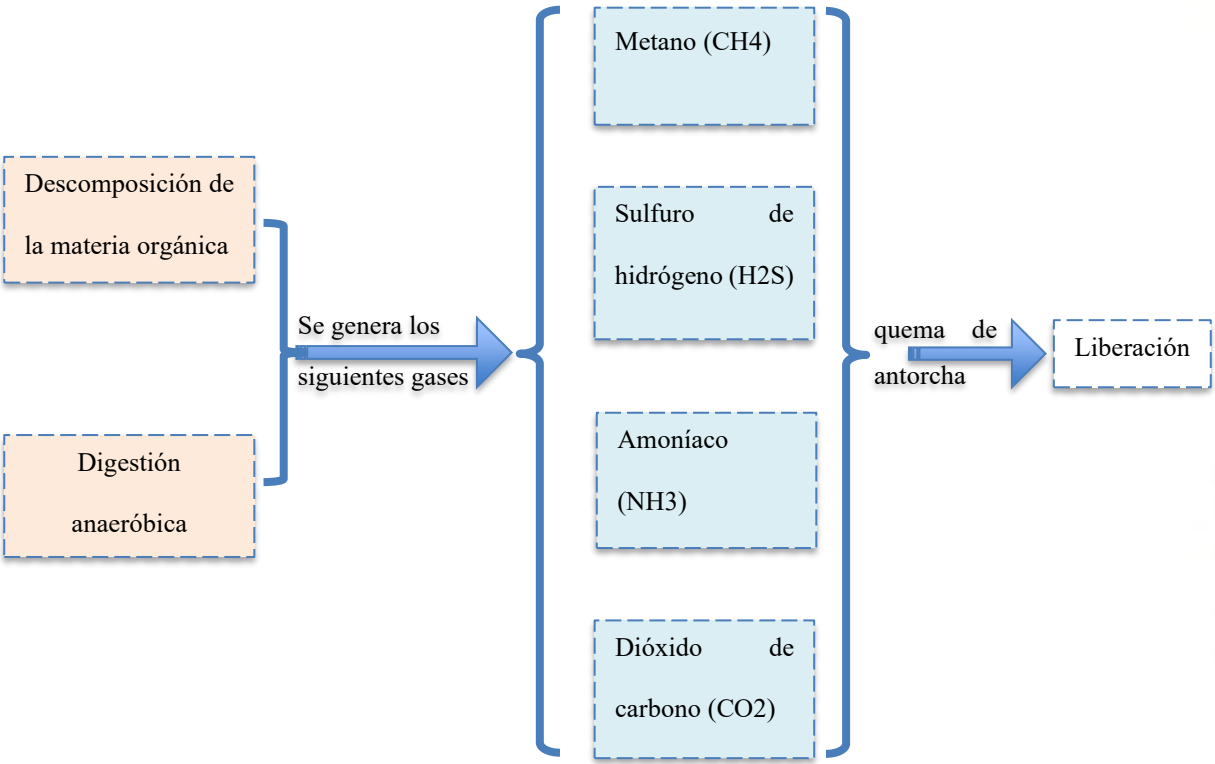


DIAGRAMA DE LÍNEA DE GASES

Plano 5: Plano de Información meteorológica: vientos – dirección y velocidad

PROJECT TITLE:
TESIS: RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL



LOCALIZACIÓN:
DISTRITO: SAN JERÓNIMO
DEPARTAMENTO: CUSCO
PAIS: PERÚ



COORDENADAS GEOGRÁFICAS
- PTAR DE SAN JERÓNIMO -
CUSCO:
* LATITUD (Y): -13.553106°
* LONGITUD (X): -71.867944°

COORDENADAS UTM - PTAR DE
SAN JERÓNIMO - CUSCO:
* ZONA: 19L
* ESTE: 189583.20
* NORTE: 8499875.30

MODELER:
BR. ELVIS GERILLO MACHACCA
BR. FRANKLIN GUTIÉRREZ PUMA

DATE:

26/10/2025

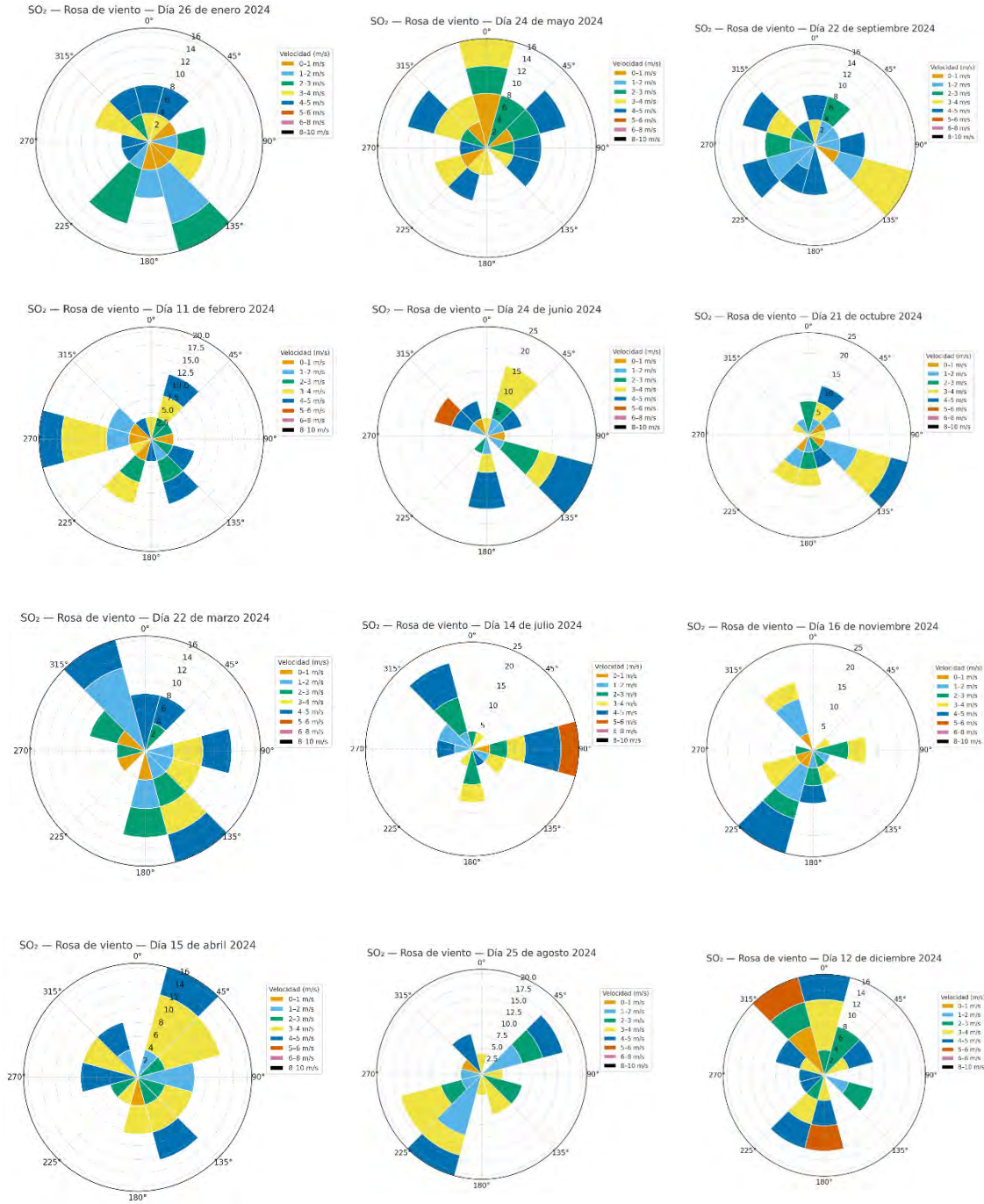
SCALE: INDICADA

0 0,04 km

TITULO:
RELACIÓN DEL MODELAMIENTO DE
DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y
CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS
ODORÍFERAS EMITIDAS POR LA
PTAR SAN JERÓNIMO - CUSCO,
2024

plano:
INFORMACION
METEOROLÓGICA

LAMINA:
M-01



DIRECCION DE VIENTOS: ENERO – DICIEMBRE 2024

VELOCIDAD DE VIENTOS: ENERO – DICIEMBRE 2024

Tabla 62: Registro de Datos Meteorológicos del 2024 en la escala Diaria por SENAMHI.

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	1	1	77.9	2.1	694.9	0.3	20.2	10	C	N	C	1.3
607	52	2024	1	2	80.5	4.1	695	2.6	20.4	8.7	C	C	C	0
607	52	2024	1	3	77.8	0	695.9	19.7	21.4	8.2	C	SSE	C	1.3
607	52	2024	1	4	78	0	697	0.8	22.4	9	C	S	C	1.3
607	52	2024	1	5	73.6	0	696	0	22.6	8.5	C	NNE	NE	3.3
607	52	2024	1	6	75.8	2	695.4	0	22.8	9.2	C	S	C	1.3
607	52	2024	1	7	78.7	8.5	696.6	0	24.2	9	C	C	C	0
607	52	2024	1	8	78.8	10.4	696.2	0	24.8	5	C	SW	C	2.7
607	52	2024	1	9	77.3	7.1	692.9	0	25	5	C	SW	NE	2
607	52	2024	1	10	70.9	8.4	695.7	0	24.6	5.2	C	N	C	0.7
607	52	2024	1	11	100	0	696	0.8	23.5	6.2	C	C	C	0
607	52	2024	1	12	74	4	696.2	11.7	22.4	4.5	C	NE	N	3.3
607	52	2024	1	13		1.9	695.7	0	23.6	8	C	ENE	C	2
607	52	2024	1	14	74.1	7.3	697.1	0	22.4	7	C	NNE	C	2
607	52	2024	1	15		1.8	697.3	0	23.8	6.5	C	NNE	C	0.7
607	52	2024	1	16	68.7	5.6	698.2	0	25.2	8.5	C	SSW	C	1.3
607	52	2024	1	17	76.8	1.5	695.9	7.2	22	8.5	C	C	C	0
607	52	2024	1	18		2.2	696.1	0.6	21	10.5	C	SSW	SE	2.7
607	52	2024	1	19	71.5	0	695.2	0.2	21.6	8	SSW	WSW	WSW	3.3
607	52	2024	1	20	80.8	1.5	695.9	0	22.8	8.2	C	NNW	NW	1.3
607	52	2024	1	21	78.4	8.4	696.9	0	24	7.8	C	NW	C	1.3
607	52	2024	1	22	72.6	6.5	696	0	22.6	5.5	C	SW	C	1.3
607	52	2024	1	23	72.8	3	697.9	2.5	25.2	8.2	C	SSE	SW	4
607	52	2024	1	24	73.6	7	695.1	1.6	23	10	C	ESE	SSE	2
607	52	2024	1	25	84.4	1.7	694	14	19.2	9	C	SSE	C	2
607	52	2024	1	26	73.5	0.5	696	0	23.4	9.5	C	C	SW	0.7
607	52	2024	1	27		0.4	696.1	0	21.2	10.6	C	SE	SE	2
607	52	2024	1	28	78	4.8	696.1	3.4	23.4	10	C	SW	C	0.7
607	52	2024	1	29	81.3	4	697.9	6.7	23.4	9.5	W	C	C	0.7
607	52	2024	1	30	76.8	8.4	697.9	0	24	8.5	C	C	C	0
607	52	2024	1	31	72.9	3.6	696	1.5	22.6	9.8	C	C	C	0
607	52	2024	2	1	82.9	1.4	696.5	2.4	22.6	9.5	C	NNE	NE	3.3
607	52	2024	2	2	77	2.5	698.1	0	22.2	9.5	W	C	C	1.3
607	52	2024	2	3	79.3	1.2	696	0.8	23.2	10.4	C	NE	NNE	3.3
607	52	2024	2	4	75.7	8.1	695.9	0	24.2	9.8	C	ENE	NNE	3.3
607	52	2024	2	5	81.4	6.9	695.9	5.2	22.4	7.5	NE	NE	N	3.3
607	52	2024	2	6	80.8	2.9	695.7	2	20.2	7.5	C	C	ENE	0.7
607	52	2024	2	7	80.3	3.6	695.3	12.3	20.2	8.4	C	SE	SE	2
607	52	2024	2	8	85.2	0	696	0.6	20.5	8	C	C	C	0
607	52	2024	2	9	80.1	0	698	10.1	21.2	8.4	C	SE	SW	2.7
607	52	2024	2	10	77.3	9.6	699.2	0	22.6	6.4	WSW	SW	C	2.7
607	52	2024	2	11	73.7	3	698.3	3.1	23	6.8	C	C	C	0

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	2	12	74.6	3.8	695.1	17.6	22.8	6.5	C	SW	NW	2.7
607	52	2024	2	13	80	1.5	697.8	6	22.2	7	S	S	C	1.3
607	52	2024	2	14	81.3	1.4	699	0	20	9	C	SW	SW	2
607	52	2024	2	15	79.3	5.8	698	0	24	8	C	C	NW	0.7
607	52	2024	2	16	80.2	6.6	699	0	21.8	7.5	C	C	SE	1.3
607	52	2024	2	17	75	4.7	695.8	0	23	7	C	SW	S	2
607	52	2024	2	18	77.1	9.3	696.7	1.7	23.2	8.2	C	C	SE	1.3
607	52	2024	2	19	80.5	1.8	698.7	5.6	22.8	9.4	C	C	SW	0.7
607	52	2024	2	20	77.9	0	694.9	3	19.8	8.2	C	C	SSW	0.7
607	52	2024	2	21		0	693.8	0	20.4	8.5	C	SW	C	1.3
607	52	2024	2	22	75	4.9	693.9	0	22	5.5	C	C	C	0
607	52	2024	2	23	72.7	0.7	694.6	3.7	21.2	6.8	C	C	C	0
607	52	2024	2	24	77.8	0	695.5	1	21.2	8.2	C	C	SW	0.7
607	52	2024	2	25		0	695.8	1.2	18	9.5	C	C	S	0.7
607	52	2024	2	26	85.5	1.3	696.1	10.8	18.4	8.6	C	C	C	0
607	52	2024	2	27	83.1	1.7	696.2	0	19.8	9	C	C	C	0
607	52	2024	2	28	73.9	3	695.2	0.2	21	8.6	C	SE	C	0.7
607	52	2024	2	29	83.8	1.8	696.4	0	20.2	8.5	C	SE	C	1.3
607	52	2024	3	1		0.1	696	0	21.2	9	WSW	SW	WSW	5.3
607	52	2024	3	2	76.7	2.5	696	0	21.4	8.2	C	SW	S	3.3
607	52	2024	3	3	74.4	1.2	695.1	10.6	23.4	6	C	NNW	C	1.3
607	52	2024	3	4		1.5	695.9	0.2	22.2	4.5	C	NE	N	1.3
607	52	2024	3	5	79.2	0.2	694.9	0	20	8.5	C	NW	N	2
607	52	2024	3	6	74	2.1	695.3	0	22.4	6.2	C	C	NNE	0.7
607	52	2024	3	7	77	6	696.1	0	21.8	8.2	C	S	C	1.3
607	52	2024	3	8		1.1	696.6	0	22.2	10	C	C	C	0
607	52	2024	3	9	80.8	10.7	696.6	0	22.4	7	C	W	WNW	2.7
607	52	2024	3	10	74.4	7.7	696.2	5.5	23.6	8.2	C	S	C	2
607	52	2024	3	11	74.3	5.4	696.8	0	23.4	7	C	C	C	0
607	52	2024	3	12	77.8	9.9	698.2	0	24.2	4.5	C	N	C	1.3
607	52	2024	3	13	75	7	698	4	23.6	4.5	C	SW	SW	2.7
607	52	2024	3	14		5.7	696	0	22.6	3.5	C	NW	N	2
607	52	2024	3	15	71.8	7.4	697.4	15.1	24.2	4.4	C	NE	C	3.3
607	52	2024	3	16	73.4	3.3	695.2	29	23.2	9	C	NNW	NW	3.3
607	52	2024	3	17	80.4	1.2	695.5	4.8	20	9.4	C	N	C	2
607	52	2024	3	18	82	2.4	695.8	0.2	19.2	10	C	N	N	2
607	52	2024	3	19	81.1	0	695.1	0	18.4	9.5	C	NW	N	3.3
607	52	2024	3	20	78.3	6.7	697	19.9	23.5	8.2	C	C	C	0
607	52	2024	3	21	79.1	1.7	695.4	7.7	22.6	6	C	NW	N	2
607	52	2024	3	22	76.9	0	696	2	22.6	8	C	NE	NW	2
607	52	2024	3	23	86.1	4.3	696	0	22.4	8	C	C	C	0
607	52	2024	3	24		5.3	694.5	0	24.2	7.5	C	NNW	C	1.3
607	52	2024	3	25	83.1	5.3	695	7.2	23.6	6.5	C	C	C	0
607	52	2024	3	26	79.7	2.2	695.9	10.1	19	9	C	N	N	2

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	3	27	81.3	1.2	695.8	7.9	19.2	8.8	C	C	N	0.7
607	52	2024	3	28	83.7	0	698.2	0.5	19.2	8.6	C	C	C	0
607	52	2024	3	29	72.1	0	696	0	20.2	7.6	C	C	C	0
607	52	2024	3	30		5.8	696.5	7.5	17.6	7.5	C	NNW	NNE	1.3
607	52	2024	3	31		1.3	695.3	1.3	20	7.8	C	C	C	0
607	52	2024	4	1	74.5	8	696.6	5.3	24.8	8.2	C	NNE	C	0.7
607	52	2024	4	2	84.3	5.4	693.5	20.1	20.5	10	C	SE	NNE	1.3
607	52	2024	4	3	85.8	0	693.5	5.7	21.5	5.5	C	SE	SSE	3.3
607	52	2024	4	4	81.9	4.5	695.5	5.8	21.8	5.5	C	NNE	C	1.3
607	52	2024	4	5	81.3	5.3	696.1	0	21.5	4.2	C	NNE	NE	2
607	52	2024	4	6	77.8	4.9	692.8	2.9	21.5	9	C	NNE	WSW	2
607	52	2024	4	7	78.7	6.3	693.5	1.4	23.4	8.5	C	C	N	0.7
607	52	2024	4	8	75	8.2	694.4	3.4	24	7.5	C	NNE	C	0.7
607	52	2024	4	9	78.2	2.5	694.4	0	22.5	9.6	C	C	C	0
607	52	2024	4	10	73.9	3	695.3	9	22.2	9.5	C	NE	C	1.3
607	52	2024	4	11	75	3.6	696	0.3	22	6.4	C	C	C	0
607	52	2024	4	12	79.6	4.9	694.5	1.8	21.5	6.4	C	NNE	NNE	4
607	52	2024	4	13	75.2	1.5	695.1	0	20.5	6	C	WNW	C	1.3
607	52	2024	4	14	75.5	7.8	692.6	0	23	5.5	C	SW	C	2
607	52	2024	4	15	71.9	10.2	694.1	0	23.2	3.2	C	ENE	C	0.7
607	52	2024	4	16	70.8	7.5	695.1	0	23.8	2.8	C	C	C	0
607	52	2024	4	17	75	5.5	696.5	0	22.2	2.4	C	NNE	ENE	2
607	52	2024	4	18	68.9	5.4	695.8	0	24.2	1.8	C	C	NNE	0.7
607	52	2024	4	19	75.9	4.6	695.1	0	23.8	1	C	NNW	C	1.3
607	52	2024	4	20	76.1	0	695.8	0	20.8	0	C	NE	C	2
607	52	2024	4	21	70.4	8.1	697.7	0.5	24.2	-4.5	C	SE	C	1.3
607	52	2024	4	22	71.4	6.4	694.4	0	25.2	-4	C	WNW	NNE	2.7
607	52	2024	4	23	71.6	0	694.5	0	24.2	1.4	C	N	C	0.7
607	52	2024	4	24	77.9	6.8	695.7	0	24	1	C	NNW	NNE	2.7
607	52	2024	4	25	76	6	695	0	25.5	0.5	C	NNE	NNE	4
607	52	2024	4	26	82	2.5	694.4	0	21.8	-1	C	NNW	NNE	2.7
607	52	2024	4	27	69.5	3	696	0	24.6	-2	C	NNE	NE	2
607	52	2024	4	28		0	693.9	0	23.4	-2.6	C	NNE	C	0.7
607	52	2024	4	29	77.9	6	696	0	21.6	-3.5	C	C	C	0
607	52	2024	4	30	74.8	5.5	695.4	0	23	3	C	C	C	0
607	52	2024	5	1	74.6	4.2	698.3	0	21.2	3	C	NE	C	2
607	52	2024	5	2	74	5.6	696.3	12.2	23.2	5.6	C	N	C	1.3
607	52	2024	5	3	80.6	4.7	697.9	0	21.8	8	C	C	C	0
607	52	2024	5	4	75.5	8.1	696.3	0	23.6	4	C	C	N	0.7
607	52	2024	5	5	76.3	8.7	696.8	0	24.6	1	C	NNE	C	1.3
607	52	2024	5	6	75.9	8.1	692.5	0	24.8	4.5	C	SSW	C	1.3
607	52	2024	5	7	80.2	2.8	694.3	2.4	24.5	5	C	N	C	1.3
607	52	2024	5	8	83.5	1.3	695.5	0	19.2	7.5	C	NE	C	3.7
607	52	2024	5	9	77.1	2.6	696.8	0	21.4	4	C	N	NNE	2

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	5	10	79.7	8.7	696.1	0	21.8	2	C	C	C	0
607	52	2024	5	11	74.7	9.8	696	0	25.2	3	C	C	C	0
607	52	2024	5	12	76.2	6.8	692.2	0	23.8	3.4	C	C	C	0
607	52	2024	5	13	68.9	0.8	692	0	24.2	2.5	C	N	C	0.7
607	52	2024	5	14	81.2	0	696.2	0	19.4	5	C	ESE	C	1.3
607	52	2024	5	15	73	6.3	696.2	0.2	23	6	C	C	C	0
607	52	2024	5	16	72	5.3	696.2	0	23.2	4	C	NNE	C	1.3
607	52	2024	5	17	78.8	7.1	696.1	0	22.6	5.6	SW	S	C	2
607	52	2024	5	18	70.4	9.2	695.1	0	25.6	4.2	C	NNE	N	1.3
607	52	2024	5	19	62.7	8.1	695.5	0	24.2	3	C	NW	C	0.7
607	52	2024	5	20	69.4	6.2	696	0	24.5	3	C	NE	C	1.3
607	52	2024	5	21	75.4	8.7	696.2	0	24.3	3	C	N	C	0.7
607	52	2024	5	22	72	9.7	700	0	24.5	2.5	C	C	C	0
607	52	2024	5	23	71.3	10	698.3	0	25.6	2	C	N	C	0.7
607	52	2024	5	24	71.3	6.3	699.2	0	24.8	1	C	C	C	0
607	52	2024	5	25	66.2	9.9	696.3	0	24.2	1.8	C	NNE	C	2
607	52	2024	5	26	66.3	8.1	694.8	0	24.8	0.1	C	N	C	0.7
607	52	2024	5	27	62.1	9.1	697	0	25.2	0	C	SE	C	2
607	52	2024	5	28	72.8	8.4	696.9	0	25.2	3.5	C	C	C	0
607	52	2024	5	29	70.2	9.4	699.4	0	24.6	0.5	C	C	C	0
607	52	2024	5	30	67.6	9.4	696.2	0	24.6	1.8	C	C	C	0
607	52	2024	5	31	67.2	9.9	696.7	0	24.6	2.8	C	C	C	0
607	52	2024	6	1	74.4	8.9	698.2	0	25.2	0.3	C	C	C	0
607	52	2024	6	2	75.3	9.3	698.3	0	24.6	0	C	C	C	0
607	52	2024	6	3	67.1	9.5	698.3	0	25.2	-0.5	C	NE	C	2
607	52	2024	6	4	56.8	9.4	698.6	0	24.8	-3.8	C	NW	C	0.7
607	52	2024	6	5	64.9	9.9	697.1	0	26	-2	C	NW	C	0.7
607	52	2024	6	6	57	10.1	698.3	0	24.8	-3.5	C	NW	C	2
607	52	2024	6	7	52	10.4	699.1	0	24.6	-5	C	NNW	C	2
607	52	2024	6	8	61.6	1.5	698.5	0	25.4	-3.8	C	C	C	0
607	52	2024	6	9	64.9	10.1	695.2	0	24.8	-6.5	C	NNE	C	0.7
607	52	2024	6	10	63.7	9.8	697.5	0	23.4	-6.8	C	NW	C	0.7
607	52	2024	6	11	62.7	0	698.1	0	23.6	-2.8	C	C	C	0
607	52	2024	6	12	68.8	3.7	696.6	0	23.4	-0.1	C	NNW	C	0.7
607	52	2024	6	13	66.6	6	694.9	0	24.2	0	C	NNW	C	1.3
607	52	2024	6	14	67.3	9.1	696.2	0	23.4	1.8	C	C	C	0
607	52	2024	6	15	66.5	0	695.4	0	23.2	3	C	C	C	0
607	52	2024	6	16	72.9	0	696.2	0	20	3	C	NNE	C	1.3
607	52	2024	6	17	72.4	6.2	696.2	0	21.2	1	C	C	C	0
607	52	2024	6	18	81.4	0	695.3	0.1	17.8	1	C	NNW	C	1.3
607	52	2024	6	19	80.1	0	694.3	0	15.2	6.5	C	C	NNE	0.7
607	52	2024	6	20	81.9	0	697	0	15.2	3.5	C	C	C	0
607	52	2024	6	21	87.9	0	694.9	0	15.8	6.8	C	C	C	0
607	52	2024	6	22	71.8	8.4	698.6	0	22.2	-0.8	C	C	C	0

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	6	23	66.7	5.6	692.4	0	22	-0.1	C	C	C	0
607	52	2024	6	24		6	696.5	0	23.2	-0.8	C	C	C	0
607	52	2024	6	25	73.8	9.5	697.1	0	23.2	-0.5	C	C	C	0
607	52	2024	6	26	68.2	7.5	698.3	0	22.2	1	C	NW	C	1.3
607	52	2024	6	27	70.4	6.9	696.4	0	22.6	1	C	N	C	2
607	52	2024	6	28	67.5	5.3	696.3	0	23.8	0.5	C	N	C	0.7
607	52	2024	6	29	66	9	696.3	0	22.4	1.8	C	C	C	0
607	52	2024	6	30	73.6	6.4	694.1	0	23.2	0	C	NNE	NNE	2
607	52	2024	7	1	67.2	10.1	728.3	0	23.6	1	C	WSW	C	0.7
607	52	2024	7	2	61.9	9.7	698.3	0	23.5	-0.5	C	NE	N	2
607	52	2024	7	3	66.5	-9.99	697.1	0	23.6	-1	C	C	C	0
607	52	2024	7	4	68.3	9.9	696.6	0	24	-2	C	N	C	1.3
607	52	2024	7	5	64.2	8.2	696.8	0.5	22.6	-2.5	C	N	C	0.7
607	52	2024	7	6	72.3	4.6	702.4	0	23.6	2.5	C	C	C	0
607	52	2024	7	7	74.3	5.5	696.5	0	23.8	3	C	C	C	0
607	52	2024	7	8	70.3	7	697	0	24	2	C	C	C	0
607	52	2024	7	9	75.8	7.8	694.7	0	22.6	0	C	C	C	0
607	52	2024	7	10	68.6	9.2	696.5	0	23.2	-1	C	NE	C	2
607	52	2024	7	11	64.6	9.2	695	0	24	-3	C	N	C	2
607	52	2024	7	12	74.5	6.9	697	0	21.8	-1.5	C	NNE	N	4
607	52	2024	7	13	67.2	9.2	699	0	23.5	0	N	NW	C	2.7
607	52	2024	7	14	68.7	8.4	696.1	0	23.2	0	C	NNW	NNW	2
607	52	2024	7	15	69.6	9.1	696.7	0	23.6	0	C	NW	C	1.3
607	52	2024	7	16	65.9	9.5	699.4	0	24	-0.5	C	N	N	2
607	52	2024	7	17		10	699.2	0	21.2	-3.5	C	S	S	3.3
607	52	2024	7	18	51.8	9.8	699.7	0	22	-6	C	E	C	0.7
607	52	2024	7	19	53.7	9.7	697.2	0	23	-6.2	C	SW	S	3.3
607	52	2024	7	20	54.6	10.2	698.5	0	22.2	-6	C	ENE	S	2.7
607	52	2024	7	21	57.8	8.8	694.9	0	21.2	-2.5	C	NNW	NNW	4
607	52	2024	7	22	57.8	9.5	696.9	0	20.6	-1.6	C	SE	C	1.3
607	52	2024	7	23	63.1	9.9	696.8	0	20.8	-1.8	C	SE	S	2
607	52	2024	7	24	69.2	6	698.5	0	22.6	-1.8	C	SE	S	2.7
607	52	2024	7	25	65.7	9.5	698.6	0	22.8	0	C	E	C	1.3
607	52	2024	7	26	69.5	2.2	696.2	0	23.4	1.8	C	P	C	0
607	52	2024	7	27	64.3	6.3	696.2	0	24.6	-0.5	C	SW	S	2.7
607	52	2024	7	28	63	6.6	696.2	0	23.4	4.2	C	C	C	0
607	52	2024	7	29	61.2	7.2	698.1	0	23.8	4.5	C	SE	C	2
607	52	2024	7	30	61.3	6	697.7	0	22.4	2.5	C	SE	C	0.7
607	52	2024	7	31	70.8	7	698.7	0	23.2	4.5	C	N	C	1.3
607	52	2024	8	1	57.4	9.4	695	0	24.2	1.5	C	ESE	W	2.7
607	52	2024	8	2	62	10.2	696.2	0	24	2.2	C	SE	S	1.3
607	52	2024	8	3	66	8.9	696.1	0	22.6	1	C	SW	NW	2
607	52	2024	8	4	64.7	7.2	693.9	0	23.2	1	C	NNW	C	2
607	52	2024	8	5	57.5	4.8	698.2	0	20.2	1	C	S	C	0.7

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	8	6	68.1	9.7	696.4	0	19.8	2.6	C	S	C	2.7
607	52	2024	8	7	70.3	10.1	694.3	0	22.2	0	C	N	C	0.7
607	52	2024	8	8	61.1	8	694.3	0	22.4	0	C	ENE	S	4
607	52	2024	8	9	61	6	696.9	0	21.8	2	C	SSE	SE	2.7
607	52	2024	8	10	59.5	6.7	696.6	0	22.6	1.2	C	SSE	C	1.3
607	52	2024	8	11	54	7	697	0	24	0.6	S	SW	C	2
607	52	2024	8	12	69.7	8.4	696.6	0	23.2	4.5	C	SE	C	1.3
607	52	2024	8	13	67.7	10.3	698.3	0	24.2	1.5	C	SW	C	2
607	52	2024	8	14	62.5	10.3	696.5	0	24	-0.5	C	S	SE	2.7
607	52	2024	8	15	67.8	8.6	698.2	0	23.6	0.5	C	NNE	N	2
607	52	2024	8	16	65.1	8.5	697.3	0	23.2	0.3	C	SE	C	2
607	52	2024	8	17	62.4	7.5	698.8	0	21.6	0.5	C	VV	S	4
607	52	2024	8	18	57.1	9	695.6	0	22.8	0.2	C	SW	C	2
607	52	2024	8	19	100	5.2	696.7	0	21.6	5.5	C	SSE	C	1.3
607	52	2024	8	20	62.4	7.8	696.8	0	22	3	C	SW	C	2
607	52	2024	8	21	66.5	9.5	696.7	0	23.6	3.6	C	S	C	1.3
607	52	2024	8	22	67	8.5	695.9	0	24.6	2	C	SW	C	1.3
607	52	2024	8	23	71.2	10.4	696.8	0	25.4	1.5	C	N	N	2
607	52	2024	8	24	64.2	9.8	696.1	0	24.2	4.8	C	NNE	N	4
607	52	2024	8	25	63.8	7.5	696.8	0	23.6	5.4	C	N	C	1.3
607	52	2024	8	26	68.2	4.9	693.9	0	23.4	0.5	C	NW	C	1.3
607	52	2024	8	27	63.5	4.8	697.8	0	24.2	7	C	NNE	N	1.3
607	52	2024	8	28	64.7	7.7	696.9	0	24.6	-3.5	C	C	C	0
607	52	2024	8	29	66.2	7	698.2	0	23.6	3.6	SSW	C	C	0.7
607	52	2024	8	30	65.2	9	697.1	0	25.2	3.4	C	N	NNE	2.7
607	52	2024	8	31	65.4	4.4	696.4	0	22.8	3	C	C	NNE	0.7
607	52	2024	9	1	68.3	5.347	697.6	0	21.8	1	C	SE	C	2
607	52	2024	9	2	57.9	5.847	697.4	0	21.4	1.5	NW	C	W	2
607	52	2024	9	3	60.8	4.747	695.7	0	23.2	2	C	C	W	1.3
607	52	2024	9	4	58.2	9.847	697.3	0	25.8	2	C	W	W	2
607	52	2024	9	5	55	8.847	697.9	0	25.8	3	C	NNW	C	1.3
607	52	2024	9	6	64.1	5.947	697.6	0	23.6	1.5	C	C	C	0
607	52	2024	9	7	64	0.047	694.5	0	23.2	4.2	C	SW	C	2
607	52	2024	9	8	60.7	4.547	695.8	0	24.8	0.5	C	S	C	0.7
607	52	2024	9	9	59.1	4.147	697.9	0	24.5	0.5	NNW	C	NW	2
607	52	2024	9	10	54.3	9.047	698.4	0	24.2	0	C	C	C	0
607	52	2024	9	11	56.3	6.447	697.4	0	25.4	-1.5	C	N	NW	3.3
607	52	2024	9	12	58.6	6.047	695.7	0	23.8	-2.4	C	C	C	0
607	52	2024	9	13	65	6.647	697.5	0	22.8	3	C	N	NNW	4
607	52	2024	9	14	65.9	1.647	698.4	0	22.4	4.8	C	N	C	1.3
607	52	2024	9	15	68.4	5.147	699.4	0	24	2.6	C	NE	NE	3.3
607	52	2024	9	16	70.4	7.147	697.5	12.8	22.2	3	C	NNE	N	3.3
607	52	2024	9	17	66.6	4.547	696.2	0	22.6	5.5	NW	N	SE	4.7
607	52	2024	9	18	64.7	3.647	696.5	0.1	23	5.5	C	C	C	0

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	9	19	67.2	6.347	695.7	10.7	21.8	8	C	C	NW	1.3
607	52	2024	9	20	64.1	7.147	697.4	0	22.4	4.8	NW	SW	C	2.7
607	52	2024	9	21	65.9	8.347	696.4	0	22.8	4.8	C	NW	C	2
607	52	2024	9	22	62.1	7.347	697.6	0	24.6	4.2	NW	C	NW	2.7
607	52	2024	9	23	58	7.447	698.1	0	23.6	3.2	NNE	NE	NE	6
607	52	2024	9	24	69.3	9.447	700.3	0	25	3.5	C	SE	C	2
607	52	2024	9	25	65.7	9.147	697.9	0	24.6	3.8	C	C	E	0.7
607	52	2024	9	26	66.5	6.447	696.8	0.8	22.6	4	C	C	C	0
607	52	2024	9	27	69.8	7.747	695.3	0	22.8	8	C	N	N	4.7
607	52	2024	9	28	72.4	3.447	695.4	0	23.6	8.2	C	C	N	0.7
607	52	2024	9	29	68.3	0.047	695.7	0	23.2	4.8	C	NE	C	1.3
607	52	2024	9	30	60.5	3.547	697.5	0	23.6	4.5	C	E	C	1.3
607	52	2024	10	1	64.9	4.447	698.2	0	23.5	5.4	N	N	NE	3.3
607	52	2024	10	2	59.8	3.547	695.4	0	27	5	C	NW	S	3.3
607	52	2024	10	3	68.7	8.047	697.5	0.2	24.6	5.6	C	W	SW	3.3
607	52	2024	10	4	54.1	4.747	698.3	0	22.5	3.5	C	W	C	1.3
607	52	2024	10	5	56	10.247	697.4	0	22	5.2	C	N	N	5.3
607	52	2024	10	6	61.1	9.747	697	0	22.2	1.5	C	SW	C	3.7
607	52	2024	10	7	58.3	-998.953	699.4	0	23.8	3	C	NE	N	6
607	52	2024	10	8	62.9	10.147	698.4	2	23.5	0.5	C	N	N	5
607	52	2024	10	9	57.4	4.047	698.5	0	23.6	-1	C	NW	W	6
607	52	2024	10	10	53.7	10.647	697.4	0	23.8	6.5	NW	NE	C	3.3
607	52	2024	10	11	64.4	7.547	696.2	0	22.6	5	N	NE	N	5
607	52	2024	10	12	60.4	7.347	697	0	23	2.5	W	N	N	
607	52	2024	10	13	63	-998.953	697.2	0	22.4	2.4	C	NE	C	2
607	52	2024	10	14	55.7	9.647	697.2	0	21.4	5	C	C	C	0
607	52	2024	10	15	54.7	2.347	696.2	0.6	22	7.5	C	C	C	0
607	52	2024	10	16	64	4.947	698.3	0	22.5	5	C	NE	SW	4
607	52	2024	10	17	59.4	3.347	697.3	0	24.4	4	C	C	C	0
607	52	2024	10	18	62.9	5.747	697.1	0.6	24	5.8	NE	NE	N	
607	52	2024	10	19	57.6	7.047	699.1	0.1	24.5	6.2	C	C	NE	2
607	52	2024	10	20	76.8	6.347	695.3	0	25.2	5.4	N	NW	C	2.7
607	52	2024	10	21	43.2	1.447	699.2	0	24.8	3.5	C	NNE	C	1.3
607	52	2024	10	22	57.7	5.347	697.4	6	22.5	0.5	C	N	C	0.7
607	52	2024	10	23	66.6	3.447	697.4	3.3	21.8	8.5	C	NW	WNW	2.7
607	52	2024	10	24	64.8	5.447	697.3	4.2	24.8	8.2	C	NW	C	1.3
607	52	2024	10	25	62.8	5.847	697.2	0	21	7.4	N	N	SW	3.3
607	52	2024	10	26	62.7	5.247	697.7	0	22.2	5.5	C	C	S	1.3
607	52	2024	10	27	62.7	4.347	697.9	0	24.8	3.5	C	C	C	0
607	52	2024	10	28	59.5	10.247	696.2	0	22.4	6	C	C	C	0
607	52	2024	10	29	57.6	7.847	695.1	6.2	23.4	6.5	C	C	C	0
607	52	2024	10	30	70.5	1.647	695.2	2.9	20	9.5	C	C	C	0
607	52	2024	10	31	64.8	2.647	695.6	0.5	23.2	5	C	C	SW	1.3
607	52	2024	11	1	66.2	7.947	695.1	0	24.2	6	C	NW	S	4

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	11	2	63.2	3.447	694.8	0	25.6	6.5	C	NW	C	1.3
607	52	2024	11	3	59.2	0.047	694.6	0	22.6	8	C	C	C	0
607	52	2024	11	4	67.1	7.647	698.2	2.4	25.2	9	WNW	WNW	C	2.7
607	52	2024	11	5	65.5	9.447	695.1	0	23.2	4.2	C	NNE	C	2.7
607	52	2024	11	6	64.9	10.247	696.8	1.7	23.8	8.5	C	NW	C	2
607	52	2024	11	7	59.7	10.647	697.2	0	23.5	8.5	N	NE	C	4
607	52	2024	11	8	68.8	8.747	698.1	0	23.4	7.5	NE	NE	C	3.3
607	52	2024	11	9	66.7	4.747	630.6	0.8	24.2	8.4	C	C	C	0
607	52	2024	11	10	69.7	5.547	697.4	7	23.6	6	C	C	C	0
607	52	2024	11	11	68.2	6.747	697.9	0.2	24	5	C	C	C	0
607	52	2024	11	12	68.8	7.147	696.1	9.9	22.6	6.5	C	N	C	1.3
607	52	2024	11	13	71.3	11.047	697.2	4.8	21.6	8	C	C	C	0
607	52	2024	11	14	66.5	7.447	694.9	11.7	23	9	C	C	C	0
607	52	2024	11	15	77.4	7.947	696	18.8	17.6	8.5	NW	C	C	0.7
607	52	2024	11	16	65.6	4.747	695.8	29	22	7.5	NE	C	C	1.3
607	52	2024	11	17	75.9	10.447	695.1	23	18	7	C	NE	C	1.3
607	52	2024	11	18	78.6	7.147	695.1	3.8	21.5	7	C	NNE	C	1.3
607	52	2024	11	19	72.9	0.647	696	0	23.2	9	C	C	C	0
607	52	2024	11	20	74.7	3.047	695.2	7.9	21.4	8.5	C	C	C	0
607	52	2024	11	21	78.6	8.047	695.2	0	17.8	8.2	C	NNE	C	2
607	52	2024	11	22	68.6	10.647	696.3	5.4	20.8	7.2	C	N	C	1.3
607	52	2024	11	23	72.4	10.947	696.2	2.8	17.2	6.8	N	NNE	C	2
607	52	2024	11	24	73.2	8.747	688	0.5	18.6	7.2	C	ENE	N	3.3
607	52	2024	11	25	71.9	9.047	697.4	1.3	21	8	NE	NE	NNE	6.7
607	52	2024	11	26	73.3	6.347	697	0	21.8	7	N	NNE	C	2.7
607	52	2024	11	27	72.2	5.947	695.8	0	22	8	NW	C	C	0.7
607	52	2024	11	28	68.2	3.447	697.1	0.6	24.2	10.2	C	NNW	C	2
607	52	2024	11	29	69.9	4.647	697.7	0	19.8	10.5	C	C	C	0
607	52	2024	11	30	75.9	3.847	695.5	0	22.6	10.8	C	C	C	0
607	52	2024	12	1	74.6	1.647	697.6	3.7	23	9.8	C	C	C	0
607	52	2024	12	2	74.1	3.047	695.2	0	21	7.2	C	C	C	0
607	52	2024	12	3	80.6	1.547	695.1	2.4	16.6	5	C	NE	C	1.3
607	52	2024	12	4	77	4.247	696.8	1.3	17.2	7.5	C	ENE	C	1.3
607	52	2024	12	5	75.7	2.547	697.2	0	22.2	7	C	C	C	0
607	52	2024	12	6	66.2	0.047	695.3	0	22	8.2	C	C	C	0
607	52	2024	12	7	75.8	2.447	697.7	2.4	19.2	9.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	8	69.8	2.447	697.3	2.9	21.8	7.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	9	71.2	6.947	698.4	23.2	20	8.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	10	82	0.947	694.3	10.8	19.8	7.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	11	73.8	7.647	694.5	7.6	21.8	6.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	12	69.3	7.747	696	10.4	21.5	8.5	C	NNE	C	1.3
607	52	2024	12	13	77.6	3.647	697	1	19.2	8.5	C	NNE	NNE	6.7
607	52	2024	12	14	69.1	0.647	697.2	1.4	21.2	7.8	C	C	C	0
607	52	2024	12	15	66.4	5.947	696.5	4.6	22.2	6.5	C	C	C	0

<<Continuación de la tabla 91>>

Codigo	Planilla	Año	Mes	Dia	HR_M %	HSol	Prest_Atm hPa	PT Tot mm	TMax - °C	TMin - °C	Dir 07 - °	Dir 13 - °	Dir 19 - °	VV - m/s
607	52	2024	12	16	71.1	1.847	697.4	0	22	5	C	C	C	0
607	52	2024	12	17	70.6	6.047	696.6	0	22.4	4.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	18	70.3	7.447	695.3	10.1	22.6	4.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	19	72.4	0.047	694.3	1.7	21.4	8.2	C	NW	C	1.3
607	52	2024	12	20	71.4	1.747	694.3	13.5	21.6	6.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	21	62.3	3.747	696.8	0	22.4	5.5	C	C	NNE	2
607	52	2024	12	22	68.8	0.047	696.3	8.8	22.2	6.2	C	C	C	0
607	52	2024	12	23	69.2	3.147	696.1	0.3	20.2	5	C	NW	C	1.3
607	52	2024	12	24	69.7	0.047	695.2	0	24.4	4.2	NNE	C	N	4
607	52	2024	12	25	68.4	0.847	695.1	1	23.2	6.5	NNE	C	C	
607	52	2024	12	26	64.8	0.047	693.3	1	22.6	5	C	C	C	0
607	52	2024	12	27	67.9	2.347	693.2	0	24	4.5	C	C	C	0
607	52	2024	12	28	69.4	0.047	695.3	0	21.8	4	C	C	C	0
607	52	2024	12	29	59.7	1.647	694	1.1	22	4.5	C	NE	C	2.7
607	52	2024	12	30	67.6	1.347	695.1	0	23.2	7.4	NW	NNW	NNW	4
607	52	2024	12	31	62.1	1.647	695.8	0	22.6	6.5	C	C	C	0

Nota: SENAMHI