



ANÁLISIS DE EMISIONES ODORANTES

PDC ECOBIO Planta Ñuble

FEBRERO 2026

INDICE

1	Introducción.....	7
2	Objetivos	9
3	Marco regulatorio de olores	10
3.1	Justificación normativa de comparación	11
4	Modelos utilizados	13
4.1	Modelo CALPUFF.....	14
4.2	Modelo Weather Research and Forecast (WRF)	16
5	Metodología	16
5.1	Subgrilla	17
5.2	Receptores.....	19
5.3	Olfatometría dinámica	20
5.3.1	Descripción de las emisiones de olor	22
5.4	Escenario de modelación	24
5.5	Medidas de abatimiento.....	26
6	Estimación de emisiones de olor	27
7	Modelación meteorológica	29
7.1	Justificación año de modelación meteorológica	30
7.2	Análisis de incertidumbre.....	31
7.2.1	Análisis cuantitativo.....	34
7.2.1	Análisis cualitativo	35



7.3	Caracterizaciones variables meteorológicas	43
7.3.1	Temperatura.....	44
7.3.2	Velocidad y dirección del viento	46
7.3.3	Rosa de los vientos anual y estacional.....	51
7.3.4	Precipitación	54
7.3.5	Altura de la capa límite	55
8	Modelación de olor	58
8.1	Escenario 1	58
8.1.1	Resultados de la dispersión de olor y análisis normativo	59
8.1.2	Percepción de olor.....	63
8.2	Escenario 2	65
8.2.1	Estimación de emisiones de olor	65
8.2.2	Resultados de la percepción y análisis normativo	67
9	Comparación con escenario 2025.....	70
9.1	Escenario 1	70
9.2	Escenario 2	72
10	Conclusión	73
11	Bibliografía.....	76



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación punto central del proyecto.....	9
Tabla 2. Límite normativo	13
Tabla 3. Receptores cercanos al proyecto.....	19
Tabla 4. Campañas de muestreo	20
Según lo indicado en la Guía de Olores, para estimar las emisiones es necesario identificar las unidades emisoras que generan olor Tabla 5. Descripción de las unidades emisoras de olor.....	22
Tabla 6. Fuentes del proyecto	24
Tabla 7. Estimación de emisiones odorantes.....	27
Tabla 8. Ranking de las unidades generadoras de olor	28
Tabla 11. Distancia de las estaciones cercanas al proyecto	30
Tabla 12. Porcentaje de datos de material particulado medido en la estación Purén.....	31
Tabla 13. Concentración de material particulado medido en la estación Purén	31
Tabla 15. Resultados estadísticos obtenidos por la modelación respecto a la estación Purén	35
Tabla 16. Temperatura modelada con WRF y observada en la estación Purén	36
Tabla 17. Velocidad del viento modelado por WRF y observado en la estación Purén	39
Tabla 18. Rosa de los vientos y distribución de la velocidad del viento	51
Tabla 18. Características de la pluma de dispersión.....	60
Tabla 19. Análisis del cumplimiento normativo en los receptores	62
Tabla 20. Descriptores de efectos de olor propuestos para impactos predichos por modelación.....	63



Tabla 21. Percepción del olor en los receptores cercanos al proyecto.....	64
Tabla 7. Estimación de emisiones odorantes.....	65
Tabla 8. Ranking de las unidades generadoras de olor	66
Tabla 19. Análisis del cumplimiento normativo en los receptores	68



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto.....	8
Figura 2. Subgrilla utilizada para la pluma de dispersión	18
Figura 3. Ubicación de los receptores discretos cercanos al proyecto	20
Figura 8. Serie de tiempo modelada de temperatura, obtenida de los datos del modelo WRF 2023	44
Figura 9. Ciclo diario de la temperatura obtenido de los datos del modelo WRF 2023	45
Figura 10. Ciclo mensual diario para la temperatura simulada por el modelo WRF.....	46
Figura 11. Serie de tiempo modelada de la velocidad del viento	47
Figura 12. Serie de tiempo modelada de la dirección del viento.....	47
Figura 13. Ciclo diario del viento obtenido de los datos del modelo WRF 2023	48
Figura 14. Ciclo diario del viento obtenido de los datos del modelo WRF 2023	49
Figura 15. Ciclo mensual diario para la velocidad y dirección del viento simulada por el modelo WRF.....	50
Figura 16. Serie de tiempo de la precipitación modelada.....	54
Figura 17. Precipitación acumulada mensual obtenida del modelo WRF.....	55
Figura 18. Serie de tiempo modelada de la altura de la capa límite.....	56
Figura 19 Ciclo diario modelado de la altura de la capa límite.....	57
Figura 20. Ciclo estacional de la capa límite simulada por el modelo WRF	58
Figura 19. Pluma de dispersión de odorantes e isodoras	60
Figura 20. Área de influencia del proyecto	61



1 Introducción

Mediante el presente documento técnico se desarrolla el análisis y estimación de los potenciales efectos ambientales asociados a los cargos contenidos en el procedimiento sancionatorio Res. Ex. N°1/Rol D-005-2026 de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante "SMA"), en contra de ECOBIO S.A., titular de la unidad fiscalizable (UF), que se encuentra localizada en la comuna de Chillán Viejo, Región Ñuble.

ECOBIO S.A., Rol Único Tributario N° 77.295.110-8, es titular, entre otros, del proyecto denominado "Centro Integral de Tratamiento Ambiental Fundo Las Cruces - CITA ECOBIO S.A." (en adelante, "el Proyecto" o "CITA"), ubicado en Variante N-999 cruz parada km 1,5- camino N-59-Q Yungay-Chillán Viejo, comuna de Chillan Viejo, región de Nuble, cuyo objeto consiste en un Depósito o Relleno de Seguridad, con instalaciones anexas destinadas a la recepción, acondicionamiento, tratamiento, inertización y disposición de residuos, de tipo industriales sólidos y líquidos, peligrosos y no peligrosos. La técnica de disposición del depósito de seguridad es en altura, con una planta de tratamiento de residuos líquidos mediante osmosis inversa, una estación de recepción y transferencia, además de una instalación de inertización. Como depósito de seguridad, este proyecto se encuentra autorizado para recepcionar residuos industriales regionales e interregionales.

ECOBIO presentó el "Estudio de Impacto Odorante - Enero 2025" (Consultora TSG - Envirometrika), que incorporó campañas de muestreo y análisis olfatométrico en diversas fechas (incluyendo enero de 2024 y julio de 2024), caracterizando 16 unidades emisoras difusas (piscinas de lixiviados, celdas, frentes de trabajo, evaporaciones, zócalo, entre otros), y aplicando normas técnicas nacionales para muestreo y análisis por olfatometría dinámica. En dicho estudio, para la "situación operacional actual", se estimó una Tasa de Emisión Odorante (TEO) total de 997.460 ouE/s, identificándose como fuentes de mayor contribución las unidades Celda IV-1A, Celda V-2A, Celda VI-1B, Celda V-1A y Celda V-1B, con un aporte acumulado de 81,96% del total. En cuanto a la extensión del impacto odorante, el estudio indica que el área de influencia determinada por la isolínea de 1 ouE/m³ (percentil 98) tiene un alcance de 4.184 ha; y, más relevante para el criterio de referencia (CP98-1hr ouE/m³), la modelación arrojó un alcance odorante de 1.471 ha, cifra que



contrasta con el escenario evaluado en la RCA N°118/2019 bajo el cual los receptores sensibles se mantenían fuera del alcance proyectado.

Respecto de la magnitud, el informe presentado por la empresa en enero de 2025 establece una probabilidad de afectación y superación del nivel límite de 3 ouE/m³ en 5 de 24 receptores externos (R1, R6, R7, R8 y R9), informando además valores máximos (P98) que alcanzan hasta 17 ouE/m³ en R8, y 5 ouE/m³ en R6, R7 y R9.

En consecuencia, el presente informe presenta los resultados actualizados de la modelación, con el propósito de evaluar las concentraciones en los receptores previamente analizados, incorporando las modificaciones implementadas en la planta orientadas a reducir la exposición a olores en los receptores cercanos.

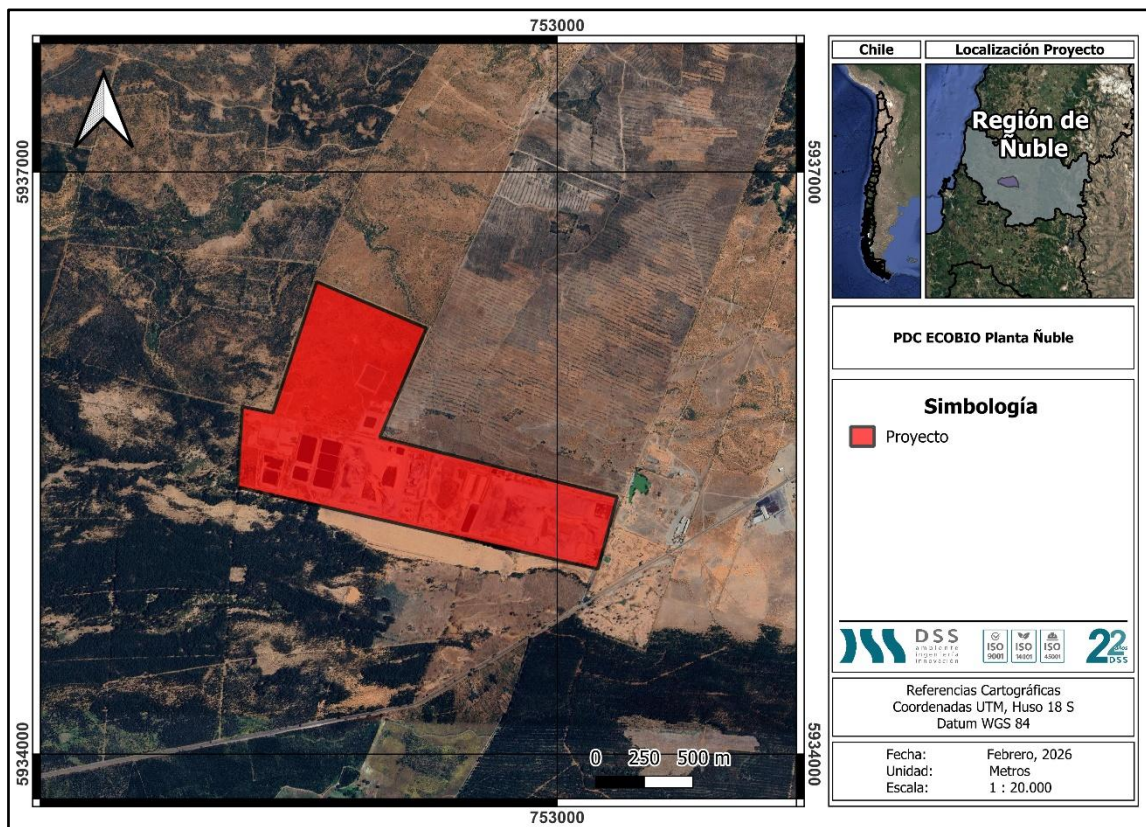


Figura 1. Ubicación del proyecto

En este informe, se presenta una estimación de las emisiones de odorantes del proyecto, y los efectos que dichas emisiones producen en el aire. Su elaboración, se basó en las



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



recomendaciones de la "Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA", (SEA, 2017), con esto se busca conocer y/o descartar posibles impactos a la población cercana al emplazamiento del proyecto. El punto representativo central del proyecto es presentado en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Ubicación punto central del proyecto

Coordenadas del proyecto (UTM 18 WGS 84)	
Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)
752.365	5.935.368

Además, es preciso indicar que, a la fecha en Chile no existe una norma que regule la inmisión en los receptores cercanos a un relleno sanitario, sin embargo, en el contexto de la evaluación ambiental, los resultados serán analizados con los estándares internacionales. La norma de referencia utilizada para la presente evaluación corresponde a la norma colombiana, que establece un límite de inmisión de 3 uoE/m³.

2 Objetivos

El presente informe tiene como objetivo general cuantificar y evaluar el impacto atmosférico de las emisiones de olor generadas por el proyecto, así como determinar sus concentraciones y área de influencia.

Para lo anterior se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estimar las cantidades esperadas de emisiones odoríficas del proyecto, considerando factores de emisión o emisiones de referencia, según corresponda, para cada una de las fuentes identificadas.
- Evaluar las concentraciones de las emisiones de odorantes emitidas a la atmósfera por el proyecto, en su condición más desfavorable.
- Definir el área de influencia del proyecto en términos del impacto de las concentraciones de olor modelados.
- Determinar la concentración de olores en diversos puntos receptores representativos de las zonas cercanas del proyecto.
- Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en cuanto a



concentración de olores y la normativa internacional aplicable.

3 Marco regulatorio de olores

Las emisiones odorantes son elementos perturbadores para la salud humana, entendida ésta última en el sentido amplio del "completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades" (OMS, 2005). El olor es un vector ambiental que puede causar molestia y, al mismo tiempo afectar negativamente a la salud y calidad de vida cuando la exposición es frecuente y repetida. Este vector se denomina factores de estrés ambiental (Cohen, Evans, Stokols, & Krantz, 1986), ya que, a diferencia de otros contaminantes, el olor puede causar efectos en la salud por debajo del nivel de un daño físico real, pero su exposición constante causa un malestar agobiante, dando lugar a efectos fisiológicos.

Los límites de inmisión y los factores de emisión son conceptos clave en la gestión de la calidad del aire, pero tienen diferencias fundamentales. Los límites de inmisión se refieren a las concentraciones máximas permitidas de un contaminante en el aire ambiente en un área específica, establecidas para proteger la salud humana y el medio ambiente. Estos límites son utilizados para evaluar la calidad del aire y asegurar que no se excedan niveles perjudiciales de contaminación. Por otro lado, los factores de emisión son valores que indican la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera por una fuente específica, como una fábrica o planta de tratamiento, por alguna actividad o producción. Estos factores se utilizan para estimar las emisiones de contaminantes a partir de distintas fuentes, ayudando a modelar y prever los impactos ambientales potenciales. Mientras que los límites de inmisión se enfocan en la calidad del aire que respiran las personas, los factores de emisión se centran en cuantificar las fuentes de contaminación.

A partir de los efectos en la salud y medio ambiente que pueden causar las emisiones odorantes, se elabora la "*Estrategia para la Gestión de Olores en Chile 2014-2017*" por el Ministerio del Medio Ambiente (2013, actualizada el 2017), que busca fortalecer el marco regulatorio de olores, ya que en la actualidad no se cuenta con una normativa ambiental aplicable a éstos. Uno de los puntos que destaca para mencionar la inexistencia de esta normativa es la falta de antecedentes disponibles en el tema.



En este contexto es que los últimos años el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) ha levantado información para fortalecer el marco regulatorio, dentro de la cual en el estudio **"Antecedentes para la Regulación de Olores en Chile" de ECOTEC (2013)**, se presentan más de 2.000 establecimientos que contienen actividades con el potencial de generar olores.

Las normas de odorantes vigentes en otros países establecen límites máximos de concentración de olores promedio horaria en unidad de olor, concepto que se define como la cantidad de sustancia odorífera que, cuando se evapora en un metro cúbico de un gas neutro en condiciones normales, originan una respuesta fisiológica de un panel equivalente a la que origina una Masa de Olor de Referencia Europea (MORE) evaporada en un metro cúbico de un gas neutro en condiciones normales.

3.1 Justificación normativa de comparación

La evaluación de emisiones odorantes en modelos de dispersión generalmente se realiza con un criterio horario (1 hora), basado en la normativa alemana sobre evaluación de olores. Esta metodología considera la frecuencia anual de las horas en las que se perciben olores, tomando al menos el 98% de las horas del año como referencia para analizar el impacto de las emisiones. En consecuencia, el percentil 98 es recomendado como parámetro de comparación con normativas de referencia, de acuerdo con la "Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor" (2017).

En Chile, solo se ha establecido una norma de emisión específica para evaluar los impactos por olor en la cría intensiva de animales, particularmente en la industria porcina, siendo esta la única referencia nacional en el ámbito de regulación de olores. Sin embargo, esta normativa no se relaciona directamente con el proyecto en cuestión, por lo que se realizó una revisión de normativas y criterios internacionales para determinar niveles de calidad adecuados en actividades relacionadas con plantas de tratamientos de aguas servidas, conforme a lo señalado en la guía antes mencionada.

El artículo 11 de la Ley N° 19.300/1994 establece que *"para evaluar si el proyecto genera o presenta riesgo para la salud, se debe considerar lo establecido en las normas de calidad ambiental y de emisión vigentes, utilizando como referencia las normativas de los Estados*



que indica el reglamento en el artículo 11 del RSEIA". En este caso particular, se ha optado por emplear la normativa colombiana (Resolución N°1541 del año 2013), la cual, aunque no está entre las normativas de los países señalados en el artículo 11, es ampliamente aceptada en proyectos a nivel nacional que requieren evaluación de emisiones de compuestos odorantes.

Se justifica el uso de la norma de referencia colombiana, por los siguientes motivos:

- Escasez de normativas específicas en Sudamérica: En Sudamérica, pocos países han desarrollado regulaciones específicas para abordar la problemática de la contaminación ambiental por olores. Esto limita las referencias locales disponibles para evaluar y gestionar impactos odoríferos en proyectos ambientales.
- Avance normativo de Colombia: Colombia cuenta con una de las regulaciones más avanzadas en la región para la gestión de olores ofensivos. Su normativa abarca una amplia gama de aspectos técnicos y operativos, incluyendo:
 - La recepción y manejo de quejas relacionadas con olores ofensivos.
 - Procedimientos analíticos y sensoriales para la determinación de la concentración de olores.
 - Establecimiento de niveles permisibles de calidad del aire para sustancias odoríferas, diferenciados según actividad económica.
 - Regulación de fuentes emisoras mediante límites de inmisión aplicables a cada categoría.
- Aplicación comprobada en el SEIA: La norma colombiana ha sido ampliamente utilizada como referencia en proyectos presentados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) en Chile. Sectores como plantas de tratamiento de aguas servidas, rellenos sanitarios y plantas de compostaje han adoptado esta regulación para realizar modelaciones de olores.



Tabla 2. Límite normativo

Estado	Límite de inmisión (uo/m ³)	Forma de cálculo	Fuente
Colombia	3,00	Como el percentil 98 de las concentraciones horarias de un año calendario.	Tabla 3, Artículo 6 la Resolución N°1541/2013.

En este contexto, y conforme a los lineamientos establecidos en el documento "*Criterio de evaluación en el SEIA: uso de normas de referencia*" (2024), la selección de dicha norma se fundamenta En primer lugar, de acuerdo con el Criterio 1: Objeto de protección, la norma seleccionada tiene por finalidad resguardar la salud de la población frente a la exposición a emisiones odorantes, en coherencia con el objeto de protección establecido en la Ley N°19.300. En segundo término, conforme al Criterio 2: Actividad regulada y fuente emisora, la Resolución N°1541 regula emisiones odorantes provenientes de instalaciones y procesos equivalentes a los considerados en el presente proyecto, asegurando su pertinencia y aplicabilidad. Asimismo, respecto al Criterio 3: Contaminante, la norma colombiana aborda específicamente la caracterización, cuantificación y control de compuestos odorantes, utilizando un enfoque de evaluación compatible con el requerido para analizar los riesgos y efectos adversos señalados en la Ley N°19.300. Finalmente, en atención al Criterio 4: Umbral de referencia, se considera que los valores establecidos en la Resolución N°1541 son conservadores y protectores, lo que la convierte en una alternativa adecuada y precautoria para la evaluación de las emisiones odorantes del proyecto.

Finalmente, la utilización de esta misma normativa en el estudio presentado en 2025 permite mantener consistencia metodológica y comparabilidad histórica, facilitando el análisis de tendencias y la evaluación objetiva de cómo las modificaciones operacionales y de capacidad del proyecto influyen en la modelación y en las concentraciones de olor estimadas en los receptores. Esto fortalece la trazabilidad técnica de los resultados y mejora la interpretación de los cambios observados en el desempeño ambiental del sistema.

4 Modelos utilizados

El Servicio de Evaluación Ambiental en la "*Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA*" (2023) hace una serie de recomendaciones para la modelación de contaminantes



primarios¹ y secundarios en el aire. En la actualidad, esta guía es el único documento existente como parámetro para la modelación de calidad del aire y tiene como objetivo uniformar los criterios, exigencias técnicas y antecedentes para la evaluación de los impactos asociados a este componente de proyectos que ingresen al Servicio de Evaluación Ambiental. Dentro de las recomendaciones de la guía está el uso del modelo de dispersión CALPUFF y sugiere utilizar el modelo meteorológico WRF, los cuales fueron utilizados en la modelación de odorantes del proyecto.

A continuación, se presenta los modelos utilizados al modelar las emisiones del proyecto.

4.1 Modelo CALPUFF

La modelación de dispersión atmosférica de olores provenientes del proyecto se realizó con un modelo tipo "Puff", específicamente el modelo CALPUFF. Tal como lo define la guía, los modelos tipo "puff" son una combinación entre los modelos Gaussianos y los modelos Lagrangeanos, en el sentido de que esencialmente calculan la dispersión de contaminantes provenientes de una emisión instantánea, llamada "puff", a lo largo de una trayectoria. Su aproximación matemática consiste en estimar la dispersión en forma Gaussiana en cada punto de una trayectoria; es decir, los modelos tipo "puff" sólo requieren una trayectoria por "puff", lo que hace su cálculo mucho más rápido.

En el caso de emisiones continuas, se simulan las trayectorias y la dispersión Gaussiana de muchos "puffs", como es en el caso de las emisiones de olor generadas por el proyecto.

Así mismo, el modelo CALPUFF es un modelo completo que incorpora herramientas para procesar datos meteorológicos y geofísicos, modelos de dispersión y post procesamiento. Dicho modelo es recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para modelar transporte a larga distancia de contaminantes.

CALPUFF se compone de tres módulos:

- CALMET: Es un modelo meteorológico que desarrolla campos horarios de viento y temperatura en una grilla de tres dimensiones. También asocia campos en dos

¹ Los contaminantes primarios son los producidos directamente por la actividad humana o la naturaleza a la atmósfera, dentro de los cuales caben las emisiones odorantes.



dimensiones de altura y usos de suelo. Este modelo fue reemplazado por el WRF, tal como lo recomienda la guía antes citada.

- CALPUFF: Es un modelo de transporte y dispersión de partículas y gases emitidos desde fuentes modeladas, simulando procesos de dispersión y transformación. CALPUFF utiliza los datos generados por CALMET. Los archivos de salida de CALPUFF contienen las concentraciones horarias o deposición por hora de flujos evaluados en receptores seleccionados.
- CALPOST: Es usado para procesar aquellos archivos generados por CALMET y CALPUFF, produciendo tabulaciones que resumen los resultados de la simulación. Ecuación del modelo CALPUFF

La ecuación básica que utiliza el modelo para realizar la modelación es la siguiente:

Ecuación 4.1

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} * g * \exp\left[\frac{-d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] * \exp\left[\frac{-d_a^2}{2\sigma_y^2}\right]$$

Ecuación 4.2

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{\frac{1}{2}}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[\frac{-(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

Dónde:

C , es concentración a nivel del suelo (g/m^3)

Q , es masa de contaminantes (g) en la nube.

σ_x , es desviación estándar de la distribución de Gauss en el viento a lo largo de la dirección.

σ_y , es desviación estándar de la distribución de Gauss en el viento de costado

σ_z , es desviación estándar de la distribución de Gauss en la dirección vertical.

d_a , es distancia del centro de la nube al receptor en la dirección del viento a lo largo.



d_c , es distancia del centro de la nube al receptor en la dirección de viento cruzado.

g , es el término vertical de la ecuación Gaussiana.

H , es la altura afectiva desde el nivel del suelo del hojaldre.

h , es la altura de la capa de mezcla.

El terreno en el cual se realizará la modelación de las emisiones odorantes se considera heterogéneo, debido a las distintas unidades geomorfológicas. Por esta razón y en consistencia con las recomendaciones del Servicio de Evaluación ambiental (SEA), para la modelación en sus guías, se consideró utilizar el modelo CALPUFF para simular la dispersión y concentración de la emisión de odorantes generadas por el proyecto.

4.2 Modelo Weather Research and Forecast (WRF)

El modelo Weather Research and Forecasting (WRF), es un modelo numérico de cuatro dimensiones, recomendado para la generación de datos meteorológicos y es uno de los modelos de pronóstico meteorológicos más avanzados. Debido a la falta de una red robusta de estaciones meteorológicas, la "*Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA*" recomienda emplear WRF por sobre el uso del CALMET. Además, el mismo documento, sugiere el uso del WRF para la modelación de dispersión de contaminantes con CALPUFF.

5 Metodología

De acuerdo con la "*Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA*", (SEA, 2017), se puede realizar una estimación de las emisiones de odorantes de un proyecto mediante dos metodologías, utilizando factores de emisión o emisiones de referencia. Si bien, en dicha guía, establece que se debe priorizar la utilización de emisiones de referencia por sobre los factores de emisión, también señala que podrán usarse factores de emisión o valores de referencia, justificando la pertinencia y aplicabilidad al proyecto o actividad, cuando se trate de un proyecto inexistente (ver sección 4.3 de la guía).

Es importante recordar que los límites de inmisión son las concentraciones máximas permitidas de contaminantes en el aire para proteger la salud y el medio ambiente, mientras



que los factores de emisión cuantifican la cantidad de contaminantes liberados por una fuente específica, como una fábrica, ayudando a estimar y modelar las emisiones.

Las emisiones de referencia son aquellas que han sido estimadas a partir de toma de muestras de olor en la fuente y su respectiva caracterización, es decir, son aquellas obtenidas de fuentes existentes o proyectos en ejecución. Dichas emisiones de referencia deben estar determinadas a través de metodologías estandarizadas, como por ejemplo el método de olfatometría dinámica establecido en la norma NCh3190.Of2010 (INN, 2010).

5.1 Subgrilla

El modelo de dispersión CALPUFF por defecto crea una grilla de modelación partir del modelo meteorológico, la cual tiene una resolución espacial de 1 km, con una dimensión de 57 km x 57 km. Este modelo proporciona el valor promedio de concentración en la primera capa de modelación, que abarca entre 0 y 20 metros sobre el nivel del suelo. Aunque esta grilla inicial ofrece resultados generales, puede carecer de precisión en ciertos análisis. Por ello, el modelo permite definir grillas de modelación personalizadas, especificando tanto la altura (eje vertical) como el tamaño de las cuadrículas. Este enfoque es recomendado por la "GUÍA PARA EL USO DE MODELOS DE CALIDAD DEL AIRE EN EL SEIA" (2023), que señala: "al definir la subgrilla más adecuada para el proyecto, se debe asegurar que el tamaño de esta sea lo suficientemente grande para garantizar la cuantificación de la concentración máxima a nivel de suelo. El tamaño de la grilla requerida será específico del proyecto y variará según



las características de las fuentes, los factores geofísicos y las condiciones meteorológicas."

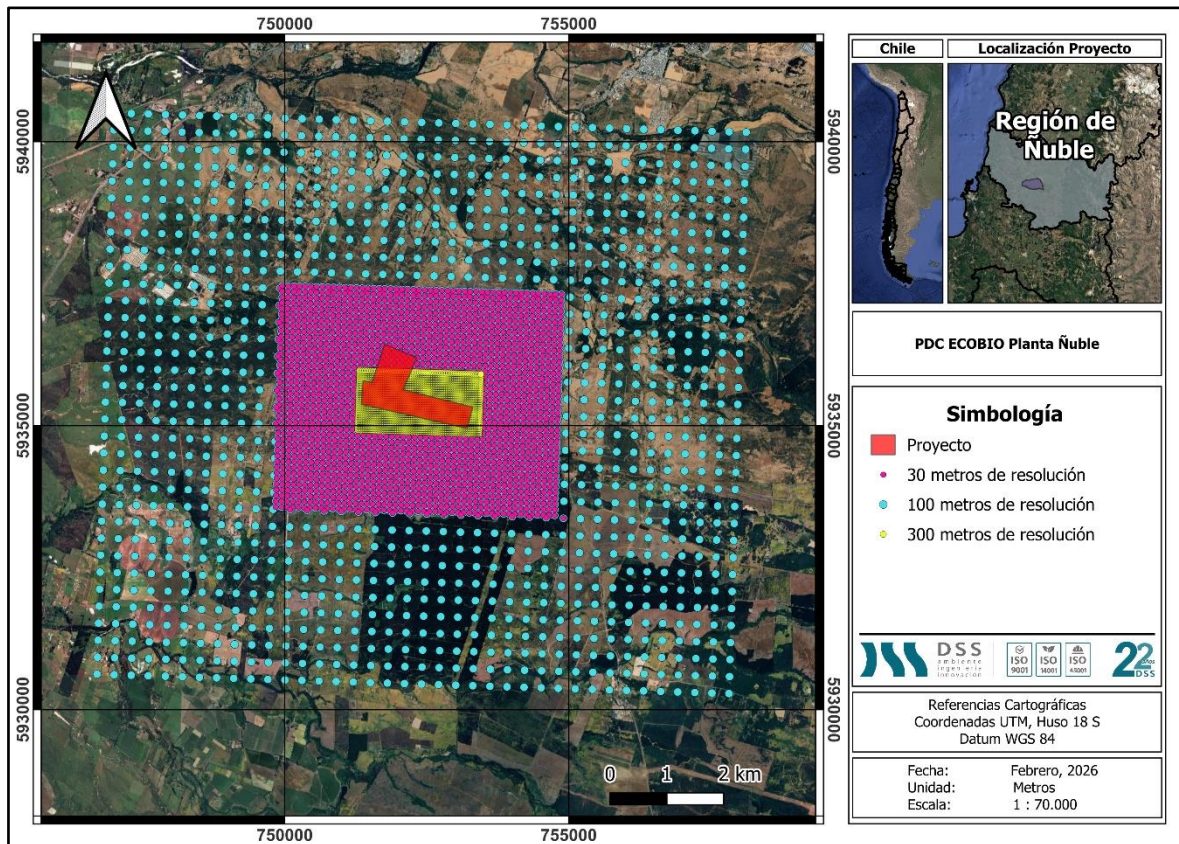


Figura 2. Subgrilla utilizada para la pluma de dispersión

En este sentido, para la modelación de dispersión de partículas del proyecto, se adoptaron las recomendaciones de la guía. Estas incluyen:

- Definir una altura de 1,6 m, correspondiente a la altura a la que se evalúan las concentraciones en los receptores discretos.
- Generar una cuadrícula o grilla de modelación refinada, denominada subgrilla, con el siguiente espaciado:
 - Subgrilla 1:** Con una resolución de 30 m, que se encuentra en la zona de emplazamiento del proyecto y fue representado por los puntos amarillos en la **Figura 2**
 - Subgrilla 2:** Tiene una resolución de 100 m, se extiende por 2.500 m desde el centro del proyecto y es representada por los puntos rosados en la **Figura 2**.



- **Subgrilla 3:** Tiene una resolución de 300 m, se extiende por 5.500 metros desde el centro del proyecto y corresponde a los puntos celestes en la **Figura 2**.

5.2 Receptores

Se consideraron 24 puntos discretos en las cercanías del proyecto, estos receptores corresponden a los mismo evaluados en el Estudio de Impacto Odorante del año 2025, de manera de contrastar los resultados. A continuación, se presenta en la **Tabla 3** las coordenadas, y en la **Figura 3** la distribución espacial de los receptores discretos.

Tabla 3. Receptores cercanos al proyecto

Receptor Modelación	Coordenada UTM		Distancia al centro del proyecto (m)	Descripción
	HUSO 19 S (m)			
	Este	Norte		
R1	754.580	5.935.541	1.380	Vivienda
R2	754.764	5.935.298	1.504	Vivienda
R3	754.778	5.935.218	1.521	Vivienda
R4	754.798	5.935.141	1.535	Vivienda
R5	754.893	5.937.168	2.590	Vivienda
R6	754.221	5.936.664	1.790	Vivienda
R7	754.207	5.936.564	1.695	Vivienda
R8	753.586	5.935.098	320	Vivienda
R9	753.201	5.937.775	2.360	Vivienda
R10	752.586	5.938.457	3.050	Vivienda
R11	752.613	5.938.357	1.660	Vivienda
R12	750.123	5.935.553	1.248	Vivienda
R13	750.165	5.935.326	1.220	Vivienda
R14	750.037	5.933.725	2.220	Vivienda
R15	750.011	5.934.455	1.720	Vivienda
R16	749.975	5.934.760	1.590	Vivienda
R17	749.931	5.935.443	1.434	Vivienda
R18	749.974	5.935.248	1.423	Vivienda
R19	749.950	5.935.069	1.490	Vivienda
R20	750.736	5.938.551	3.030	Vivienda
R21	750.823	5.939.614	4.035	Vivienda
R22	749.385	5.940.452	5.300	Vivienda
R23	756.047	5.937.768	3.680	Vivienda
R24	755.159	5.936.408	2.290	Escuela



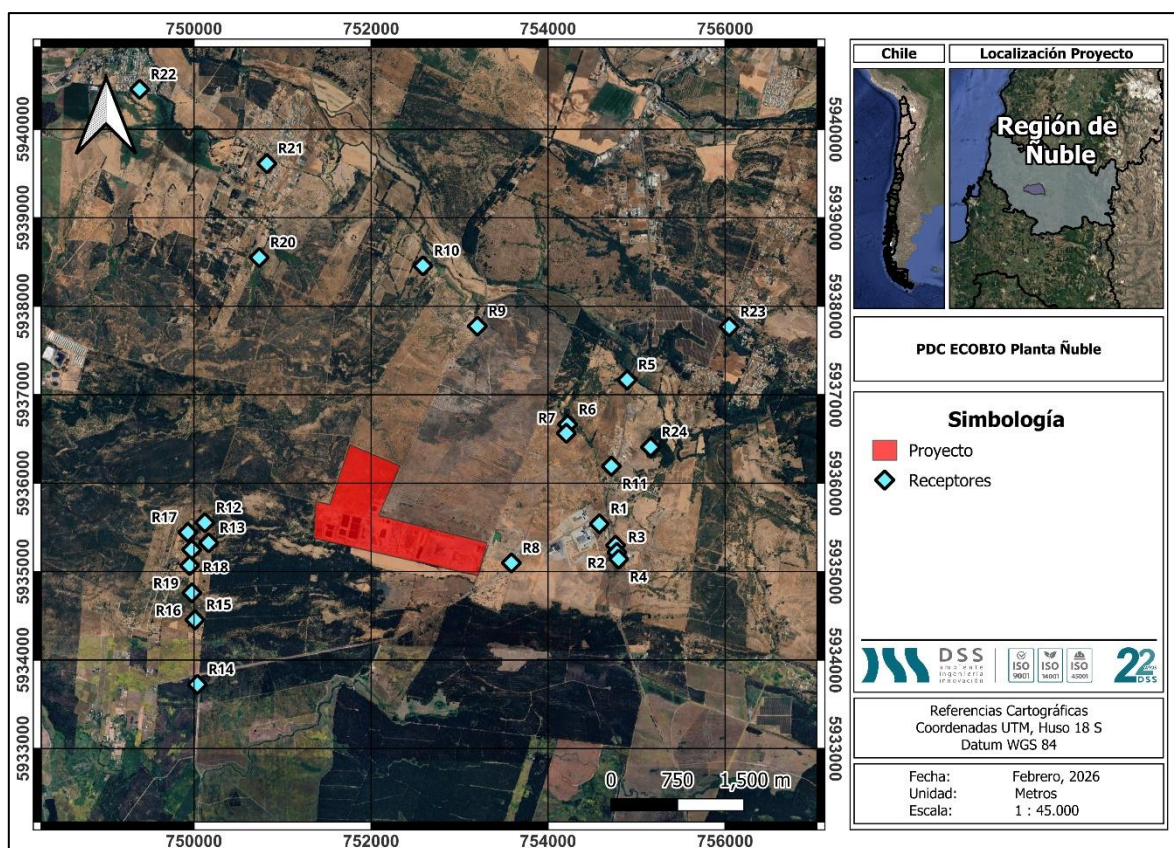


Figura 3. Ubicación de los receptores discretos cercanos al proyecto

5.3 Olfatometría dinámica

Las emisiones de referencia se determinaron a partir del muestreo directo realizado en 5 campañas en los años 2017, 2018, 2019 y 2024. El levantamiento de emisiones de olor se realizó acorde a la metodología chilena de muestreo NCh 3386:20151 una vez finalizados los muestreos en terreno, las muestras fueron analizadas en laboratorio para la determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica acorde a los estándares indicados en la NCh 3190:2010. La homologación de fuentes se realizó en términos de emisión de olor y acorde a la similitud operacional indicada por el Titular. El detalle de las emisiones consideradas se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4. Campañas de muestreo

Unidad	Área	Campaña de muestreo					Medido/ Homologado
		mar-17	may-18	abr-19	ene-24	jul-24	
Piscina 11A (lixiviado)	672	No	Si	No	Si	Si	Medido



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



Unidad	Área	Campaña de muestreo					Medido/ Homologado
		mar-17	may-18	abr-19	ene-24	jul-24	
Celda VIII-IA	6.450	No	No	No	No	No	Homologado a celda VII
Piscina 1 (lixiviado)	1.520	No	Si	No	Si	Si	Medido
Piscina 2 (lixiviado)	760	No	Si	No	Si	Si	Medido
Evaporación 1	5.775	Si	No	No	No	Si	Medido
Evaporación 2	4.535	No	No	No	No	No	Homologado a Evaporación 1
Evaporación 3	4.610	No	No	No	No	No	Homologado a Evaporación 1
Frente de trabajo RSU	1.000	No	Si	No	Si	Si	Medido
Zócalo	150	No	Si	No	Si	Si	Medido
Celda V-2A	9.000	No	No	No	No	Si	Medido
Celda IX-IA	6.450	No	No	No	No	No	Homologado a celda VII
Piscina 11B (lixiviado)	900	No	Si	No	Si	Si	Medido
TK 10	9.000	No	Si	No	Si	Si	Medido
Celda V-IA (frente de trabajo CITA)	450	No	No	No	No	No	Homologado a Celda V-2A
Celda V-IB	6.000	No	No	No	No	No	Homologado a Celda V-2A
Celda VI-IIA	6.759	No	No	No	No	No	Homologado a Celda V-2A

Debido a lo anterior, en este estudio no se utilizaron factores de emisión, sino únicamente los factores de referencia mencionados previamente.



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



5.3.1 Descripción de las emisiones de olor

Según lo indicado en la Guía de Olores, para estimar las emisiones es necesario identificar las unidades emisoras que generan olor

Tabla 5. Descripción de las unidades emisoras de olor

Unidad	Tipo de fuente	Abatimiento	Método de abatimiento	Descriptor	Intensidad	Tono hedónico	Ofensividad
Piscina 11A (lixiviado)	Difusa	0%	Sin abatimiento	Vegetales descompuestos, amoníaco	3 (Distinguible)	-3 (Muy desagradable)	2 (Ofensivo)
Celda VIII-IA	Difusa	0%	Sin abatimiento	Sulfuro, vegetales descompuestos	3 (Distinguible)	-2 (Desagradable)	2 (Ofensivo)
Piscina 1 (lixiviado)	Difusa	100%	Cubierta HDPE	Caucho, quemado, irritante	3 (Distinguible)	-2 (Desagradable)	3 (Muy ofensivo)
Piscina 2 (lixiviado)	Difusa	100%	Cubierta HDPE	Goma, quemado	2 (Débilmente perceptible)	-2 (Desagradable)	2 (Ofensivo)
Evaporación 1	Difusa	0%	Sin abatimiento	Quemado, plástico	2 (Débilmente perceptible)	-2 (Desagradable)	2 (Ofensivo)
Evaporación 2	Difusa	0%	Sin abatimiento	Quemado, plástico	2 (Débilmente perceptible)	-2 (Desagradable)	2 (Ofensivo)
Evaporación 3	Difusa	0%	Sin abatimiento	Quemado, plástico	2 (Débilmente perceptible)	-2 (Desagradable)	2 (Ofensivo)
Frente de trabajo RSU	Difusa	0%	Sin abatimiento	Vegetales descompuestos, percolado, cítrico	4 (Fuerte)	-3 (Muy desagradable)	2 (Ofensivo)
Zócalo	Difusa	0%	Sin abatimiento	Quemado, pintura irritante	4 (Fuerte)	-3 (Muy desagradable)	3 (Muy ofensivo)
Celda V-2A	Difusa	100%	Cubierta HDPE	Sulfuro	4 (Fuerte)	-2 (Desagradable)	3 (Muy ofensivo)
Celda IX-IA	Difusa	0%	Sin abatimiento	Sulfuro, vegetales descompuestos	3 (Distinguible)	-2 (Desagradable)	2 (Ofensivo)
Piscina 11B (lixiviado)	Difusa	0%	Sin abatimiento	Mohoso	2 (Débilmente perceptible)	-1 (Levemente desagradable)	1 (Levemente ofensivo)
TK 10	Difusa	100%	Cubierta HDPE	Sulfuro	4 (Fuerte)	-2 (Desagradable)	3 (Muy ofensivo)



Unidad	Tipo de fuente	Abatimiento	Método de abatimiento	Descriptor	Intensidad	Tono hedónico	Ofensividad
Celda V-IA (frente de trabajo CITA)	Difusa	30%	Sistema de tratamiento de gases (TSG) ²	Sulfuro	4 (Fuerte)	-2 (Desagradable)	3 (Muy ofensivo)
Celda V-IB	Difusa	0%	Sin abatimiento	Sulfuro	4 (Fuerte)	-2 (Desagradable)	3 (Muy ofensivo)

² Utilizando un análogo de compuesto neutralizante y entendiendo que no tenemos las pruebas de abatimiento de Odour Destroyer, además asumiendo la tasa de emisión y condiciones del EIO mar-2025 para Ecobio, viento sur a norte (Chillán) con velocidad entre 1 y 3 m/s Humedad relativa > 60%, Temperatura entre 10 y 25°C, pasando por 2 costados de la línea, tenemos entre un abatimiento de 30% a un 61% para NH₃ y 15 a 34% para H₂S.



5.4 Escenario de modelación

Dado que se trata de una planta existente, fue posible realizar mediciones directas para determinar los niveles de olor mediante olfatometría dinámica. Esta información fue presentada en la Tabla 4.

Tabla 6. Fuentes del proyecto

Fuente emisora	Área (m ²)	Coordenadas centrales UTM WGS-84 18 S		Temporalidad
		Este (m)	Norte (m)	
Piscina 11A (lixiviado)	672,00	752.712	5.935.447	Anual continuo / 00:00 a 23:59
Celda VIII-IA	6.450,00	752.602	5.935.371	Anual continuo / 00:00 a 23:59
Piscina 1 (lixiviado)	1.520,00	752.191	5.935.558	Cubierta HDPE
Piscina 2 (lixiviado)	760,00	752.302	5.935.536	Cubierta HDPE
Evaporación 1	5.775,00	752.134	5.935.430	Octubre a Abril / 07:00 a 23:00
Evaporación 2	4.535,00	752.025	5.935.343	Octubre a Abril / 07:00 a 23:00
Evaporación 3	4.610,00	751.942	5.935.409	Octubre a Abril / 07:00 a 23:00
Frente de trabajo RSU	1.000,00	752.688	5.935.339	Anual continuo / 00:00 a 23:59
Zócalo	150,00	752.266	5.935.387	Lunes a viernes / 08:00 a 18:00
Celda V-2A	9.000,00	751.800	5.935.413	Cubierta HDPE
Celda IX-IA	6.450,00	752.546	5.935.383	Anual continuo / 00:00 a 23:59
Piscina 11B (lixiviado)	900,00	752.674	5.935.454	Anual continuo / 00:00 a 23:59



Fuente emisora	Área (m ²)	Coordenadas centrales UTM WGS-84 18 S		Temporalidad
		Este (m)	Norte (m)	
TK 10	9.000,00	752.143	5.935.571	Cubierta HDPE
Celda V-IA (Frente de trabajo CITA)	450,00	751.812	5.935.599	Anual continuo / 00:00 a 23:59
Celda V-IB	6.000,00	751.818	5.935.502	Periodo invernal (abril a agosto) / 00:00 a 23:59



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



5.5 Medidas de abatimiento

Desde la perspectiva sanitaria, la gestión de olores se orienta principalmente a prevenir efectos de molestia, estrés y deterioro del bienestar de la población expuesta. En este contexto, la Organización Mundial de la Salud reconoce que los olores ambientales, aun cuando no impliquen necesariamente toxicidad aguda a bajas concentraciones, pueden constituir un factor de estrés ambiental capaz de afectar la calidad de vida, el confort y la percepción de salud de las comunidades cercanas. Por ello, la reducción de compuestos odoríferos tales como amoníaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otros compuestos reducidos de azufre y nitrógeno resulta relevante tanto desde el punto de vista ambiental como sanitario, al disminuir la probabilidad de percepción y la ocurrencia de molestias en los receptores.

En coherencia con este enfoque preventivo, el proyecto implementa una estrategia de control jerarquizada que combina medidas de minimización en la fuente, abatimiento activo y gestión operacional. En las zonas de mayor generación de olor, particularmente frentes activos, se dispone de un sistema de tratamiento de gases basado en detección de concentraciones y atomización controlada de agua con agentes neutralizantes, el cual permite la absorción y neutralización química de compuestos como H_2S y NH_3 mediante torres de aspersión, activándose automáticamente cuando se superan umbrales predefinidos y considerando variables meteorológicas locales. Bajo condiciones representativas de operación, se estiman eficiencias de abatimiento del orden de 30–61% para NH_3 y 15–34% para H_2S , contribuyendo a reducir la carga odorante emitida hacia la atmósfera.

Complementariamente, se contemplan medidas pasivas de contención física, consistentes en la instalación de cubiertas impermeables de HDPE en unidades con potencial de emisión superficial, tales como piscinas de lixiviados y celdas clausuradas o en condición de cobertura. Estas cubiertas actúan como barrera difusiva, limitando el intercambio gas-atmósfera y reduciendo prácticamente a cero la liberación de compuestos odorantes desde dichas superficies. En el escenario evaluado, unidades como Piscina 1, Piscina 2, Celda V-



2A y TK-10 operan con este tipo de cobertura, lo que explica la ausencia o mínima contribución de estas fuentes al inventario de emisiones del sistema.

En conjunto, la aplicación simultánea de cubiertas HDPE, sistemas de neutralización por aspersión y control operacional de áreas activas permite reducir tanto la tasa de emisión odorante total como la exposición en los receptores, manteniendo las concentraciones modeladas mayoritariamente en rangos de percepción leve o insignificante y en concordancia con criterios de protección del bienestar comunitario.

6 Estimación de emisiones de olor

La estimación de emisiones de odorantes se realizó en base a la información presentada en el acápite 5.3, en donde se consideraron factores de referencia obtenidos de la olfatometría dinámica, que fueron resumidos en la Según lo indicado en la Guía de Olores, para estimar las emisiones es necesario identificar las unidades emisoras que generan olor Tabla 5 del presente informe. Esta estimación considera todas las unidades operativas en la planta.

La Tasa de Emisión Total de Olor (TEO) (uoE/s) para las fuentes superficiales, presentada en la Tabla 7, se calcula multiplicando la Emisión por Área (uoE/m²·s) por el área transversal de la fuente (m²).

Tabla 7. Estimación de emisiones odorantes

Unidad	Tipo de fuente	Área (m2)	Emisión	Abatimiento	Método de abatimiento	TEO
Piscina 11A (lixiviado)	Difusa	672	17,2	0%	Sin abatimiento	11.558,40
Celda VIII-IA	Difusa	6.450	6,4	0%	Sin abatimiento	41.280,00
Piscina 1 (lixiviado)	Difusa	1.520	11,1	100%	Cubierta HDPE	0,00
Piscina 2 (lixiviado)	Difusa	760	5	100%	Cubierta HDPE	0,00
Evaporación 1	Difusa	5.775	3,3	0%	Sin abatimiento	19.057,50
Evaporación 2	Difusa	4.535	3,3	0%	Sin abatimiento	14.965,50
Evaporación 3	Difusa	4.610	3,3	0%	Sin abatimiento	15.213,00
Frente de trabajo RSU	Difusa	1.000	34	0%	Sin abatimiento	34.000,00



Unidad	Tipo de fuente	Área (m2)	Emisión	Abatimiento	Método de abatimiento	TEO
Zócalo	Difusa	150	17,2	0%	Sin abatimiento	2.580,00
Celda V-2A	Difusa	9.000	20,4	100%	Cubierta HDPE	0,00
Celda IX-IA	Difusa	6.450	6,4	0%	Sin abatimiento	41.280,00
Piscina 11B (lixiviado)	Difusa	900	2,3	0%	Sin abatimiento	2.070,00
TK 10	Difusa	9.000	3,6	100%	Cubierta HDPE	0,00
Celda V-IA (frente de trabajo CITA)	Difusa	450	20,4	30%	aspersores	6.426,00
Celda V-IB	Difusa	6.000	20,4	0%	Sin abatimiento	122.400,00
TOTAL						310.830,40

Tabla 8. Ranking de las unidades generadoras de olor

Unidad	Área (m ²)	TEO	Ranking	Ranking acumulado
Celda V-IB	6.000	122.400,00	39,38%	39,38%
Celda VIII-IA	6.450	41.280,00	13,28%	52,66%
Celda IX-IA	6.450	41.280,00	13,28%	65,94%
Frente de trabajo RSU	1.000	34.000,00	10,94%	76,88%
Evaporación 1	5.775	19.057,50	6,13%	83,01%
Evaporación 3	4.535	15.213,00	4,89%	87,90%
Evaporación 2	4.610	14.965,50	4,81%	92,72%
Piscina 11A (lixiviado)	672	11.558,40	3,72%	96,44%
Celda V-IA (frente de trabajo CITA)	450	6.426,00	2,07%	98,50%
Zócalo	150	2.580,00	0,83%	99,33%
Piscina 11B (lixiviado)	900	2.070,00	0,67%	100,00%
Piscina 1 (lixiviado)	1.520	0,00	0,00%	100,00%
Piscina 2 (lixiviado)	760	0,00	0,00%	100,00%
Celda V-2A	9.000	0,00	0,00%	100,00%
TK 10	900	0,00	0,00%	100,00%

En los resultados presentados en la Tabla 8, se observa la distribución del aporte de emisiones odorantes de las distintas unidades operacionales. Se evidencia que la Celda V-IB constituye la principal fuente emisora, con un valor de 122.400,00 ou/s, lo que representa aproximadamente 39,38% del total, concentrando por sí sola cerca de dos quintos de la carga odorante del sistema. En segundo lugar, se ubican la Celda VIII-IA y la Celda IX-IA,



ambas con 41.280,00 ou/s cada una (13,28% respectivamente), seguidas por el Frente de trabajo RSU, con 34.000,00 ou/s (10,94%). Estas unidades corresponden principalmente a áreas activas de disposición y manejo de residuos, donde la exposición de materia orgánica fresca, la degradación biológica y la generación de lixiviados favorecen la liberación de compuestos odorantes. Asimismo, las altas tasas registradas en estas zonas no solo se explican por elevadas emisiones, sino también por la gran extensión de las áreas involucradas, en consecuencia, superficies extensas con emisiones moderadas o altas pueden generar aportes totales significativos al inventario odorante del sistema. Finalmente, algunas instalaciones no registran emisiones significativas durante el periodo evaluado, presentando TEO igual a 0,00 ou/s, debido a que cuentan con una cubierta de HDPE que impide la liberación de compuestos odorantes hacia la atmósfera.

En conjunto, el análisis indica que las mayores contribuciones odorantes provienen principalmente de celdas activas y frentes de trabajo, donde predominan procesos de descomposición biológica y mayor superficie expuesta, lo que incrementa la volatilización de compuestos generadores de olor.

7 Modelación meteorológica

Existen dos tipos de datos meteorológicos: datos observados y datos generados por un modelo numérico. En todos los tipos de modelaciones de calidad del aire se requiere de al menos uno de estos datos.

Por otro lado, el modelo numérico recomendado para la generación de datos meteorológicos es WRF (Weather Research and Forecasting Model, por sus siglas en inglés). Este modelo es uno de los simuladores meteorológicos de pronóstico más avanzados, completos y en constante mejora, mantenido por NCAR/NOAA de Estados Unidos. Además, ha sido utilizado en la mayoría de los proyectos relacionados con el comportamiento atmosférico encargados por la Comisión Nacional de Energía, Ministerio del Medio Ambiente, entre otros. El modelo WRF abarca un área de aproximada de 3.243 km², y presenta una grilla de 1 km de resolución.



7.1 Justificación año de modelación meteorológica

Como explica la "Guía Para El Uso De Modelos De Calidad Del Aire En El SEIA" (SEA, 2023) "por razones prácticas se recomienda una simulación de al menos un año completo para contaminantes primarios. Para la elección de ese año, se recomienda que se analicen al menos los tres años anteriores de datos observados en el dominio de modelación a la fecha de presentación del proyecto al SEIA, o en su defecto aquellos tres años anteriores que cuenten con la data suficiente (75% según numeral 4.3.1 de esta Guía), y que en la revisión de estos antecedentes se escoja el escenario (año) de peor condición para la dispersión de los contaminantes.". Debido a lo anterior, y considerando que la fecha de presentación de resultados para el presente PDC es el 2026, se estudian los años 2023, 2024 y 2025.

Para la selección del año a modelar se realizó un análisis de las concentraciones de contaminantes para la estación Purén, la cual pertenece al Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire o red SINCA y es aquella más cercana al proyecto, tal como muestra la

Tabla 9. Distancia de las estaciones cercanas al proyecto

Estación	Red meteorológica	Coordenada UTM USO 18 S Este (m)	Coordenada UTM UTM USO 18 S Norte (m)	Distancia (km)
Purén	SINCA	759.972	5.943.765	11
Estación INIA, Chillan	SINCA	760.382	5.946.127	13

Se utilizaron los datos de concentración material particulado grueso, desde ahora llamado MP10, y material particulado fino, desde ahora llamado MP2,5 medidos en la estación Purén. En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. podemos observar el porcentaje de datos disponibles para cada contaminante durante los años 2023, 2024 y 2025, donde se es claro que todos los años evaluados cuentan con más del 75% de los datos. El análisis se centra en estos años porque corresponden al período previo al ingreso del proyecto.



Tabla 10. Porcentaje de datos de material particulado medido en la estación Purén

Estación Purén		
Año	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2023	99,6%	99,4%
2024	99,3%	98,1%
2025	98,8%	98,9%

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presentan los estadísticos: media anual y el percentil 98 de los promedios diarios, calculados para MP10 y MP2,5 durante cada año en evaluación.

Tabla 11. Concentración de material particulado medido en la estación Purén

Estación Purén				
Año	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Anual	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Anual	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) diario	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) diario
2022	29,28	47,11	165,13	140,43
2023	25,06	44,67	157,63	128,78
2024	23,30	38,97	149,59	125,57

A partir de los datos anuales registrados en la estación Purén para el periodo 2023 - 2025, se observa que las concentraciones para MP10 y MP2,5 anual las concentraciones son mayores el año 2023, con magnitudes de 47,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 29,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

De la misma forma, el percentil 99 de las concentraciones diarias de MP10 y MP2,5 muestran que el año 2023 presenta mayores concentraciones, con respecto a los otros años analizados: MP10 muestra una concentración de 165,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y MP2,5 una de 140,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

De acuerdo con estos resultados, el año que presenta la peor condición de dispersión es 2023, el cual presenta las mayores concentraciones entre los años analizados, por ende, se escoge como año de la modelación meteorológica.

7.2 Análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre nos permite analizar que tan bien el modelo representa los datos observados. Tal como se plantea en la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en



el SEIA" (2012) de manera textual "cualquier modelo (meteorológico o de calidad del aire) representa una aproximación a la realidad y, en consecuencia, sus resultados tienen incertidumbres asociadas"³.

El modelo WRF simuló las condiciones meteorológicas dentro de un rango de 57 x 57 celdas de una dimensión de 1 x 1 km. Para cuantificar esta incertidumbre, se realiza un análisis comparativo entre los valores proporcionados por el modelo WRF (datos meteorológicos modelados) y los valores registrados por una estación meteorológica dentro del dominio de modelación (datos meteorológicos observados).

Para efectos del análisis del ajuste de los datos meteorológicos simulados se seleccionó una celda en donde se ubica la estación Purén, desde la cual se extrajeron los datos y se compararon con los valores observados de la estación meteorológica antes mencionada.

Como se mencionó en el apartado **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de este documento, el año seleccionado para el análisis es 2023, el cual representa el período con las peores condiciones de dispersión de contaminantes y coincide con el año de simulación del modelo WRF.

La correlación de los datos se determinó a través del ajuste por mínimos cuadrados, método en el que existen dos parámetros principales: el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) y el coeficiente de determinación (R^2).

El coeficiente de correlación lineal es una medida de relación de Pearson entre dos variables y se usa para medir el grado de relación entre ellas. El rango de valores va desde el -1 al 1 y está representado por la siguiente ecuación.

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Donde,

- σ_{xy} , es la covarianza entre x e y;

³ Texto extraído del primer párrafo de la página 38, acápite 7 de la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (2012)



- σ_x , es la desviación estándar de x;
- σ_y , es la desviación estándar de y.

El coeficiente de determinación se utiliza como medida de eficiencia de la cobertura de datos midiendo el porcentaje de variación entre las variables observadas y modeladas, es decir, testea la capacidad predictiva del modelo e indica la proporción de la varianza de los resultados que puede ser explicado por el modelo. Los valores del coeficiente de determinación varían de 0 a 1, siendo este último el valor óptimo y está determinada por la siguiente relación.

$$R^2 = r_{xy}^2 = \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \right)^2$$

Donde,

- σ_{xy} , es la covarianza entre x e y;
- σ_x , es la desviación estándar de x;
- σ_y , es la desviación estándar de y.

Se presenta el análisis de tendencia de los valores modelados a estar sobredimensionados o subdimensionados respecto de los observados, a través del BIAS, el valor óptimo es 0 y su cálculo se realiza según la siguiente ecuación.

$$\text{BIAS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)$$

Donde,

- S_i , es el valor simulado;
- O_i , es el valor observado;
- n , es el número de mediciones, en este caso el número de horas en un año, es decir, 8.760.



Se presenta el Mean Absolute Error (MAE), el cual es una medida del error promedio absoluto del modelo con respecto a las observaciones. Este estadístico se calcula mediante la siguiente formula.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - O_i|$$

Donde,

- S_i , es el valor simulado;
- O_i , es el valor observado;
- n , es el número de mediciones, en este caso el número de horas en un año, es decir, 8.760 o 8764, según corresponda.

El Root Mean Square Error (RMSE) es una medida del desempeño promedio del modelo, el cual, según el SEA, es un "estimador de la frecuencia de las diferencias entre los valores observados y modelados, siendo especialmente sensible a los valores atípicos, por lo tanto, a mayor diferencia entre estos valores menor será el grado de ajuste de este estadístico". Esta estadística valores de 0 al infinito, donde 0 es el valor de una modelación sin errores y va creciendo a medida que decrece la capacidad del modelo de representar la realidad.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

A continuación, se presentan el análisis cuantitativo y cualitativo.

7.2.1 Análisis cuantitativo

En iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta los resultados de los estadísticos solicitados por el SEA, para las variables velocidad del viento y temperatura.



Tabla 12. Resultados estadísticos obtenidos por la modelación respecto a la estación Purén

Variable	Coefficiente de correlación (r)	Coefficiente de determinación (r ²)	BIAS	MAE	RMSE
Temperatura (°C)	0,62	0,38	-1,81	2,3	2,5
Velocidad del viento (m/s)	0,95	0,90	1,97	2,1	2,8
Métricas estadísticas propuestas por la guía de modelación SEA recomendables en el análisis de incertidumbre para las variables meteorológicas⁴					
Temperatura (°C)	>0,8	-	[-4, 4]	≤ 4	≤ 4,5
Rapidez del viento (m/s)	>0,6	-	[-2,5, 2,5]	≤ 3	≤3,5

De la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se desprende que la incertidumbre del modelo se encuentra dentro de los valores sugeridos por la autoridad. Esto indica que el modelo representa adecuadamente la variabilidad y magnitud del viento y temperatura observada en la estación Purén.

7.2.1 Análisis cualitativo

A continuación, se presenta el análisis cualitativo de las salidas del modelo WRF en el punto de grilla más cercana a la estación Purén y las observaciones dicha estación. Este análisis consiste en la comparación de las frecuencias de ocurrencia, de los ciclos diarios y mensuales observados y modelados.

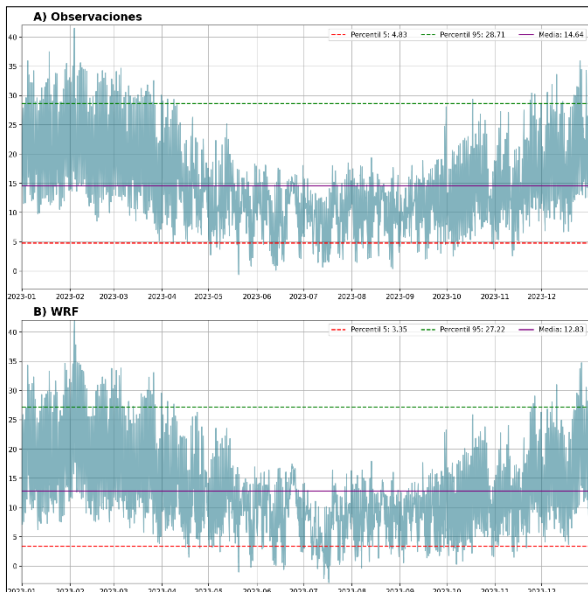
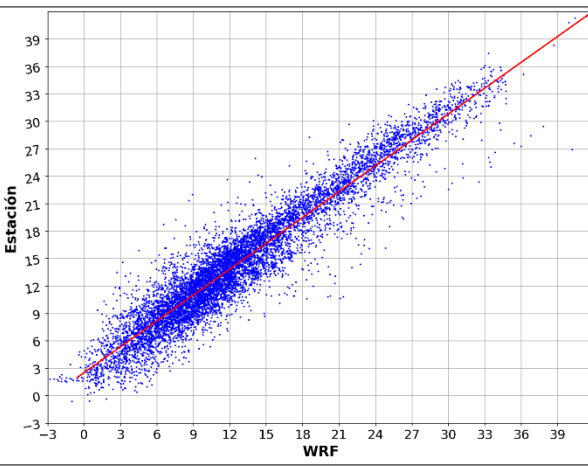
7.2.1.1 Temperatura modelada y observada

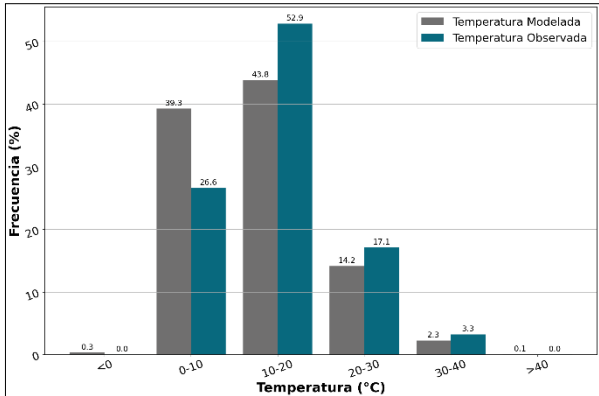
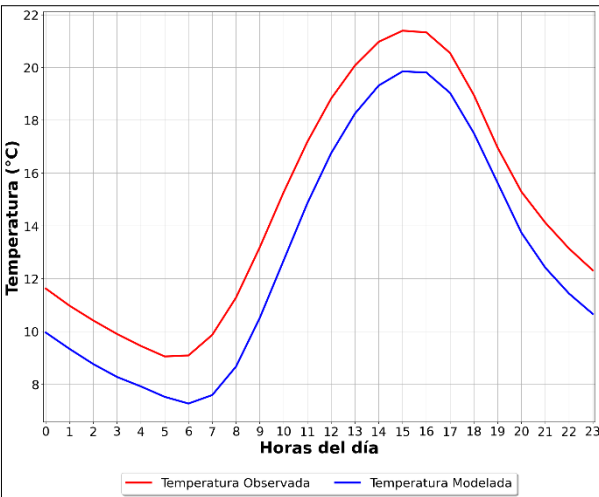
En iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta la caracterización entre la temperatura horaria observada en la estación Purén y las simuladas por el modelo WRF del año 2023 en el punto de grilla más representativo a la zona de emplazamiento de la estación

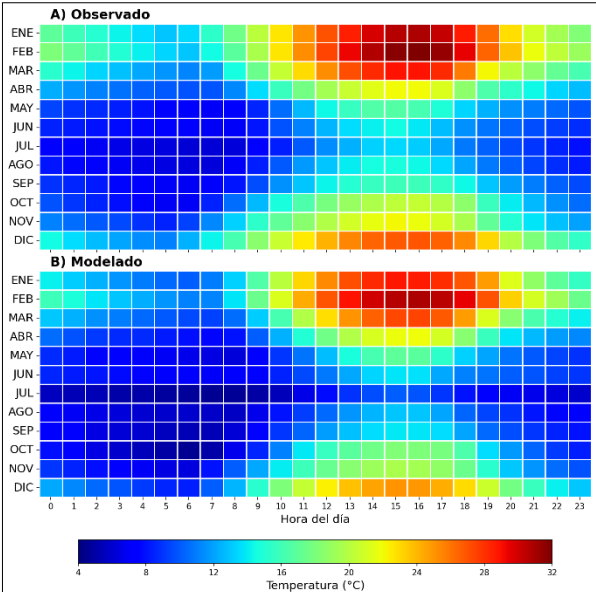
⁴ Estas métricas se obtienen a partir de la Tabla 2 de la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA".



Tabla 13. Temperatura modelada con WRF y observada en la estación Purén

Temperatura simulada y observada		Características
Serie de tiempo		<p>-La serie de tiempo superior corresponde a las observaciones en la estación Purén, mientras que inferior corresponde a la modelación WRF.</p> <p>-Podemos observar como el modelo logra representara claramente el ciclo anual de la temperatura.</p> <p>-Del análisis del rango del 90% de los datos, se aprecia que la temperatura observada es mayor que la modelada.</p> <p>-La media anual observada es 14,64°C y la modelada 12,83°C.</p>
		<p>-La temperatura modelada tiene una correlación significativa con los valores observados en la estación Purén, cuyo valor es de 0,95.</p> <p>-A su vez, el coeficiente de determinación sugiere que el modelo es capaz de representar el 90% de la variabilidad observada ($R^2 = 0,90$).</p>

	Temperatura simulada y observada	Características																					
Frecuencia	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rango de Temperatura (°C)</th> <th>Frecuencia Modelada (%)</th> <th>Frecuencia Observada (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0</td> <td>0.3</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>39.3</td> <td>26.6</td> </tr> <tr> <td>10-20</td> <td>43.8</td> <td>52.9</td> </tr> <tr> <td>20-30</td> <td>14.2</td> <td>17.1</td> </tr> <tr> <td>30-40</td> <td>2.3</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>>40</td> <td>0.1</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Rango de Temperatura (°C)	Frecuencia Modelada (%)	Frecuencia Observada (%)	<0	0.3	0.0	0-10	39.3	26.6	10-20	43.8	52.9	20-30	14.2	17.1	30-40	2.3	3.3	>40	0.1	0.0	<p>-Se observa que el modelo representa adecuadamente la distribución de temperaturas, aunque se presentan ciertas diferencias.</p> <p>-Estas diferencias indican una subestimación de la temperatura modelada con respecto a las observaciones.</p> <p>-Las mayores desviaciones se concentran en los rangos de 0-10 °C y 10-20 °C.</p>
Rango de Temperatura (°C)	Frecuencia Modelada (%)	Frecuencia Observada (%)																					
<0	0.3	0.0																					
0-10	39.3	26.6																					
10-20	43.8	52.9																					
20-30	14.2	17.1																					
30-40	2.3	3.3																					
>40	0.1	0.0																					
Ciclo promedio diario		<p>-La figura presenta el ciclo diario promedio de la temperatura durante todo el periodo, tanto para los datos simulados (línea azul) como para la data observada (línea roja).</p> <p>-En términos generales, el modelo representa adecuadamente la variabilidad diurna.</p> <p>-Se observan diferencias en la magnitud de la temperatura observada y modelada, siendo la modelada sistemáticamente menor en todas las horas.</p>																					

Temperatura simulada y observada		Características
Ciclo promedio diario y mensual	 <p>A) Observado</p> <p>B) Modelado</p> <p>Temperatura (°C)</p>	<p>-La figura presenta el ciclo diario mensual de la temperatura observada (superior) y simulada en WRF (inferior), para el año 2023.</p> <p>-Se observa como el modelo es capaz representar la variabilidad diurna observada con gran precisión, respetando las horas de disminución y aumento de la variable, junto a las horas de máximos y mínimos.</p> <p>-Se aprecian diferencias entre las magnitudes observadas y modeladas, siendo menores las modeladas.</p> <p>-Con respecto a la variabilidad mensual, se observa que el modelo reproduce de manera adecuada las altas temperaturas del período estival, su disminución durante otoño, los mínimos al registrados en julio y el posterior aumento gradual hacia la primavera.</p>

7.2.1.2 Velocidad modelada y observada

En iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta la caracterización entre la velocidad del viento horaria observada en la estación Purén y las simuladas por el modelo WRF del año 2023 en el punto de grilla más representativo a la zona de emplazamiento de la estación.

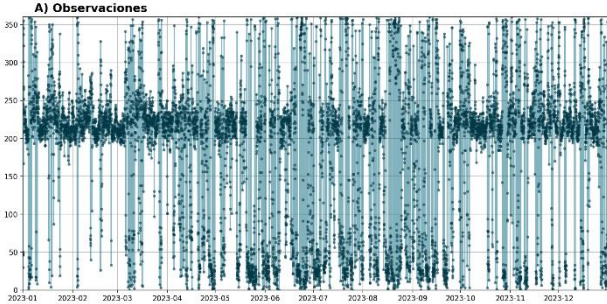
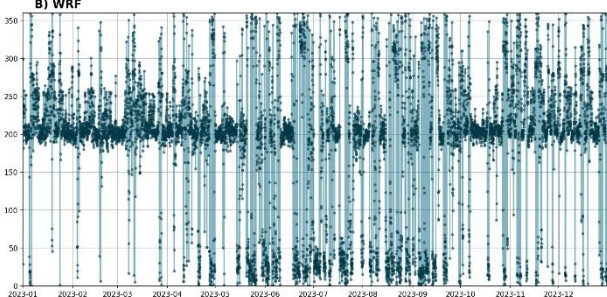
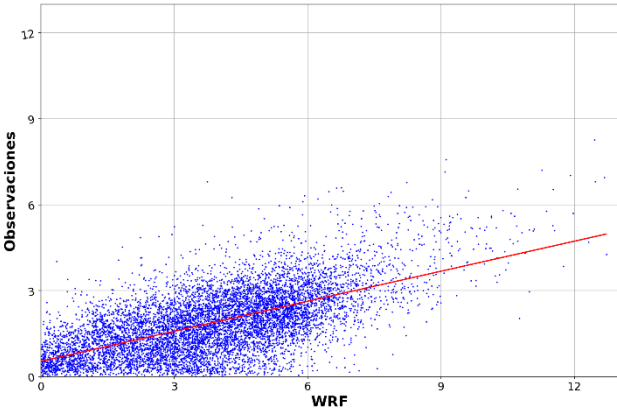


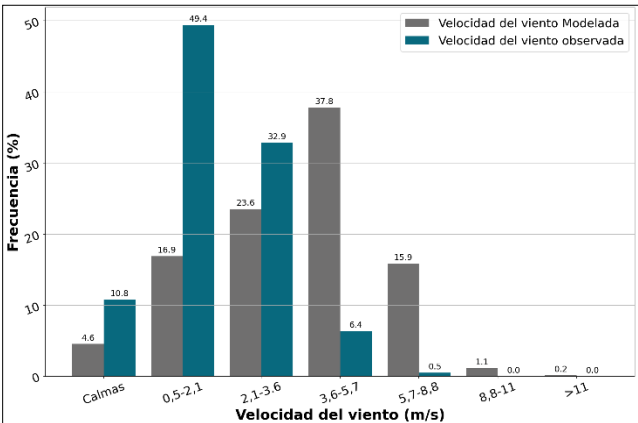
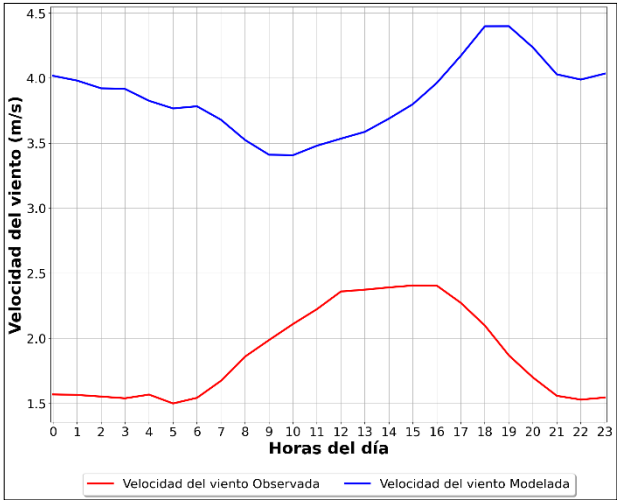
DSS
ambiente
ingeniería
innovación

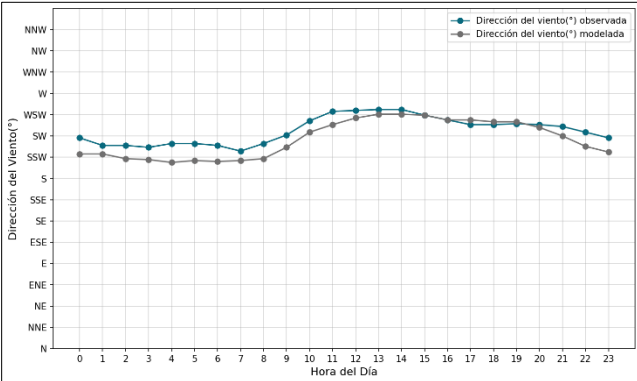


Tabla 14. Velocidad del viento modelado por WRF y observado en la estación Purén

Velocidad del viento simulada y observada	Características
<div data-bbox="240 772 272 1003" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Series de Tiempo</div> <div data-bbox="297 569 933 1203"> <p>A) Observaciones --- Percentil 5: 0.29 --- Percentil 95: 3.85 --- Media: 1.88</p> <p>B) WRF --- Percentil 5: 0.56 --- Percentil 95: 7.09 --- Media: 3.85</p> </div>	<p>-La serie de tiempo superior corresponde a las observaciones en la estación Purén, mientras que la inferior corresponde a la simulación del modelo WRF.</p> <p>-Se observa que el modelo reproduce adecuadamente el ciclo anual de la velocidad del viento.</p> <p>-Existen diferencias en la magnitud de los datos observados y modelados. Siendo los valores observados menores a los modelados.</p> <p>-Del análisis del rango que abarca el 90% de los datos, se aprecia que la velocidad del viento modelada se distribuye en un rango mayor (entre 0,56 a 7,09 m/s) al observado (entre 0,29 a 3,85 m /s).</p> <p>-Los máximos registrados en la serie de tiempo observada son considerablemente menores que los del modelo, el cual alcanza velocidades que pueden superar 12 m/s.</p> <p>-La velocidad media anual observada es 1,88 m/s y la modelada 3,85 m/s.</p>

Velocidad del viento simulada y observada	Características
<div data-bbox="305 359 919 974"> <p>A) Observaciones</p>  <p>B) WRF</p>  </div>	<p>-La serie de tiempo superior corresponde a las observaciones de la estación Purén, mientras que la inferior representa a la simulación del modelo WRF.</p> <p>-Se observa que el modelo reproduce adecuadamente la mayor frecuencia de vientos provenientes entre los 150° y 250°, correspondientes direcciones del sur suroeste, suroeste y oeste suroeste.</p> <p>-El modelo también logra reproducir el cambio en dirección del viento que ocurre hacia finales del otoño e invierno, con vientos entre los 0° y 50°.</p>
<div data-bbox="240 1163 269 1318">Correlación</div> <div data-bbox="302 1031 922 1444">  </div>	<p>-De la figura se observa que existe una correlación positiva entre la rapidez del viento observada y la modelada, siendo el valor del coeficiente de correlación lineal de 0,62.</p> <p>-Por otro lado, el coeficiente de determinación sugiere que el modelo es capaz de representar el 38% del comportamiento observado ($R^2 = 0,38$).</p>

	Velocidad del viento simulada y observada	Características																								
Frecuencia	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rango de Velocidad (m/s)</th> <th>Velocidad del viento Modelada (%)</th> <th>Velocidad del viento observada (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calmas</td> <td>4.6</td> <td>10.8</td> </tr> <tr> <td>0,5-2,1</td> <td>16.9</td> <td>49.4</td> </tr> <tr> <td>2,1-3,6</td> <td>23.6</td> <td>32.9</td> </tr> <tr> <td>3,6-5,7</td> <td>37.8</td> <td>6.4</td> </tr> <tr> <td>5,7-8,8</td> <td>15.9</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>8,8-11</td> <td>1.1</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>>11</td> <td>0.2</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Rango de Velocidad (m/s)	Velocidad del viento Modelada (%)	Velocidad del viento observada (%)	Calmas	4.6	10.8	0,5-2,1	16.9	49.4	2,1-3,6	23.6	32.9	3,6-5,7	37.8	6.4	5,7-8,8	15.9	0.5	8,8-11	1.1	0.0	>11	0.2	0.0	<p>-Se observa que la simulación reproduce la distribución de la velocidad del viento, aunque se aprecian diferencias.</p> <p>-Las mayores desviaciones se concentran en los rangos de 0,5 - 2,1 m/s y 3,6 - 5,7 m/s.</p> <p>-La simulación subestima la frecuencia de los vientos entre 0,5 – 2,1 m/s en un 32,5%.</p> <p>-En contraste, sobrestima los vientos del rango 3,6 – 5,7 m/s en un 31,4%.</p> <p>-En conjunto, estas diferencias reflejan una tendencia general del modelo a sobrestimar la velocidad del viento, lo que se confirma con un BIAS de 1,97 m/s.</p>
Rango de Velocidad (m/s)	Velocidad del viento Modelada (%)	Velocidad del viento observada (%)																								
Calmas	4.6	10.8																								
0,5-2,1	16.9	49.4																								
2,1-3,6	23.6	32.9																								
3,6-5,7	37.8	6.4																								
5,7-8,8	15.9	0.5																								
8,8-11	1.1	0.0																								
>11	0.2	0.0																								
Ciclo promedio diario		<p>-La figura nos presenta el ciclo promedio diario de la rapidez del viento en todo el periodo analizado, para los datos simulados (línea azul) como la data observada (línea roja).</p> <p>-Se observa como la velocidad del viento observada es menor en todas las horas del día.</p> <p>-Existe un desfase temporal entre la simulación y las observaciones: La modelación tiende a mostrar los máximos de la velocidad del viento en torno a las 18:00 horas, mientras que las observaciones lo hace a las 16:00 horas.</p>																								

Velocidad del viento simulada y observada	Características
	<p>-La figura presenta el ciclo diario promedio de la dirección del viento, comparando los datos observados y los simulados por el modelo WRF.</p> <p>-Se observa que ambos conjuntos de datos muestran un patrón diurno similar, con una rotación progresiva de la dirección del viento a lo largo del día.</p> <p>-Tanto los vientos observados y modelados muestran vientos predominantes del suroeste, suroeste y oeste suroeste.</p> <p>- El modelo logra reproducir los horarios donde la dirección del viento cambia, rotando hacia el oeste (09:00 horas), y cuando se vuelve a observar vientos del sur suroeste y suroeste (20:00 horas)</p>

Velocidad del viento simulada y observada	Características
<div data-bbox="240 604 272 1033" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Ciclo promedio diario y mensual</div> <div data-bbox="321 556 906 1045"> <p>A) Observado</p> <p>B) Modelado</p> <p>Horas del día</p> <p>Velocidad del viento (m/s)</p> <p>1.00 1.86 2.71 3.57 4.43 5.29 6.14 7.00</p> </div>	<p>-La figura presenta el ciclo diario mensual de la rapidez del viento observada (superior) y simulada en WRF (inferior), para el año 2023.</p> <p>-Se destacan diferencias, ya que los valores de velocidad de vientos modelados tienden a ser más intensos en todo el periodo analizado.</p> <p>-Notamos que a pesar de la sobre estimación de los vientos, el modelo capta la variación mensual de las observaciones.</p> <p>- Con respecto a la variación en el ciclo diario, el modelo tiende a retrasar la hora donde se produce la máxima velocidad del viento, pero logra representar los cambios estacionales en la variabilidad diaria.</p> <p>-Se destaca que el modelo logra representar de manera coherente la variabilidad observada de la dirección del viento.</p>

7.3 Caracterizaciones variables meteorológicas

Se analizó el comportamiento de los parámetros meteorológicos utilizando los resultados del modelo WRF, para el año 2023, en la zona de emplazamiento del proyecto. Se analizó información de temperatura, velocidad de viento, dirección del viento, precipitación y altura de capa límite modelada en el punto de grilla que representa la ubicación del proyecto. La evaluación abarcó un período anual, desde el 1 de enero de 2023 a las 00:00 hasta el 31 de diciembre de 2023 a las 23:00, con datos horarios.

Los campos de viento fueron determinados por la rapidez del viento y las componentes vectoriales de dirección, las cuales surgen del comportamiento dinámico de las masas de



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



aire. La interacción entre estos componentes caracteriza el comportamiento del viento y su influencia en la dispersión de contaminantes en el área de estudio.

7.3.1 Temperatura

7.3.1.1 Serie de tiempo

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta la serie de tiempo de la temperatura modelada en el punto del proyecto para el año 2023.

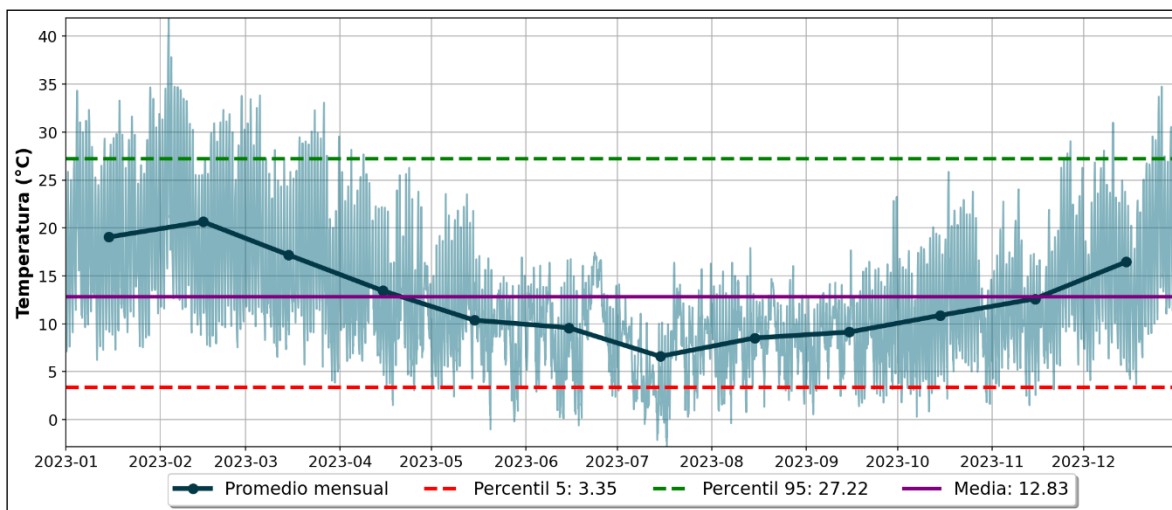


Figura 4. Serie de tiempo modelada de temperatura, obtenida de los datos del modelo WRF 2023

Se puede observar como el modelo presenta un claro ciclo anual donde las temperaturas en meses estivales tienden a ser mayores, mientras que en los meses de invierno son menores. Los promedios mensuales (Línea verde oscura) muestran como las temperaturas son máximas en febrero y luego comienzan a disminuir palatinamente hasta julio, para luego comenzar a aumentar hasta enero. Las temperaturas máximas se alcanzan febrero, con magnitudes sobre los 30°C y un máximo local de 40°C. Mientras que las temperaturas mínimas ocurren entre junio y septiembre, con valores menores a 0°C y un valor mínimo cercano a -1°C.



7.3.1.2 Ciclo diario

En la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta el ciclo diario anual de la temperatura modelada en el punto del proyecto para el año 2023.

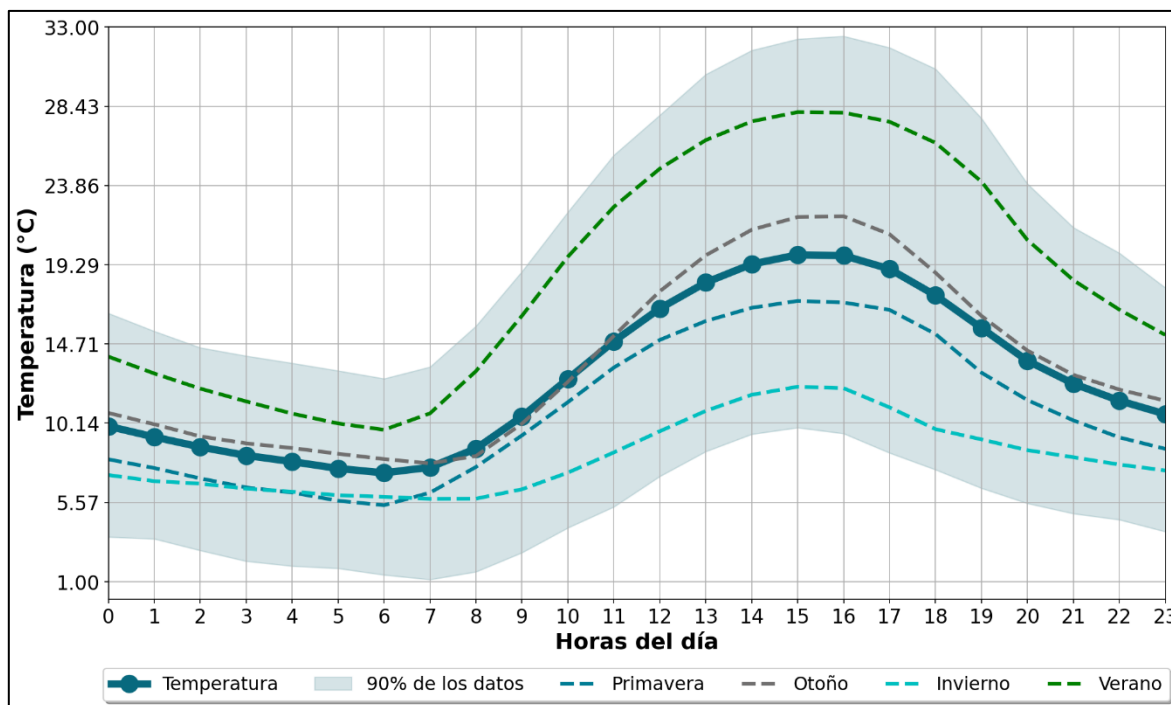


Figura 5. Ciclo diario de la temperatura obtenido de los datos del modelo WRF 2023

Podemos observar como la temperatura anual aumenta a partir de las 06:00 horas y alcanza un máximo entre las 15:00 y 16:00 horas, con una magnitud ligeramente mayor a 19,29°C. Posteriormente, la temperatura comienza a disminuir constantemente hasta las 06:00 horas, donde llega a un mínimo entre los 5,57 y 10,14°C, cerrando el ciclo.

Además, el sombreado azul representa el rango en que se encuentran el 90% de los datos modelados. Podemos observar cómo durante las horas de la tarde, cuando se alcanza la máxima temperatura, la temperatura observada puede variar entre los 10,14°C y los 33,00°C. Mientras tanto, es claro que, durante la noche, las temperaturas pueden oscilar entre los 1,0°C y 19,29°C.



7.3.1.3 Ciclo mensual

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta el perfil horario promedio de la temperatura modelada con WRF para cada mes del año 2023. A lo largo del año, la temperatura muestra un patrón característico tanto a nivel diario como estacional. Durante los meses de verano, se observan temperaturas más altas, especialmente en las horas centrales del día, mientras que en los meses de invierno las temperaturas disminuyen notablemente, alcanzando los valores más bajos durante las primeras horas de la mañana y durante la noche.

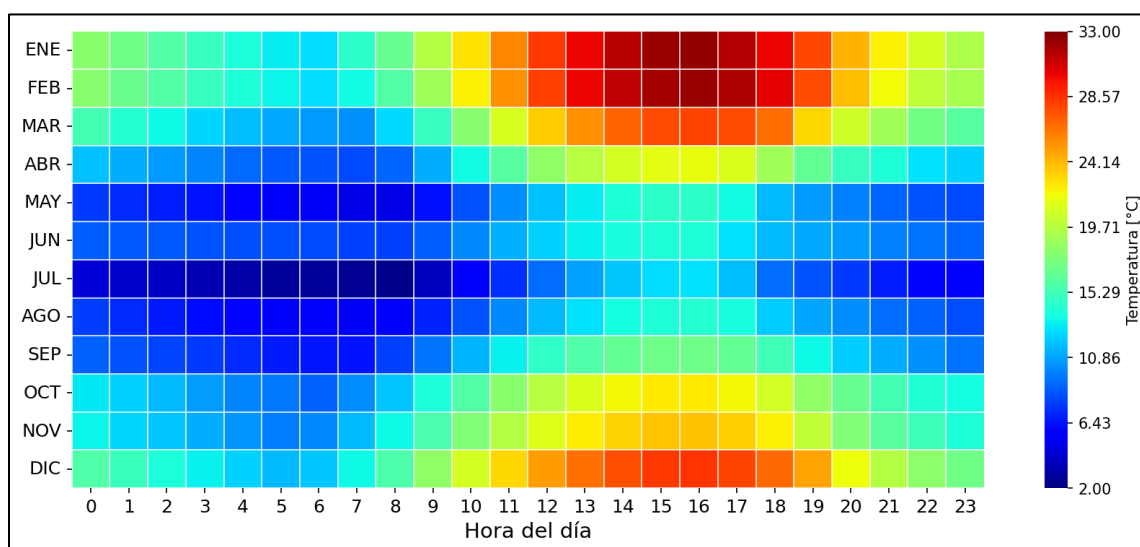


Figura 6. Ciclo mensual diario para la temperatura simulada por el modelo WRF

Este ciclo diario y estacional refleja una variación anual de la temperatura, con días más cálidos y extensos en verano y temperaturas más frías y periodos de calor reducidos en invierno, evidenciando una transición gradual entre las estaciones.

7.3.2 Velocidad y dirección del viento

7.3.2.1 Serie de tiempo

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. y iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta la serie de tiempo de la velocidad y dirección del viento modeladas en el punto del proyecto, para el año 2023.



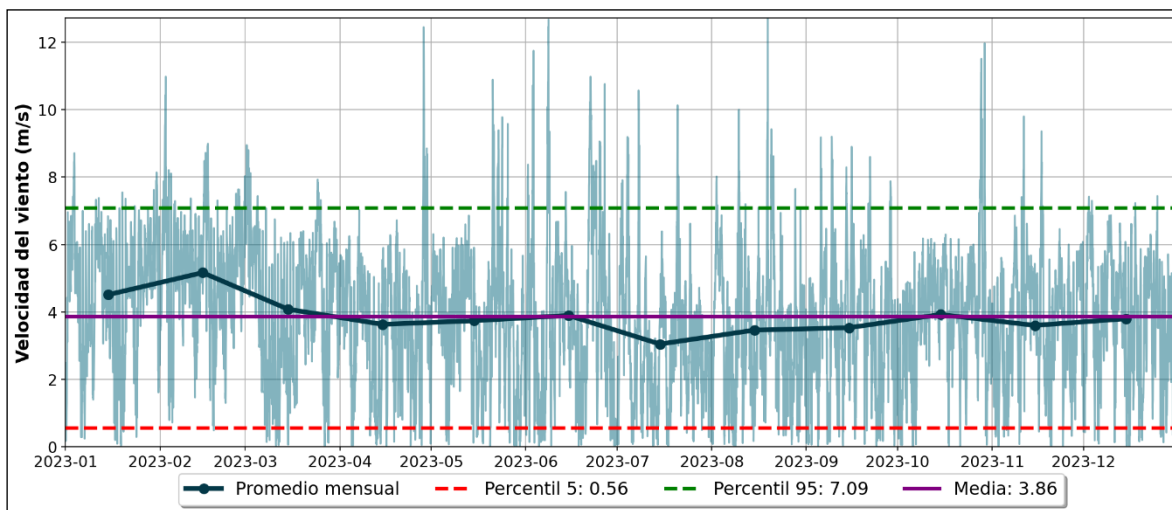


Figura 7. Serie de tiempo modelada de la velocidad del viento

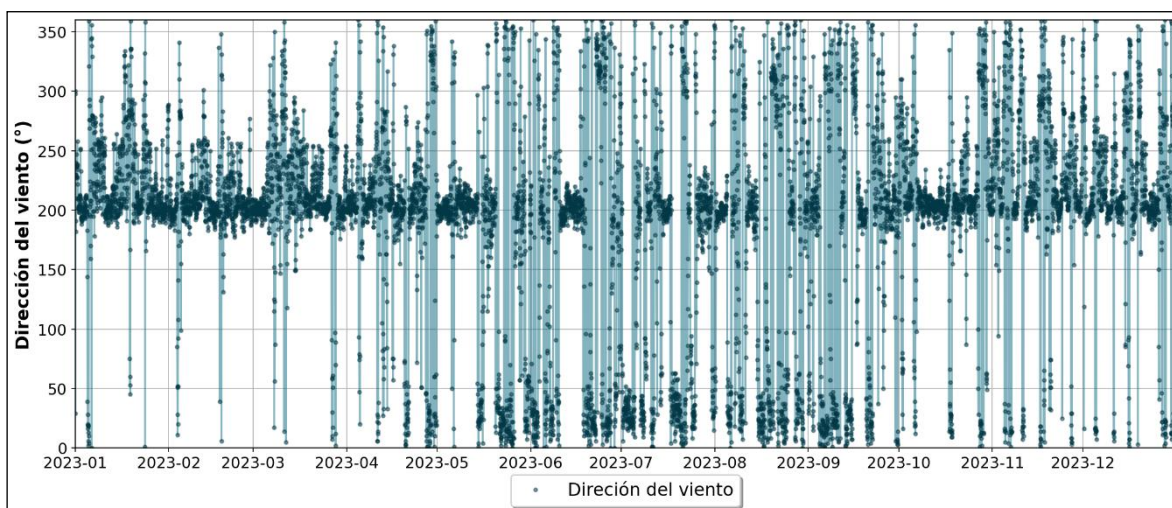


Figura 8. Serie de tiempo modelada de la dirección del viento

Se puede observar como la velocidad del viento modelada durante el año 2023 presenta un valor promedio 3,86 m/s, con valor máximos que superan los 12 m/s. Por otro lado, la dirección del viento modelada muestra una mayor frecuencia entre los 150° y los 250°, lo que corresponde a vientos de componente sur suroeste, suroeste, oeste suroeste.

7.3.2.2 Ciclo diario

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta el ciclo diario anual de la velocidad del viento modelada en el punto del proyecto para el año 2023.



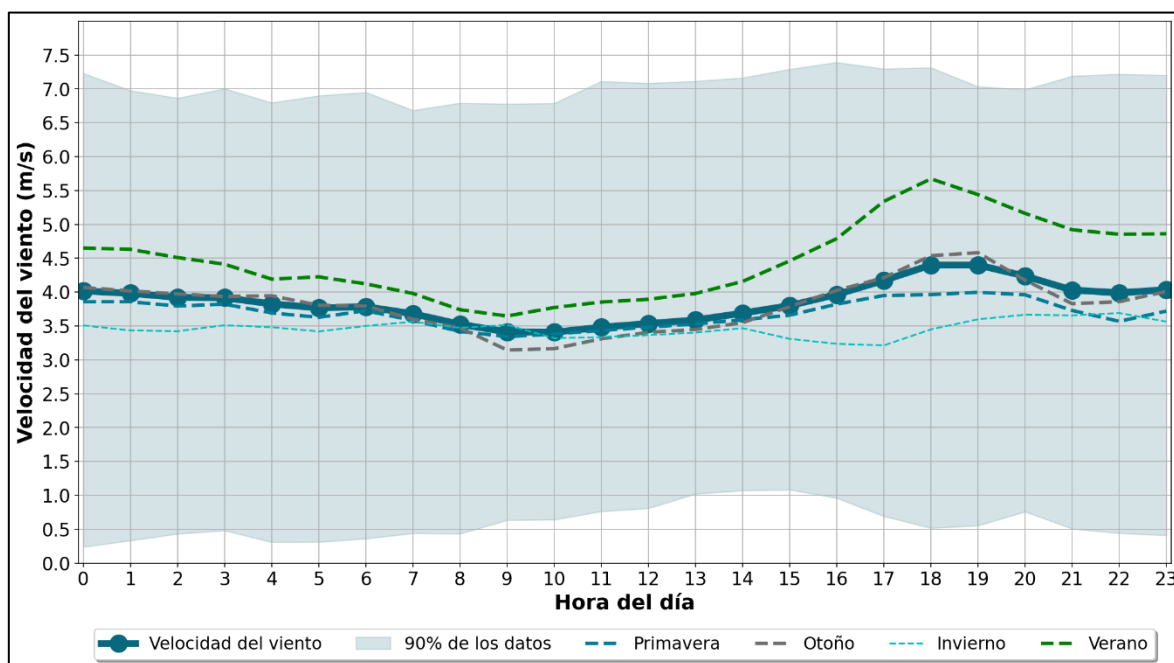


Figura 9. Ciclo diario del viento obtenido de los datos del modelo WRF 2023

Podemos observar como la velocidad del viento comienza a aumentar paulatinamente a partir de las 09:00 horas, hasta alcanzar su máximo entre a las 18:00 y 19:00 horas, en torno a los 4,5 m/s. Luego comienza a disminuir constantemente hasta cerrar el ciclo. Podemos notar que la magnitud del ciclo diario promedio varía entre los 3 y 4,5 m/s.

Con respecto a la variación estacional del ciclo diario, se observa que hay pocos cambios con el ciclo promedio, salvo en invierno donde se observa que la velocidad del viento se mantiene relativamente constante en torno a los 3,5 m/s.



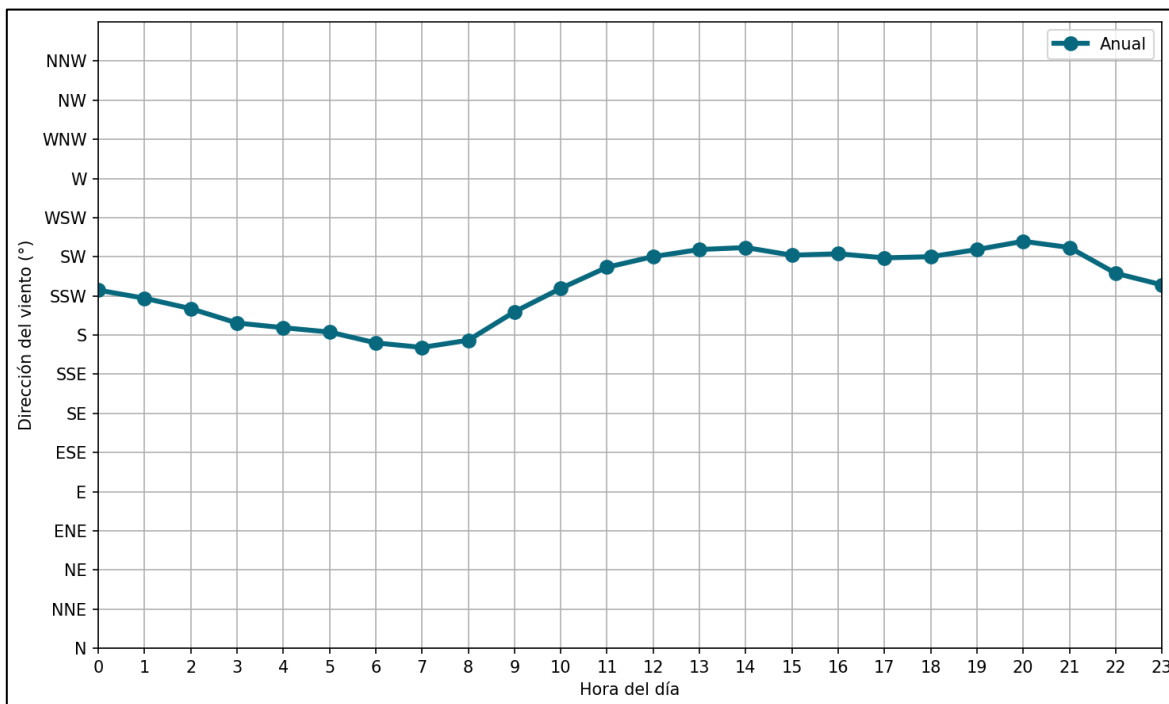


Figura 10. Ciclo diario del viento obtenido de los datos del modelo WRF 2023

Por otro lado, con respecto al ciclo diario de la dirección del viento, se observa que las direcciones predominantes son el sur, sur suroeste y suroeste. Las dos primeras se dan entre las 00:00 y 08:00 horas, posteriormente el viento es principalmente del suroeste hasta las 21:00 horas., donde comienza a rotar hacia el sur, completando el ciclo.

7.3.2.3 Ciclo mensual

La iError! No se encuentra el origen de la referencia. muestra el ciclo diario y mensual de la velocidad y dirección del viento. En el eje horizontal (eje X) se representan las horas del día, mientras que en el eje vertical (eje Y) se encuentran los meses del año. Los colores indican las variaciones de temperatura, donde tonalidades más cálidas representan temperaturas más altas y tonalidades más frías, temperaturas más bajas. Las flechas negras indican la dirección promedio desde la cual sopla el viento.



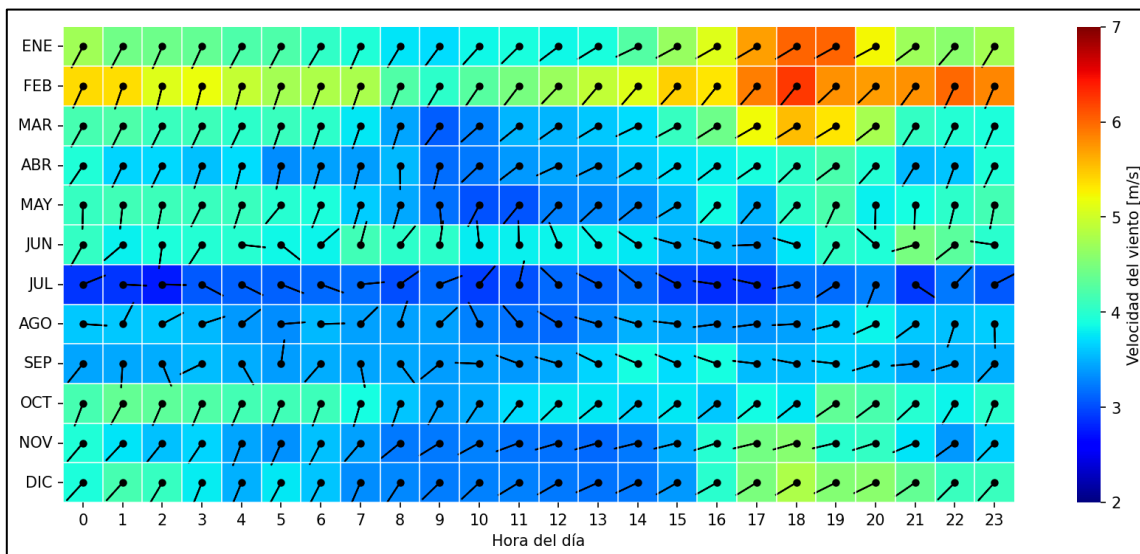


Figura 11. Ciclo mensual diario para la velocidad y dirección del viento simulada por el modelo WRF

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta el perfil horario promedio de la velocidad del viento modelada con WRF para cada mes del año 2023. A lo largo del año, la velocidad del viento muestra un patrón característico tanto a nivel diario como estacional.

Durante los meses de verano (diciembre, enero y febrero), se observa un contraste marcado en las velocidades del viento del periodo 06:00 – 10:00 horas, donde ocurren las menores velocidades del viento, y el periodo 15:00 – 23:00, donde ocurren las mayores velocidades. La dirección del viento más frecuente en estos meses varía entre vientos del sur suroeste, en horas de la mañana, y vientos del suroeste, en horas de la mañana.

Mientras, en los meses de invierno vemos que el contraste es menos marcado e incluso desaparece, lo que indica una poca variación de la velocidad del viento durante el día. Por otro lado, las direcciones del viento que se modelan durante este periodo son de componente este, norte, noroeste, oeste, sur, oeste sur oeste.



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



7.3.3 Rosa de los vientos anual y estacional.

Tabla 15. Rosa de los vientos y distribución de la velocidad del viento

	Rosa y distribución de la velocidad del viento	Características
Anual	<p>The figure consists of two parts: a bar chart on the left and a wind rose diagram on the right. The bar chart displays the percentage distribution of wind speeds across six categories: Calmas (4.6%), 0.5-2.1 (16.9%), 2.1-3.6 (23.6%), 3.6-5.7 (37.8%), 5.7-8.8 (15.9%), and 8.8 (1.3%). The wind rose diagram shows the frequency of wind directions, with the highest frequency (38.9%) coming from the SSO (South-Southwest) direction. Other significant directions include SO (11.7%) and S (9.7%).</p>	<p>-En la figura podemos observar la rosa de los vientos simulada en la ubicación del proyecto.</p> <p>-La dirección más frecuente corresponde al sur suroeste (SSO), con un 38,9% de las mediciones, seguida por las direcciones suroeste (SO) y nor noroeste (SO), con un 11,7% y 9,7%, respectivamente.</p> <p>-En cuanto a la velocidad del viento, el rango entre 3,6 a 5,7 m/s concentra el 37,8% de la variable modelada.</p> <p>-Los vientos calmos representan un 4,6% de las magnitudes modeladas.</p>

	Rosa y distribución de la velocidad del viento	Características														
Verano	<div><table><thead><tr><th>Rango de Velocidad (m/s)</th><th>Porcentaje (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calmas</td><td>2.4</td></tr><tr><td>0.5-2.1</td><td>10.7</td></tr><tr><td>2.1-3.6</td><td>18.3</td></tr><tr><td>3.6-5.7</td><td>41.0</td></tr><tr><td>5.7-8.8</td><td>27.0</td></tr><tr><td>8.8</td><td>0.6</td></tr></tbody></table></div>	Rango de Velocidad (m/s)	Porcentaje (%)	Calmas	2.4	0.5-2.1	10.7	2.1-3.6	18.3	3.6-5.7	41.0	5.7-8.8	27.0	8.8	0.6	<p>-En la figura podemos observar la rosa de los vientos simulada en la ubicación del proyecto, en verano.</p> <p>-La dirección más frecuente corresponde al sur suroeste (SSO), con un 49,5% de las mediciones, seguida por las direcciones suroeste (SO) y oeste suroeste (OSO), con un 15,1% y 11,1%, respectivamente.</p> <p>-En cuanto a la velocidad del viento, el rango entre 3,6 a 5,7 m/s concentra el 41,0% de la variable modelada.</p> <p>-Los vientos calmos representan un 2,4% de las magnitudes modeladas.</p>
Rango de Velocidad (m/s)	Porcentaje (%)															
Calmas	2.4															
0.5-2.1	10.7															
2.1-3.6	18.3															
3.6-5.7	41.0															
5.7-8.8	27.0															
8.8	0.6															
Otoño	<div><table><thead><tr><th>Rango de Velocidad (m/s)</th><th>Porcentaje (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Calmas</td><td>5.1</td></tr><tr><td>0.5-2.1</td><td>16.6</td></tr><tr><td>2.1-3.6</td><td>23.0</td></tr><tr><td>3.6-5.7</td><td>39.2</td></tr><tr><td>5.7-8.8</td><td>15.0</td></tr><tr><td>8.8</td><td>1.1</td></tr></tbody></table></div>	Rango de Velocidad (m/s)	Porcentaje (%)	Calmas	5.1	0.5-2.1	16.6	2.1-3.6	23.0	3.6-5.7	39.2	5.7-8.8	15.0	8.8	1.1	<p>-En la figura podemos observar la rosa de los vientos simulada en la ubicación del proyecto, en otoño.</p> <p>-La dirección más frecuente corresponde al sur suroeste (SSO), con un 44,7% de las mediciones, seguida por las direcciones suroeste (S) y oeste suroeste (OSO), con un 13,5% y 7,1%, respectivamente.</p> <p>-En cuanto a la velocidad del viento, el rango entre 3,6 a 5,7 m/s concentra el 39,2% de la variable modelada.</p> <p>-Los vientos calmos representan un 5,1% de las magnitudes modeladas.</p>
Rango de Velocidad (m/s)	Porcentaje (%)															
Calmas	5.1															
0.5-2.1	16.6															
2.1-3.6	23.0															
3.6-5.7	39.2															
5.7-8.8	15.0															
8.8	1.1															

	Rosa y distribución de la velocidad del viento	Características
Invierno		<p>-En la figura podemos observar la rosa de los vientos simulada en la ubicación del proyecto, en otoño.</p> <p>-La dirección más frecuente corresponde al sur suroeste (SSO), con un 25,5% de las mediciones, seguida por las direcciones nor noreste (NNE) y noreste (NE), con un 20,5% y 10,1%, respectivamente.</p> <p>-En cuanto a la velocidad del viento, el rango entre 2,1 a 3,6 m/s concentra el 28,1% de la variable modelada.</p> <p>-Los vientos calmos representan un 6,3% de las magnitudes modeladas.</p>
Primavera		<p>-En la figura podemos observar la rosa de los vientos simulada en la ubicación del proyecto, en otoño.</p> <p>-La dirección más frecuente corresponde al sur suroeste (SSO), con un 36,1% de las mediciones, seguida por las direcciones suroeste (SO) y nor noreste (NNE), con un 11,9% y 9,2%, respectivamente.</p> <p>-En cuanto a la velocidad del viento, el rango entre 3,6 a 5,7 m/s concentra el 43,9% de la variable modelada.</p> <p>-Los vientos calmos representan un 4,3% de las magnitudes modeladas.</p>

7.3.4 Precipitación

7.3.4.1 Serie de Tiempo

La *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* presenta la serie de tiempo de la variable precipitación modelada en la zona de emplazamiento del proyecto, en donde se observa que una precipitación anual de 1050,39 mm.

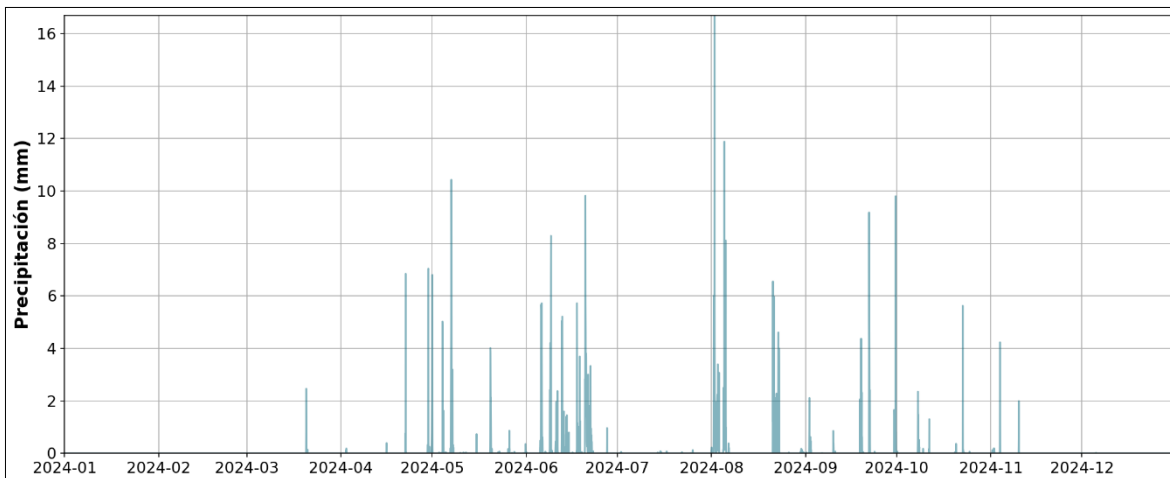


Figura 12. Serie de tiempo de la precipitación modelada

Podemos observar como a la precipitación se distribuye durante los meses de abril a noviembre, con un máximo de 16 mm por hora.

7.3.4.2 Promedio mensual

De lo estimado por el modelo WRF, la precipitación en el punto del proyecto se estima en 1050,39 mm de precipitación acumulada en el año.



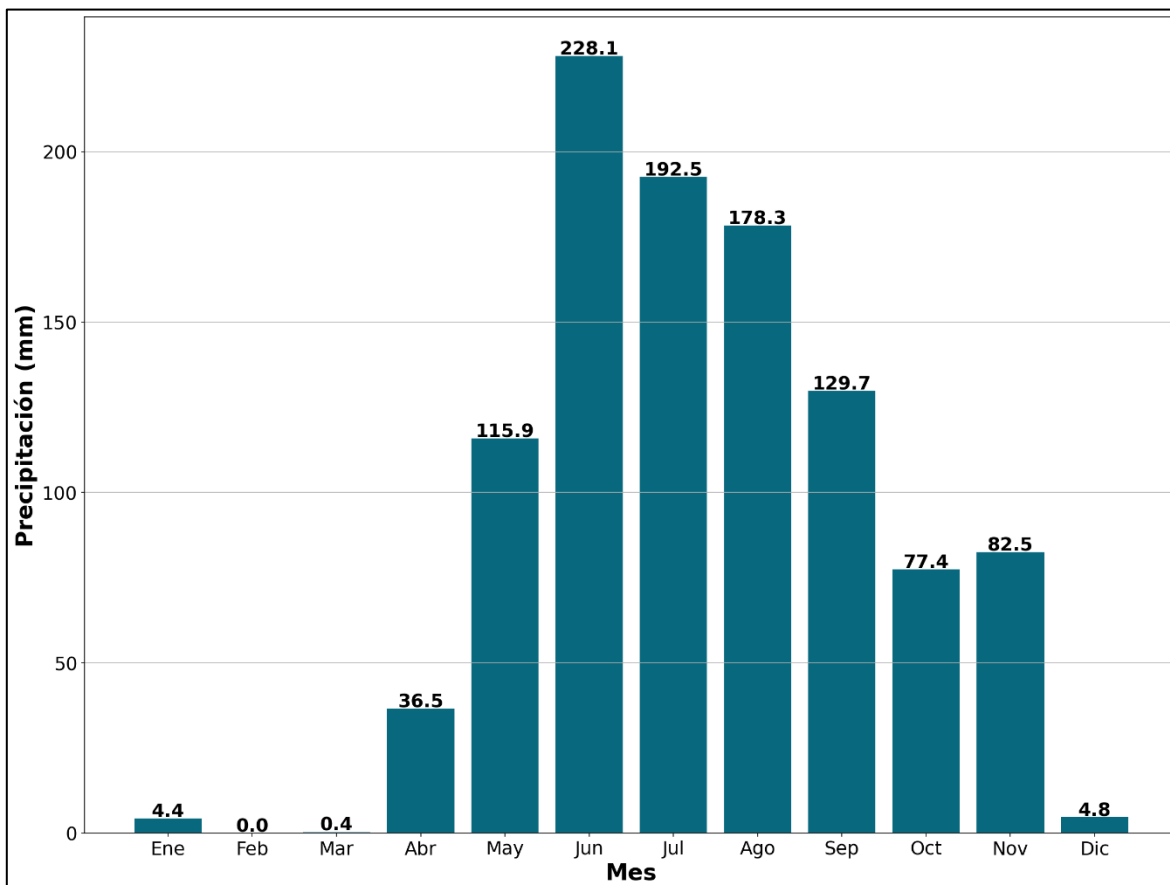


Figura 13. Precipitación acumulada mensual obtenida del modelo WRF

La *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* muestra la distribución mensual de la precipitación en el punto del proyecto, evidenciando una precipitación concentrada en una temporada lluviosa entre mayo y noviembre, donde se concentra el 95,62% de la precipitación del año.

7.3.5 Altura de la capa límite

La altura de la capa límite o capa de mezcla se define como la capa de la atmósfera (troposfera) que está influenciada de manera directa con las condiciones de la superficie del suelo, y es en donde se da lugar a la turbulencia mecánica y térmica (transferencia de calor y materia) de los gases y partículas presentes en ella (contaminantes), proceso característico de la troposfera baja. En términos generales, la altura de la capa de mezcla varía de unos cuantos metros en el día a unos cientos de metros en la noche.



7.3.5.1 Serie de tiempo

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta la serie de tiempo de la altura de la capa límite modelada en el punto de grilla más cercano al proyecto, para el año 2023.

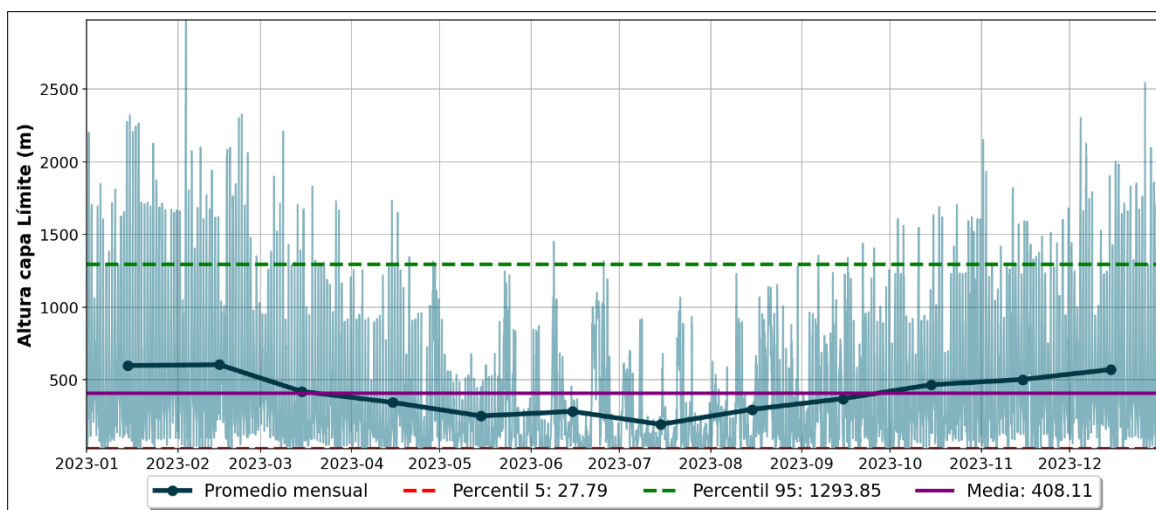


Figura 14. Serie de tiempo modelada de la altura de la capa límite

Podemos observar un claro ciclo anual donde las menores alturas se encuentran en los meses de invierno y las alturas más altas se encuentran en el periodo estival. Encontramos que la altura máxima registrada fue de 2974,75 m en febrero y su promedio anual es de 408,11 m.

7.3.5.2 Ciclo diario

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta el ciclo diario anual de la altura de la capa límite modelada en el punto de grilla más cercano al proyecto, para el año 2023.



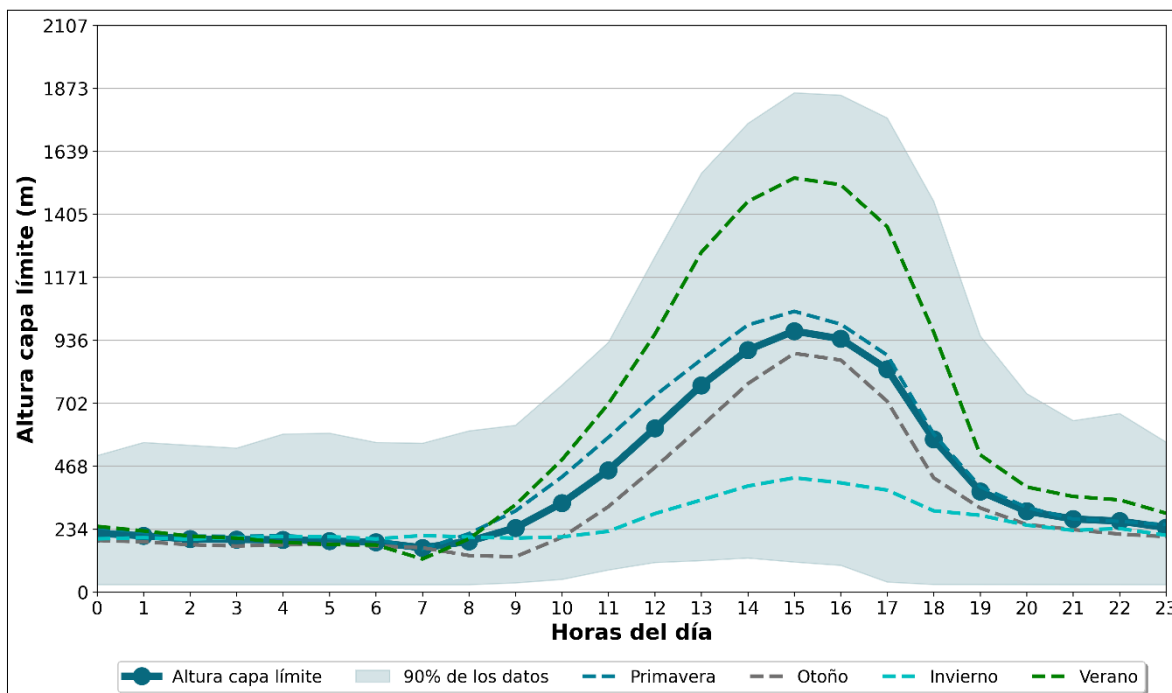


Figura 15 Ciclo diario modelado de la altura de la capa límite

Podemos observar como la altura de la capa límite comienza a aumentar a partir de las 08:00 horas hasta las 15:00 y 16:00 horas donde alcanza un valor promedio ligeramente mayor a 935 m. Posteriormente comienza a disminuir hasta cerrar el ciclo, con alturas alrededor de los 234 m.

Con respecto al comportamiento estacional, podemos ver las mayores diferencias se presentan en los meses extremos, entre las 08:00 y 19:00 horas: en verano, podemos ver que en dicho horario la altura de la capa límite es mayor, con valores cercanos al percentil 95 de los datos y una altura máxima un poco menor a 1873m. En contraste, en invierno la variable alcanza sus magnitudes más bajas, con un máximo menor a 234 m, y se retrasa la hora donde se produce el aumento progresivo hasta las 11:00 horas.

7.3.5.3 Ciclo mensual

En la iError! No se encuentra el origen de la referencia. se presenta el ciclo diario mensual de la altura de la capa límite modelada en el punto de grilla más cercano al proyecto, para el año 2023.



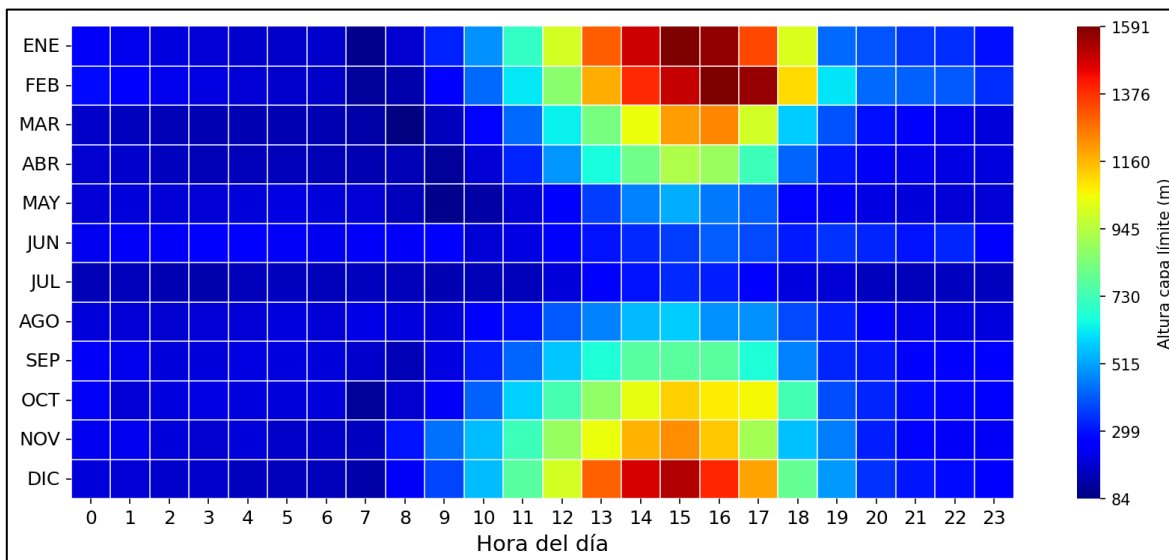


Figura 16. Ciclo estacional de la capa límite simulada por el modelo WRF

Podemos observar que la capa límite presenta un ciclo diario bien definido durante la mayor parte del año. En enero, la altura comienza a aumentar a partir de las 08:00 horas, alcanzando un máximo mensual y anual cercano a los 1591 m alrededor de las 16:00 horas, para luego disminuir progresivamente hasta cerrar el ciclo diario. A medida que avanza el año, las alturas disminuyen. Posteriormente, estas vuelven a incrementarse de forma gradual hasta recuperar las magnitudes características del período estival.

8 Modelación de olor

8.1 Escenario 1

A continuación, se entrega la información acerca de la dispersión de la pluma de olores dentro del área de estudio. Esto ocurre mediante la interpolación de los valores obtenidos del percentil 98 de la modelación horaria de la concentración del olor. Esto quiere decir que el 98% los datos horarios de concentración de olor están por debajo del valor del percentil 98, mientras que solo el 2% restante (alrededor de 176 horas al año) superan este nivel.

Los resultados que se presentan a continuación se construyeron usando la subgrilla descrita en el acápite 5.1, que considera las concentraciones modeladas a una altura 1,6 m, misma



a la cual se evalúan los receptores discretos. Esto evita discrepancias entre la pluma de dispersión y las concentraciones evaluadas en los receptores discretos. La utilización de esta metodología es mencionada en la "GUÍA PARA EL USO DE MODELOS DE CALIDAD DEL AIRE EN EL SEIA" (2023).

8.1.1 Resultados de la dispersión de olor y análisis normativo

En la **Figura 17** se presenta la pluma de dispersión de odorantes del proyecto con concentraciones marcando el límite normativo de 3 uoE/m³. Se presenta un área de 1.101 Ha, y las zonas de máximo impacto se presentan dentro del polígono del proyecto. Esto focos principales de emisión se asocian a las unidades con mayor emisión y que a su vez presentan un área extensa, por lo que el TEO asociada a estas es de gran magnitud. Tal como se muestra en la **Tabla 16**, la propagación de la pluma presenta un patrón radial, lo que genera un desplazamiento de los contaminantes de manera relativamente uniforme en todas las direcciones, con un leve desplazamiento hacia el norte.



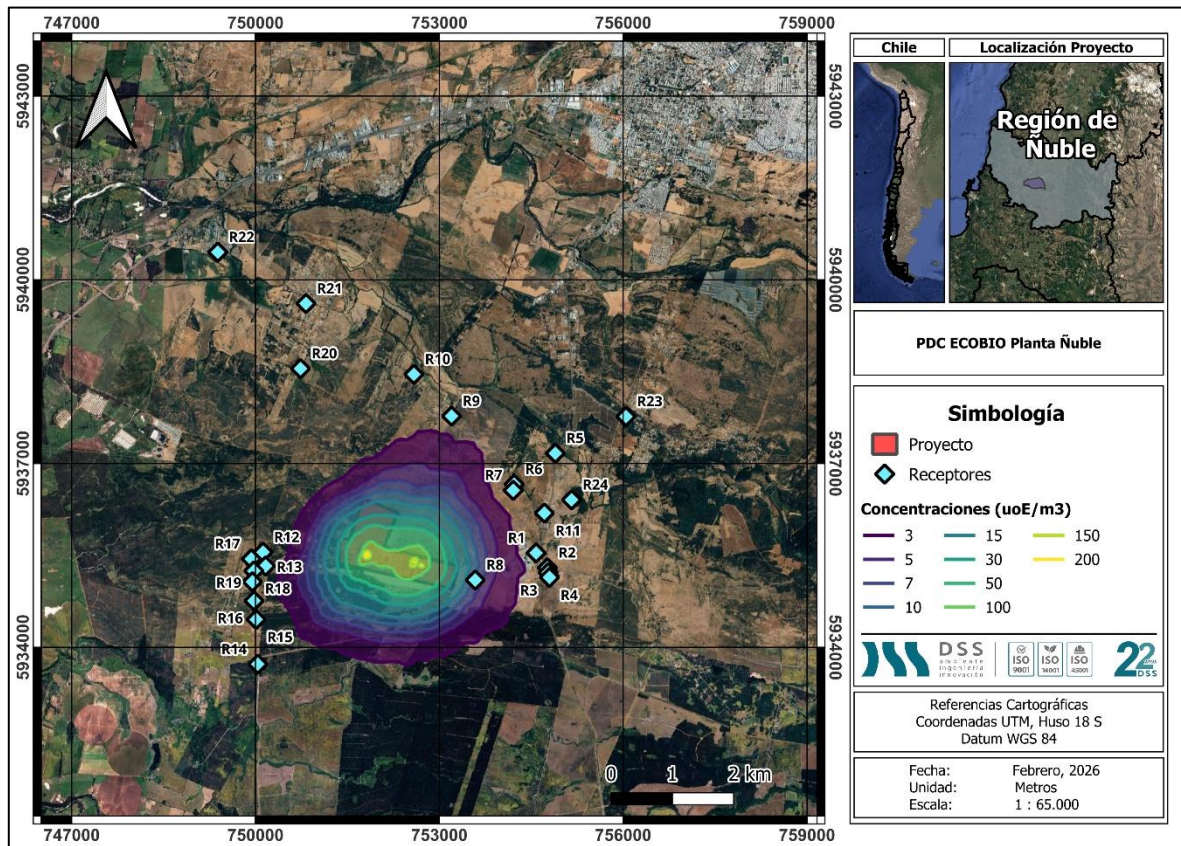


Figura 17. Pluma de dispersión de odorantes e isodoras

En la **Tabla 16** se presenta un resumen de las características de la pluma de dispersión de odorantes del proyecto. Entre las características presentadas se encuentran la superficie del área de máxima emisión, la superficie del área de influencia, el desplazamiento de la pluma medido desde el área de máxima emisión.

Tabla 16. Características de la pluma de dispersión

Situación de la planta	Superficie del área de influencia (ha)	Superficie de los límites normativos (ha)	Desplazamiento (m) desde el punto de máximo impacto		Número de receptores	
					Área de influencia	Límites normativos
Situación proyectada	2.700	1.101	Norte	2.140	16	1
			Sur	1.800		
			Este	2.000		
			Oeste	1.600		



El área de influencia se define como el área o espacio geográfico cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la Ley, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias. En este caso, la *Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA* establece que el área de influencia se encuentra limitada al espacio contenido dentro de la isodora de 1 uoE/m³.

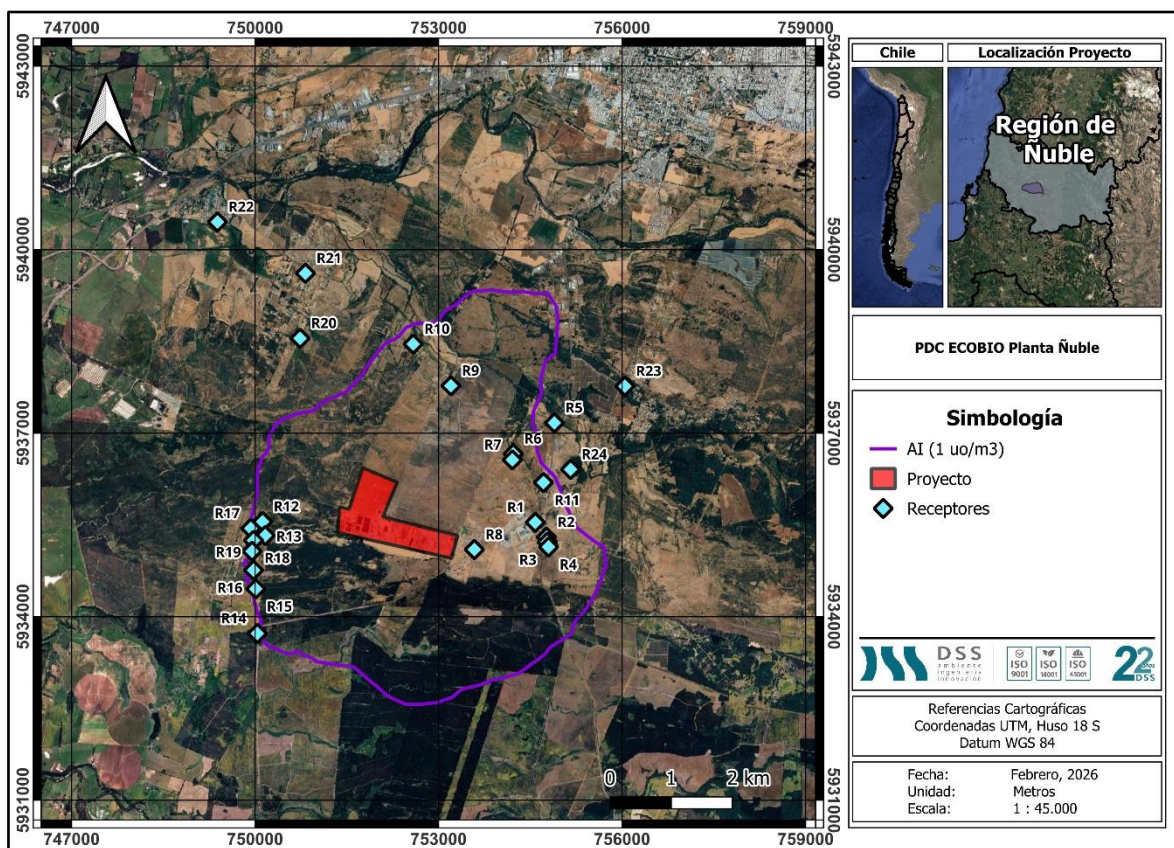


Figura 18. Área de influencia del proyecto

La **Figura 18** muestra el área de influencia correspondiente, que abarca una superficie de 2.700 hectáreas y se extiende radialmente alrededor del área del proyecto. Dentro de esta área, se identifican 16 receptores.

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de los odorantes en los puntos discretos de interés. Es necesario mencionar, que estos fueron evaluados a una



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



altura de 1,6 m respecto del nivel del suelo, tal como se especifica en el apartado 4.5.2 de la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (2023) entregando una idea de la percepción del olor a la altura de una persona de estatura promedio.

Los resultados obtenidos de la modelación de las emisiones de odorantes de la planta fueron comparados con el límite normativo de referencia correspondiente a la norma de Lombardía. En la **Tabla 17** se presentan los 24 receptores discretos evaluados, junto con el límite normativo aplicable y las concentraciones modeladas. Se observa que todos los receptores cumplen con la normativa, siendo el receptor R8 el que presenta la mayor concentración, con un valor de 9,10 uoE/m³, lo cual se encuentra sobre el límite de la norma Colombia de 3 uoE/m³, es importante considera que este receptor se encuentra a una distancia de 320 metros del perímetro del proyecto y

Tabla 17. Análisis del cumplimiento normativo en los receptores

Receptor	Distancia (m)	Concentración modelada (uoE/m ³)	límite normativo	Cumplimiento
R1	1.380	1,98	3	Si
R2	1.504	2,14	3	Si
R3	1.521	2,09	3	Si
R4	1.535	2,02	3	Si
R5	2.590	0,84	3	Si
R6	1.790	1,63	3	Si
R7	1.695	1,73	3	Si
R8	320	9,10	3	No
R9	2.360	2,68	3	Si
R10	3.050	1,37	3	Si
R11	1.660	1,34	3	Si
R12	1.248	1,42	3	Si
R13	1.220	1,89	3	Si
R14	2.220	0,92	3	Si
R15	1.720	1,16	3	Si
R16	1.590	1,30	3	Si
R17	1.434	1,00	3	Si
R18	1.423	1,22	3	Si
R19	1.490	1,16	3	Si
R20	3.030	0,26	3	Si
R21	4.035	0,18	3	Si
R22	5.300	0,09	3	Si
R23	3.680	0,56	3	Si



Receptor	Distancia (m)	Concentración modelada (uoE/m ³)	límite normativo	Cumplimiento
R24	2.290	0,73	3	Si

8.1.2 Percepción de olor

A continuación, se realiza el análisis a las concentraciones de acuerdo con la percepción al olfato humano en los receptores identificados.

Percentil 98: Indica la concentración a la que el 98% de las horas del año las concentraciones serían iguales o inferiores a las que se indican, por el contrario, sólo el 2% de las horas del año podrían tener concentraciones superiores, lo que equivale a 7,3 días en el año.

La concentración modelada para estos valores será interpretada de acuerdo con la Guía de Evaluación de Olores para Planificación (IAQM, 2014), la que se basa en la experiencia en el manejo de olores en Europa, quienes han establecido criterios de sensibilidad para los receptores de acuerdo con los niveles de exposición.

Tabla 18. Descriptores de efectos de olor propuestos para impactos predichos por modelación

Nivel de exposición al olor	Sensibilidad del receptor ⁵		
	Baja	Media	Alta
≥10	Moderada	Importante	Importante
5 <10	Moderada	Moderada	Importante
3 <5	Leve	Moderada	Moderada
1,5 <3	Insignificante	Leve	Moderada
0,5 <1,5	Insignificante	Insignificante	Leve
<0,5	Insignificante	Insignificante	Insignificante

En la **Tabla 19** se presentan los resultados de la modelación proyectada para los receptores, interpretando la percepción del olor de acuerdo con los parámetros identificados en la tabla anterior, utilizando una sensibilidad alta. Sin embargo, y en ausencia de condiciones que califiquen al receptor como alta sensibilidad (salud, educación, entre otros) o como baja

⁵ La sensibilidad "Importante" del receptor se traduce de la palabra substancial.



sensibilidad (baja permanencia, tolerancia elevada), la categoría media se adopta como representativa del uso y permanencia esperables, evitando subestimar (baja) o sobredimensionar (alta) el efecto.

Tabla 19. Percepción del olor en los receptores cercanos al proyecto

Receptor	Concentración modelada (uoE/m ³)	Percepción de olor modelada (sensibilidad alta)	Percepción de olor modelada (sensibilidad media)
	P98	P98	
R1	1,98	Moderada	Leve
R2	2,14	Moderada	Leve
R3	2,09	Moderada	Leve
R4	2,02	Moderada	Leve
R5	0,84	Leve	Insignificante
R6	1,63	Moderada	Leve
R7	1,73	Moderada	Leve
R8	9,10	Importante	Moderada
R9	2,68	Moderada	Leve
R10	1,37	Leve	Insignificante
R11	1,34	Leve	Insignificante
R12	1,42	Leve	Insignificante
R13	1,89	Moderada	Leve
R14	0,92	Leve	Insignificante
R15	1,16	Leve	Insignificante
R16	1,30	Leve	Insignificante
R17	1,00	Leve	Insignificante
R18	1,22	Leve	Insignificante
R19	1,16	Leve	Insignificante
R20	0,26	Insignificante	Insignificante
R21	0,18	Insignificante	Insignificante
R22	0,09	Insignificante	Insignificante
R23	0,56	Leve	Insignificante
R24	0,73	Leve	Insignificante

Considerando una sensibilidad alta, se observa que 8 receptores presentan una percepción moderada, 13 receptores una percepción leve, 2 receptores una percepción insignificante y 1 receptor una percepción importante. La mayor concentración modelada corresponde al receptor R8, con un valor de 9,10 uoE/m³, el cual se asocia a una percepción importante. Le siguen los receptores R9 (2,68 uoE/m³) y el grupo R1–R4, R6, R7 y R13, con concentraciones entre 1,6 y 2,1 uoE/m³, clasificados como percepción moderada.



Bajo el supuesto de sensibilidad media, los resultados indican una disminución general en el nivel de percepción, donde 10 receptores presentan una percepción leve y 14 receptores una percepción insignificante, no registrándose percepciones moderadas ni importantes bajo este criterio. El receptor R8 presenta la mayor concentración modelada ($9,10 \text{ uoE/m}^3$), asociándose a una percepción moderada, mientras que los niveles más bajos se registran en los receptores R20, R21 y R22, con concentraciones inferiores a $0,30 \text{ uoE/m}^3$, donde la percepción se considera insignificante.

8.2 Escenario 2

8.2.1 Estimación de emisiones de olor

En base a los resultados obtenidos en la sección anterior, se realizó una nueva estimación de emisiones de manera de evaluar una posible disminución en las concentraciones de los receptores cercanos, esto mediante medidas de abatimiento que contemplan un sistema de neutralización por aspersión que presentan abatimiento cercanos al 90%.

La estimación de emisiones de odorantes se presenta a continuación. La Tasa de Emisión Total de Olor (TEO) (uoE/s) para las fuentes superficiales, presentada en la Tabla 7, se calcula multiplicando la Emisión por Área ($\text{uoE/m}^2 \cdot \text{s}$) por el área transversal de la fuente (m^2).

Tabla 20. Estimación de emisiones odorantes

Unidad	Tipo de fuente	Área (m^2)	Emisión	Abatimiento	Método de abatimiento	TEO
Piscina 11A (lixiviado)	Difusa	672	17,2	0%	Sin abatimiento	11.558,40
Celda VIII-IA	Difusa	6.450	6,4	0%	Sin abatimiento	41.280,00
Piscina 1 (lixiviado)	Difusa	1.520	11,1	100%	Cubierta HDPE	0,00
Piscina 2 (lixiviado)	Difusa	760	5	100%	Cubierta HDPE	0,00
Evaporación 1	Difusa	5.775	3,3	0%	Sin abatimiento	19.057,50
Evaporación 2	Difusa	4.535	3,3	0%	Sin abatimiento	14.965,50
Evaporación 3	Difusa	4.610	3,3	0%	Sin abatimiento	15.213,00



Unidad	Tipo de fuente	Área (m ²)	Emisión	Abatimiento	Método de abatimiento	TEO
Frente de trabajo RSU	Difusa	1.000	34	0%	Sin abatimiento	34.000,00
Zócalo	Difusa	150	17,2	0%	Sin abatimiento	2.580,00
Celda V-2A	Difusa	9.000	20,4	100%	Cubierta HDPE	0,00
Celda IX-IA	Difusa	6.450	6,4	0%	Sin abatimiento	41.280,00
Piscina 11B (lixiviado)	Difusa	900	2,3	0%	Sin abatimiento	2.070,00
TK 10	Difusa	9.000	3,6	100%	Cubierta HDPE	0,00
Celda V-IA (frente de trabajo CITA)	Difusa	450	34,6	90%	aspersores	1.557,00
Celda V-IB	Difusa	6.000	34,6	90%	aspersores	20.760,00
TOTAL						204.321,40

Tabla 21. Ranking de las unidades generadoras de olor

Unidad	Área (m ²)	TEO	Ranking	Ranking acumulado
Celda VIII-IA	6.450	41.280	20,20%	20,20%
Celda IX-IA	6.450	41.280	20,20%	40,41%
Frente de trabajo RSU	1.000	34.000	16,64%	57,05%
Celda V-IB	6.000	20.760	10,16%	67,21%
Evaporación 1	5.775	19.058	9,33%	76,54%
Evaporación 3	4.535	15.213	7,45%	83,98%
Evaporación 2	4.610	14.966	7,32%	91,31%
Piscina 11A (lixiviado)	672	11.558	5,66%	96,96%
Zócalo	150	2.580	1,26%	98,22%
Piscina 11B (lixiviado)	900	2.070	1,01%	99,24%
Celda V-IA (frente de trabajo CITA)	450	1.557	0,76%	100,00%
Piscina 1 (lixiviado)	1.520	0	0,00%	100,00%
Piscina 2 (lixiviado)	760	0	0,00%	100,00%
Celda V-2A	9.000	0	0,00%	100,00%
TK 10	900	0	0,00%	100,00%

En los resultados presentados en la tabla anterior, se observa la distribución del aporte de emisiones odorantes de las distintas unidades operacionales. Se evidencia que las Celdas VII-IA y IX-IA constituyen las principales fuente emisora, con un valor de 41.280 ou/s cada una, lo que representa aproximadamente 40,40% del total. En segundo lugar, se encuentra el frente de trabajo RSU, con 34.000 ou/s (correspondiente al 16,64%). Estas unidades



corresponden principalmente a áreas activas de disposición y manejo de residuos, donde la exposición de materia orgánica fresca, la degradación biológica y la generación de lixiviados favorecen la liberación de compuestos odorantes. Asimismo, las altas tasas registradas en estas zonas no solo se explican por elevadas emisiones, sino también por la gran extensión de las áreas involucradas, en consecuencia, superficies extensas con emisiones moderadas o altas pueden generar aportes totales significativos al inventario odorante del sistema. Finalmente, algunas instalaciones no registran emisiones significativas durante el periodo evaluado, presentando TEO igual a 0,00 ou/s, debido a que cuentan con una cubierta de HDPE que impide la liberación de compuestos odorantes hacia la atmósfera.

En conjunto, el análisis indica que las mayores contribuciones odorantes provienen principalmente de celdas activas y frentes de trabajo, donde predominan procesos de descomposición biológica y mayor superficie expuesta, lo que incrementa la volatilización de compuestos generadores de olor.

8.2.2 Resultados de la percepción y análisis normativo

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de los odorantes en los puntos discretos de interés. Es necesario mencionar, que estos fueron evaluados a una **altura de 1,6 m respecto del nivel del suelo**, tal como se especifica en el apartado 4.5.2 de la "*Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA*" (2023) entregando una idea de la percepción del olor a la altura de una persona de estatura promedio.

Los resultados obtenidos de la modelación de las emisiones de odorantes de la planta fueron comparados con el límite normativo de referencia correspondiente a la norma de Lombardía. En la **Tabla 17** se presentan los 24 receptores discretos evaluados, junto con el límite normativo aplicable y las concentraciones modeladas. Se observa que todos los receptores cumplen con la normativa, siendo el receptor R8 el que presenta la mayor concentración, con un valor de 6,33 uoE/m³, lo cual se encuentra sobre el límite de la norma Colombia de 3 uoE/m³, es importante considerar que este receptor se encuentra a una distancia de 320 metros del perímetro del proyecto y corresponde a una instalación industrial.



Tabla 22. Análisis del cumplimiento normativo en los receptores

Receptor	Distancia (m)	Concentración modelada (uoE/m3)	límite normativo	Cumplimiento
R1	1.380	1,17	3	Si
R2	1.504	1,33	3	Si
R3	1.521	1,3	3	Si
R4	1.535	1,28	3	Si
R5	2.590	0,48	3	Si
R6	1.790	0,93	3	Si
R7	1.695	0,98	3	Si
R8	320	6,33	3	No
R9	2.360	1,34	3	Si
R10	3.050	0,46	3	Si
R11	1.660	0,8	3	Si
R12	1.248	0,65	3	Si
R13	1.220	0,74	3	Si
R14	2.220	0,34	3	Si
R15	1.720	0,44	3	Si
R16	1.590	0,52	3	Si
R17	1.434	0,44	3	Si
R18	1.423	0,5	3	Si
R19	1.490	0,49	3	Si
R20	3.030	0,11	3	Si
R21	4.035	0,08	3	Si
R22	5.300	0,04	3	Si
R23	3.680	0,32	3	Si
R24	2.290	0,42	3	Si

8.2.3 Percepción de olor

A continuación, se realiza el análisis a las concentraciones de acuerdo con la percepción al olfato humano en los receptores identificados.

Percentil 98: Indica la concentración a la que el 98% de las horas del año las concentraciones serían iguales o inferiores a las que se indican, por el contrario, sólo el 2% de las horas del año podrían tener concentraciones superiores, lo que equivale a 7,3 días en el año.

La concentración modelada para estos valores será interpretada de acuerdo con la Guía de Evaluación de Olores para Planificación (IAQM, 2014), la que se basa en la experiencia en



el manejo de olores en Europa, quienes han establecido criterios de sensibilidad para los receptores de acuerdo con los niveles de exposición.

Tabla 23. Descriptores de efectos de olor propuestos para impactos predichos por modelación

Nivel de exposición al olor	Sensibilidad del receptor ⁶		
	Baja	Media	Alta
≥10	Moderada	Importante	Importante
5 <10	Moderada	Moderada	Importante
3 <5	Leve	Moderada	Moderada
1,5 <3	Insignificante	Leve	Moderada
0,5 <1,5	Insignificante	Insignificante	Leve
<0,5	Insignificante	Insignificante	Insignificante

En la **Tabla 19** se presentan los resultados de la modelación proyectada para los receptores, interpretando la percepción del olor de acuerdo con los parámetros identificados en la tabla anterior, utilizando una sensibilidad alta. Sin embargo, y en ausencia de condiciones que califiquen al receptor como alta sensibilidad (salud, educación, entre otros) o como baja sensibilidad (baja permanencia, tolerancia elevada), la categoría media se adopta como representativa del uso y permanencia esperables, evitando subestimar (baja) o sobredimensionar (alta) el efecto.

Tabla 24. Percepción del olor en los receptores cercanos al proyecto

Receptor	Concentración modelada (uoE/m3)	Percepción de olor modelada (sensibilidad alta)	Percepción de olor modelada (sensibilidad media)
	P98	P98	
R1	1,17	Leve	Insignificante
R2	1,33	Leve	Insignificante
R3	1,3	Leve	Insignificante
R4	1,28	Leve	Insignificante
R5	0,48	Insignificante	Insignificante
R6	0,93	Leve	Insignificante
R7	0,98	Leve	Insignificante
R8	6,33	Importante	Moderada
R9	1,34	Leve	Insignificante
R10	0,46	Insignificante	Insignificante

⁶ La sensibilidad "Importante" del receptor se traduce de la palabra substancial.



Receptor	Concentración modelada (uoE/m ³)	Percepción de olor modelada (sensibilidad alta)	Percepción de olor modelada (sensibilidad media)
	P98	P98	
R11	0,8	Leve	Insignificante
R12	0,65	Leve	Insignificante
R13	0,74	Leve	Insignificante
R14	0,34	Insignificante	Insignificante
R15	0,44	Insignificante	Insignificante
R16	0,52	Leve	Insignificante
R17	0,44	Insignificante	Insignificante
R18	0,5	Leve	Insignificante
R19	0,49	Insignificante	Insignificante
R20	0,11	Insignificante	Insignificante
R21	0,08	Insignificante	Insignificante
R22	0,04	Insignificante	Insignificante
R23	0,32	Insignificante	Insignificante
R24	0,42	Insignificante	Insignificante

Considerando una sensibilidad alta, 14 receptores presentan una percepción leve, 9 receptores una percepción insignificante y 1 receptor una percepción importante, no registrándose percepciones moderadas bajo este criterio. La mayor concentración modelada corresponde al receptor R8, con un valor de 6,33 uoE/m³, asociado a una percepción importante. El resto de los receptores presenta concentraciones inferiores a 1,35 uoE/m³, clasificándose mayoritariamente como percepción leve o insignificante.

Al analizar los resultados bajo el supuesto de sensibilidad media, se observa una reducción en el nivel de percepción, donde 23 receptores presentan una percepción insignificante y solo 1 receptor (R8) alcanza una percepción moderada, coherente con la mayor concentración modelada. Los niveles más bajos se registran en los receptores R20, R21 y R22, con concentraciones inferiores a 0,15 uoE/m³, para los cuales la percepción se considera insignificante.

9 Comparación con escenario 2025

9.1 Escenario 1

Con el objeto de evaluar la evolución del desempeño odorante del proyecto, se compararon los resultados obtenidos en el estudio previo de modelación (año 2025) con la presente



actualización (año 2026), considerando como indicadores principales la Tasa de Emisión Odorante total (TEO, ouE/s) y las concentraciones modeladas en receptores bajo el percentil 98.

En términos de emisiones globales, el TEO total disminuye desde 997.460 ouE/s en el escenario 2025 a 310.830,40 ouE/s en el escenario 2026, lo que representa una reducción absoluta de 686.629,6 ouE/s y una disminución relativa aproximada del 68,8%. Esta disminución se asocia a la combinación de medidas operacionales implementadas, tales como la cobertura de unidades con geomembrana HDPE, la gestión de superficies activas y la incorporación de sistemas de abatimiento por aspersión y neutralización química en frentes de trabajo.

Respecto de la evaluación en receptores, el análisis del percentil 98 muestra una mejora consistente en los niveles de inmisión. En el estudio 2025 se registraban superaciones del criterio de 3 ouE/m³ en 5 de 24 receptores, mientras que en la actualización 2026 solo un receptor (R8) supera dicho umbral, manteniéndose el resto por debajo del valor de referencia. Asimismo, las concentraciones máximas modeladas disminuyen de forma generalizada en los puntos históricamente más críticos. En particular, los receptores R1, R6, R7 y R9 reducen sus concentraciones desde rangos de 3–5 ouE/m³ a valores cercanos o inferiores a 2,5 ouE/m³, mientras que el receptor R8, si bien continúa siendo el más exigente, presenta igualmente una disminución relevante (de 17 a 9,10 ouE/m³). De lo anterior se indican que la mayoría de los receptores se clasifican en categorías leve o insignificante, con un número acotado de receptores con percepción moderada y solo un caso importante, coherente con la reducción observada en el TEO total y en las concentraciones modeladas.

Desde el punto de vista espacial, la mejora también se manifiesta en la contracción del área de influencia odorante y del alcance de la pluma de dispersión. En 2025, la isolínea de 1 ouE/m³ (P98) abarcaba aproximadamente 4.184 ha, mientras que el área asociada al criterio normativo de 3 ouE/m³ alcanzaba 1.471 ha. En el escenario 2026, dichas superficies disminuyen a 2.700 ha y 1.101 ha, respectivamente, lo que equivale a reducciones de 1.484 ha (–35,5%) para la isolínea de 1 ouE/m³ y 370 ha (–25,2%) para el criterio normativo.



La comparación entre ambos estudios evidencia una mejora significativa del desempeño odorante del proyecto, tanto a nivel de emisiones como de exposición en el entorno, reduciendo la magnitud y extensión espacial de los impactos potenciales por olor. No obstante, el receptor R8 se mantiene como punto sensible, esto debido a su cercanía con el proyecto.

9.2 Escenario 2

Con el objeto de evaluar la evolución del desempeño odorante del proyecto, se compararon los resultados obtenidos en el estudio previo de modelación (año 2025) con la presente actualización (año 2026), considerando como indicadores principales la Tasa de Emisión Odorante total (TEO, ouE/s) y las concentraciones modeladas en receptores bajo el percentil 98, a diferencia del escenario 1, en este existen dos fuentes que presentan un sistema de abatimiento de olores activo (cortina aspersora) que posee un porcentaje de abatimiento del 90% .

En términos de emisiones globales, el TEO total disminuye desde 997.460 ouE/s en el escenario 2025 a 204.321,40 ouE/s en el escenario 2026, lo que representa una reducción absoluta de 793.138,60 ouE/s y una disminución relativa aproximada del 80%. Esta disminución se asocia a la combinación de medidas operacionales implementadas, tales como la cobertura de unidades con geomembrana HDPE, la gestión de superficies activas y la incorporación de sistemas de abatimiento por aspersión y neutralización química en frentes de trabajo y en la celda V-IB.

Respecto de la evaluación en receptores, el análisis del percentil 98 muestra una mejora consistente en los niveles de inmisión. En el estudio 2025 se registraban superaciones del criterio de 3 ouE/m³ en 5 de 24 receptores, mientras que en la actualización 2026 solo un receptor (R8) supera dicho umbral, manteniéndose el resto por debajo del valor de referencia. Asimismo, las concentraciones máximas modeladas disminuyen de forma generalizada en los puntos históricamente más críticos. En particular, los receptores R1, R6, R7 y R9 reducen sus concentraciones desde rangos de 3–5 ouE/m³ a valores cercanos o inferiores a 1,5 ouE/m³, mientras que el receptor R8, si bien continúa siendo el más



exigente, presenta igualmente una disminución relevante sobre el 60% (de 17 a 6,33 ouE/m³). De lo anterior se indican que la mayoría de los receptores se clasifican en categorías leve o insignificante, con un número acotado de receptores con percepción moderada y solo un caso importante, coherente con la reducción observada en el TEO total y en las concentraciones modeladas.

La comparación entre ambos estudios evidencia una mejora significativa del desempeño odorante del proyecto, tanto a nivel de emisiones como de exposición en el entorno, reduciendo la magnitud y extensión espacial de los impactos potenciales por olor. No obstante, el receptor R8 se mantiene como punto sensible, esto debido a su cercanía con el proyecto.

10 Conclusión

El presente estudio permitió estimar y modelar las emisiones odorantes generadas por las distintas unidades operacionales del proyecto, utilizando factores de emisión de referencia obtenidos mediante olfatometría dinámica y aplicando el modelo de dispersión atmosférica CALPUFF con meteorología generada por WRF para el año representativo de peores condiciones de dispersión (2024). Esta metodología se desarrolló conforme a las recomendaciones de la "Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA" y manteniendo consistencia con el estudio previamente presentado por el titular.

La estimación de emisiones determinó una TEO de 310.830,40 ouE/s, observándose que la contribución se concentra principalmente en fuentes difusas asociadas a celdas activas y frentes de trabajo, donde la exposición de residuos frescos y la degradación biológica favorecen la generación de compuestos odorantes. En particular, la Celda V-IB constituye la principal fuente emisora (39,38% del total), seguida por las Celdas VIII-IA y IX-IA, evidenciando que, además de la tasa de emisión superficial, la extensión del área expuesta influye significativamente en el aporte total, dado que el TEO corresponde al producto entre emisión específica y superficie de la fuente. Por el contrario, unidades con cubierta de HDPE o sistemas de abatimiento presentan emisiones nulas o marginales.



En cuanto a la modelación de la dispersión, los resultados del percentil 98 de concentraciones horarias muestran que la mayoría de los receptores presenta niveles de inmisión bajos, clasificados predominantemente en categorías de percepción leve o insignificante, con un número acotado de casos con percepción moderada y solo un receptor con percepción importante, correspondiente al punto más próximo a las áreas operativas activas. Desde la perspectiva normativa, se verifica que prácticamente la totalidad de los receptores cumple con el criterio de referencia de 3 ouE/m^3 , identificándose únicamente un punto puntual con superación, lo que representa una condición localizada y no generalizada del entorno.

Al comparar estos resultados con el estudio de referencia del año 2025, la disminución de la TEO en aproximadamente un 69% se traduce directamente en una contracción de la pluma de dispersión y del área de influencia odorante. La isolínea de 1 ouE/m^3 (P98) reduce su superficie desde 4.184 ha a 2.700 ha, equivalente a una disminución de 1.484 ha (-35,5%), mientras que el área asociada al criterio normativo de 3 ouE/m^3 disminuye desde 1.471 ha a 1.101 ha, lo que corresponde a 370 ha menos (-25,2%). Esta reducción del alcance territorial implica que el impacto potencial por olor se concentra progresivamente en las inmediaciones del emplazamiento, disminuyendo la probabilidad de percepción en sectores más alejados y reduciendo la población potencialmente expuesta.

De manera de evaluar la importancia del sistema de abatimiento, los resultados del Escenario 2 evidencian que la implementación de sistemas de abatimiento de olores, particularmente la cortina de aspersion con neutralización química y un abatimiento estimado del 90%, constituye una medida altamente efectiva para la mitigación de emisiones odorantes del proyecto. La incorporación de este sistema, junto con la cobertura de unidades mediante geomembrana HDPE y una mejor gestión de las superficies activas, se traduce en una reducción sustancial de la Tasa de Emisión Odorante total, así como en una disminución consistente de las concentraciones modeladas en los receptores. Esta reducción se refleja directamente en una mejora del nivel de percepción del olor en el entorno, desplazando la mayoría de los receptores hacia categorías de percepción insignificante o leve, y limitando los niveles más altos a un número muy acotado de puntos cercanos a las fuentes. En consecuencia, el sistema de abatimiento se confirma como un



elemento clave en el control del impacto odorante, contribuyendo de manera significativa a mejorar el desempeño ambiental del proyecto y a reducir el potencial de molestias por olor en el área de influencia.

En conjunto, la aplicación simultánea de cubiertas HDPE, sistemas de neutralización por aspersión y control operacional de áreas activas permite reducir tanto la tasa de emisión odorante total como la exposición en los receptores, manteniendo las concentraciones modeladas mayoritariamente en rangos de percepción leve o insignificante y en concordancia con criterios de protección del bienestar comunitario.

Los resultados obtenidos permiten concluir que, bajo el escenario operacional evaluado, el proyecto presenta un impacto odorante acotado, mucho menor al presentado en el informe de 2025 y mayoritariamente compatible con el criterio de referencia adoptado, manteniendo concentraciones bajas en los receptores sensibles del entorno.



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



11 Bibliografía

Servicio de Evaluación Ambiental (2017). *Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA*.

Cohen, S., Evans, G., Stokols, D., & Krantz, D. (1986). *Behavior, health and environmental stress*. New York.

Servicio de Evaluación Ambiental. (2015). Informe final: Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental. Recuperado de <https://www.sea.gob.cl/noticias/sea-publica-guia-para-prediccion-y-evaluacion-de-impactos-por-olor-en-el-seia>.

OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, O. (2016). Climatic regionalisation of continental Chile.

Servicio de Evaluación Ambiental (2023). *Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA*.

ECOTEC (2013). *ESTUDIO: ANTECEDENTES PARA LA REGULACIÓN DE OLORES EN CHILE*



Modelamiento para Neutralización – Celda V-1A.

Óptima Ingeniería SpA

Para: Volta - Ecobio

v1 (2601)

1. ANTECEDENTES

El equipo Volta solicita la capacidad de neutralización sobre una piscina (Celda V-1A), cuyas características son las siguientes:

Requisito	Celda V-1A
Fase del proyecto que genera olor	Operación
Actividad que genera emisiones de olor	Disposición de residuos industriales
Identificación del material o sustancia olorosa	Residuos industriales
Tipo de fuente	Difusa
Área [m ²]	6.930
Ciclo operacional	Ene - Dic
Horario de operación	00:00 - 23:59
Frecuencia semanal	Lun - Dom
MG. Concentración de olor [ouE/m ³]	3.492
Emisión de olor [ouE/(m ² ·s)]	34,6
Tasa de emisión de olor [ouE/s]	239.584
Calidad o descriptores	Huevo podrido, amoníaco, irritante.
Intensidad	5 (Muy fuerte)
Tono hedónico	-3 (Muy desagradable)
Ofensividad	3 (Muy ofensivo)

Fuente: Tabla 11 – Descripción de las emisiones de olor. Informe “P6816 Estudio de Impacto Odorante, Ecobio Planta Ñuble” Envirometrika – TSG, actualizada con información provista.

Se modelará la capacidad de neutralizar utilizando una línea atomizadora regulada por IoT, con medición de gases NH₃ y H₂S ubicada en sector CITA de la Planta Ecobio.

Área de Trabajo para la Línea Neutralizantes



Fuente: Elaboración propia sobre Google Maps, Ecobio Planta Nuble.

2. CONSIDERACIONES PARA EL MODELO UTILIZADO.

A continuación, se presentan las principales correspondiente al modelamiento de la dispersión de gases y la efectividad del sistema de neutralización para la Celda V-1A. El estudio se centra en la simulación de las emisiones de lixiviado y su interacción con tres líneas de neutralización de 100 metros por cara según los antecedentes mencionados.

Metodología

Para la simulación se utilizó el **Modelo de Pluma Gaussiana** con un modelo AERMOD, adaptado para fuentes de área mediante integración numérica en código Python. La fuente difusa se discretizó en una rejilla de **100 unidades emisoras** (10x10 puntos focales) para representar fielmente la emisión superficial de 6.930 m².

Parámetros de Emisión y Meteorología

- **Tasa de Emisión por unidad emisora:** 34,6 ouE/(m²*s).
- **Tasa de Emisión Total:** Aproximadamente 239.584 ouE/s.
- **Velocidad del Viento:** 3 m/s constante.
- **Dirección del Viento:** Sur a Norte (S -> N), 188 grados aproximadamente.
- **Estabilidad Atmosférica:** Clase D (Neutral), representativa de condiciones operacionales estándar.

Configuración del Sistema de Neutralización

Se modeló un sistema compuesto por 300 metros lineales de atomización, distribuidos en tres tramos de 100 metros:

- **Línea Norte:** Ubicada aguas abajo del viento para capturar la pluma saliente.
- **Línea Sur:** Ubicada en la base de la piscina para tratar la emisión en origen.
- **Línea Este:** Banda de control lateral con un ancho de influencia de 10 metros.

Dinámica de Reacción

Se incorporó una zona de reacción gradual de 50 metros tras cada línea de neutralización (Norte y Sur). En esta zona, se simuló la interacción cinética entre el agente neutralizante y las moléculas de olor, alcanzando una eficiencia de abatimiento media de 90% para NH_3 y de 90% para H_2S , los cuales son los químicos predominantes en la planta Ñuble, utilizando como neutralizante de referencia (*Adodor Destroyer* de la empresa *Adclean Tech*), asumiendo la tasa de emisión y condiciones del EIO ene-2025, viento sur a norte (Chillán) con velocidad entre 1 y 3 m/s, Humedad relativa > 60%, Temperatura entre 10 y 25°C, pasando por 2 costados de la línea (Norte y Sur) y la eficiencia de abatimiento antes mencionada. Esta eficiencia se reparte gradualmente con la distancia recorrida dentro de la zona de mezcla hasta su estabilización.

Resultados y Análisis

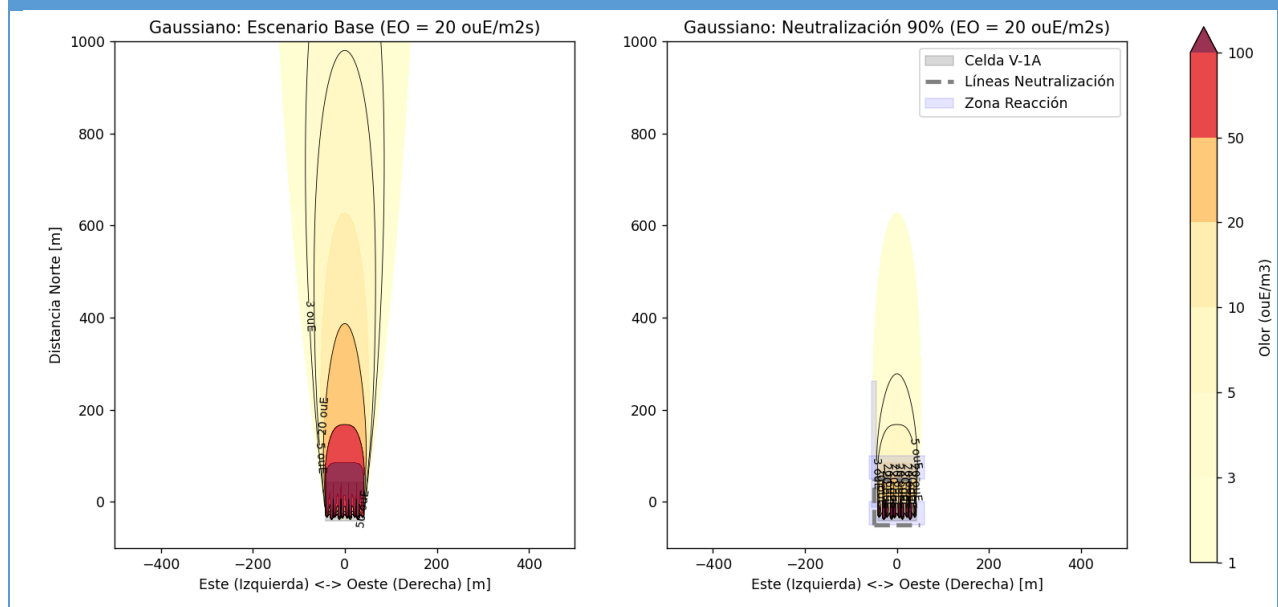
Se generaron simulaciones comparativas que permiten observar la efectividad de la Línea sobre la Piscina.

- **Escenario Base:** Se identificó una pluma de olor extendida con concentraciones críticas ($>50 \text{ ouE/m}^3$) que superan los perímetros de la celda.
- **Escenario con Neutralización:** Se observó una reducción significativa en el alcance y la intensidad de la pluma. La integración de la línea Sur permite un pre-tratamiento que, sumado a la barrera Norte y el control lateral Este, contrae la huella de olor de manera importante.
- **Zonificación:** El modelo valida que la configuración en "U" (Norte, Sur y Este) proporciona una cobertura que minimiza el impacto ambiental en las áreas circundantes bajo las condiciones de viento predominantes Sur-Norte hacia Chillán y ángulo aprox.

3. MODELO RESULTANTE.

A continuación, se muestra la simulación resultante según los criterios antes descritos:

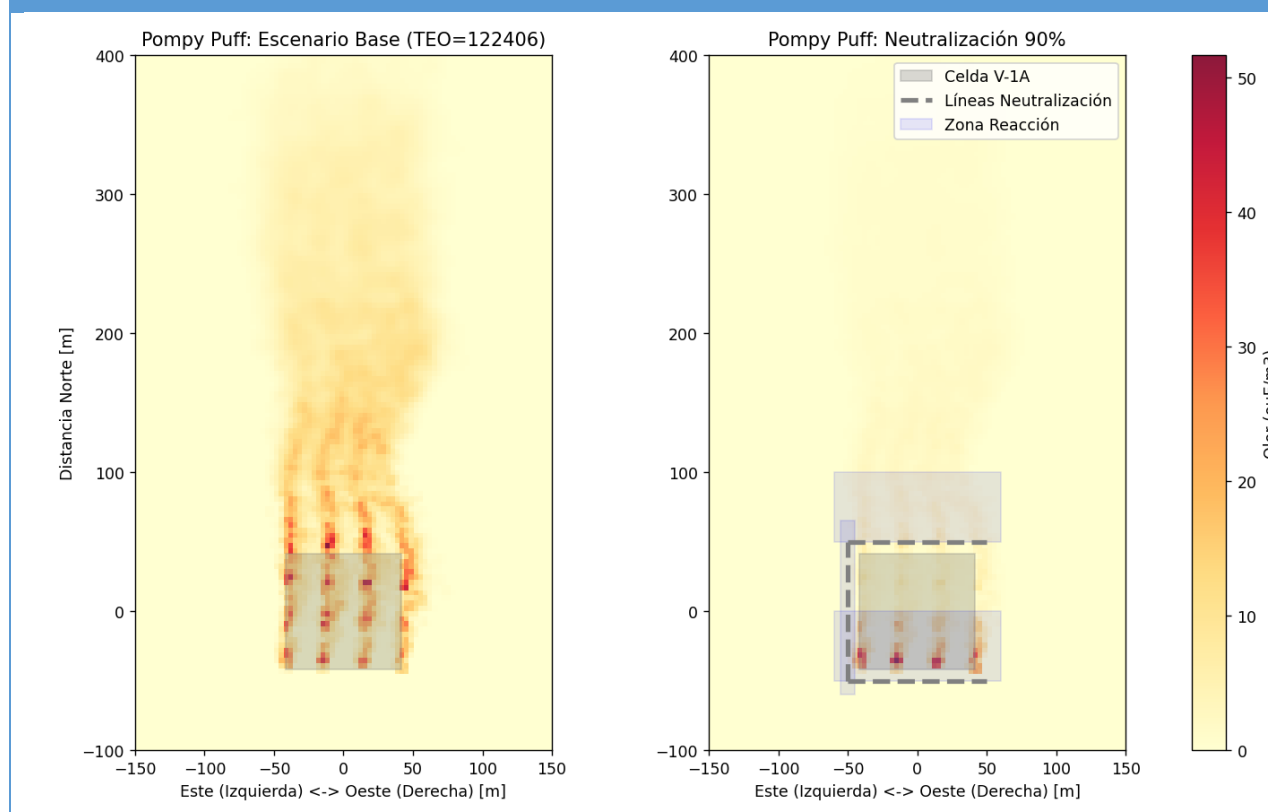
Simulación obtenida para la Línea de Neutralización, AERMOD con modelo Gaussiano.



Fuente: Elaboración propia Modelo AERMOD más pluma Gaussiana, Ecobio Planta Nuble.

A la izquierda, se puede observar las líneas isodóricas obtenidas de la simulación sin la línea de neutralización activa (situación actual), mientras que a la derecha la línea operando, se puede observar la reducción en ouE/m³. Es importante señalar que se incluyó geografía plana para la modelación, considerando distancias cortas (menor a 1km), esto también suele ser pertinente para el modelo a estas distancias.

Simulación obtenida para la Línea de Neutralización, Pompy.



Fuente: Elaboración propia Modelo Pompy Gaussiano, Ecobio Planta Nuble.

Al igual que en la simulación anterior a la izquierda, se puede observar un mapa de calor de la simulación sin la línea de neutralización activa (situación actual), esta vez utilizando un modelo tipo puff llamado Pompy. A la derecha la línea operando, se puede observar la reducción en ouE/m³ que replica la eficiencia cuando se encuentre activa.

Se puede observar que los valores obtenidos por la simulación, son concordantes con los realizados en el modelamiento tipo CALPUFF en el EIO ene 2025.

4. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

El análisis para la instalación de la línea de neutralización en “U” de 300 m puede contraer de manera importante el impacto odorante de la Celda V-1A mediante una comparativa de dos modelos y bajo un escenario meteorológico específico; sin embargo, los porcentajes de abatimiento están asociados también a la eficacia del producto líquido utilizado. También se observa concordancia con el EIO emitido en 2025.

Se recomienda una validación experimental ON/OFF cuando se encuentre operativa en su nueva ubicación.