



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**Evaluación y modelación de la dispersión de malos olores
en la comuna de Coronel mediante el Método de Grilla.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniera de Ejecución en GESTIÓN Y
CONTROL AMBIENTAL

Alumna: Catalina Javiera Bustos Bravo

Profesor guía:

Dr. Daniel Moena Flandes.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Evaluación y modelación de la dispersión de malos olores en la comuna de Coronel mediante el Método de Grilla.

Nombre del candidato(a): Catalina Bustos Bravo

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en Gestión y Control Ambiental

Campus: Concepcion ; **Departamento:** Departamento de Química y Medio Ambiente

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Daniel Moena Flandes, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 10-01-2026

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 10-01-2016

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por acompañarme y brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante en las diferentes etapas de este camino.

A mis profesores, quienes me ayudaron a forjar los cimientos de mi formación profesional y me acompañaron de manera constante a lo largo de este proceso. Gracias a ellos, mi formación académica siempre estará acompañada de lo humano. Destaco de manera especial a mi profesor guía Daniel Moena, por desafiarme con un tema inicialmente desconocido para mí y motivarme a confiar en mis capacidades. Asimismo, a los profesores Juan Pablo Inostroza, Rafael Solar y Cristian Pereira, por el traspaso de conocimientos, por su constante compañía, aun cuando yo, solo veía el camino cuesta arriba. Nunca olvidare sus consejos y la contención recibida, que en conjunto marcaron profundamente mi desarrollo personal y profesional.

A mi familia, por estar siempre presente a lo largo de este camino académico y personal. Su amor incondicional, paciencia y contención fueron fundamentales para seguir adelante. De manera especial a mis padres por apoyarme en el proceso de muestreo, demostrando siempre su compromiso, cariño y dedicación, así como a mi hermana Renata y a mi nena por estar siempre presentes.

A mis tíos que yo elegí, Daniel y Gianfranco y a mi hermana Javiera, por estar ahí para mí durante este camino, por su paciencia, palabras de ánimo y por convertirse en un apoyo fundamental cuando más lo necesité.

A mi grupo de amigas, por su compañía, apoyo y cariño. Y de manera especial a mi querida compañera y amiga Noemí, por estar siempre presente, su escucha y su cariño, haciendo este camino más llevadero y significativo.

Finalmente, dedico este trabajo a la memoria de mi tío Pipe, quien, aunque no está físicamente, sigue siendo una fuente constante de inspiración y fortaleza en mi vida.

Resumen

El presente trabajo de titulación aborda la problemática de la contaminación odorífera en la comuna de Coronel, Región del Biobío, territorio en el que la coexistencia de actividades industriales y pesqueras con asentamientos humanos ha generado conflictos socioambientales de carácter histórico. El objetivo principal del estudio es evaluar y modelar la dispersión de malos olores en sectores estratégicos del territorio mediante la aplicación del método de grilla, utilizando el sentido del olfato humano como instrumento de detección, de acuerdo con los estándares establecidos por la norma VDI 3940.

La metodología se desarrolló en un dominio de modelación de aproximadamente 0,64 km², en el cual se definieron cuatro puntos de control: Caleta Lo Rojas, Pesquera Blumar, Sector Cerro y Plaza O'Higgins. Durante las campañas de terreno se recolectaron datos que permitieron calcular la frecuencia de olor porcentual en jornadas de mañana (f_m), tarde (f_t) y de manera acumulada (f_a). El procesamiento de la información se realizó mediante el software QGIS, aplicando modelos de interpolación geoestadística de Distancia Inversa Ponderada (IDW) para la elaboración de mapas de impacto.

Los resultados evidencian niveles críticos de exposición en las cercanías de las principales fuentes emisoras. El punto correspondiente Pesquera Blumar presentó la mayor afectación, con una frecuencia de olor acumulada (f_a) del 95,31%, alcanzando un máximo de 100% durante las jornadas de la mañana. El sector de Lo Rojas registro una frecuencia acumulada de 78,12%. En contraste los sectores Cerro y Plaza presentaron valores significativamente menores (39,06% y 32,81%, respectivamente), lo que refleja un claro gradiente de dispersión influenciado por la dirección de los vientos predominantes.

Se concluye que el Método de Grilla constituye una herramienta eficaz para la cuantificación de la carga odorífera, aportando información técnica relevante para la gestión ambiental y la mitigación de los impactos asociados a la calidad de vida de la comuna de Coronel.

Keywords

Método de Grilla: Técnica de medición sensorial de campo que utiliza examinadores como sensores biológicos para determinar la frecuencia de impacto de olores reconocibles en una malla geográfica definida.

Frecuencia de olor: Porcentaje de tiempo durante el cual se percibe un olor reconocible en un punto determinado durante el periodo total de la evaluación.

Curvas Isodoras: Representaciones cartográficas en un mapa que unen puntos con la misma frecuencia de percepción de olor, permitiendo visualizar gráficamente el área de afectación y el gradiente de dispersión.

Interpolación IDW: Método geoestadístico que predice valores en ubicaciones no medidas basándose en que la influencia de un punto disminuye a medida que aumenta la distancia respecto a este.

Receptor sensible: Lugar con presencia humana permanente o prolongada donde el impacto de los olores afecta directamente el bienestar y la calidad de vida de las personas.

Índice

Introducción 1

Objetivos 3

 Objetivo General.....3

 Objetivos Específicos 3

Alcance 3

Metodología 4

Capítulo 1: Caracterización territorial y ambiental de la comuna de Coronel.....8

 1.1 Introducción al problema de malos olores en Coronel 8

 1.1.1 Contexto productivo y territorial de la comuna 8

 1.1.2 Malos olores como problemática socioambiental local.....9

 1.1.3 Influencia del territorio y las condiciones ambientales..... 10

 1.1.4 Enfoque territorial del territorio 10

 1.2 Localización y características generales de la comuna 10

 1.3 Geografía y condiciones territoriales 12

 1.3.1 Geología y geomorfología 12

 1.3.2 Relieve y unidades fisiográficas 13

 1.4 Condiciones meteorológicas 14

 1.4.1 Clima general de la comuna 14

 1.4.2 Vientos predominantes 14

 1.4.3 Estabilidad atmosférica 14

 1.4.4 Relevancia para la dispersión de olores 15

 1.5. Fuentes emisoras de olores en Coronel 16

 1.5.1 Actividad industrial pesquera..... 16

 1.5.2 Actividades logísticas portuarias y manejo de cargas 17

 1.5.3 Actividad pesquera artesanal y manejo de residuos orgánicos..... 18

 1.6 Síntesis del capítulo 19

Capítulo 2: Metodología para el modelamiento espacial de la dispersión de olores 20

 2.1 Enfoque del Método de Grilla..... 20

 2.2. Marco conceptual y adaptación metodológica 21

 2.2.1. Inmisión de olor reconocible (Recognizable Odour): 21

 2.2.2. Porcentaje de tiempo de olor (P_{od}):..... 21

 2.2.3. Punto de muestreo y Recepción sensible:..... 21

 2.2.4. Caracterización del Impacto: 21

 2.3. Límites Geográficos y Alcance Espacial del Estudio 21

 2.4. Localización de puntos de control y receptores sensibles..... 22

 2.5 Registro fotográfico de los puntos de muestreo..... 23

 2.6 Metodología: Normalización de datos..... 27

 2.7. Procesamiento de Capas: Geoprocesos 30

2.8. Aplicación del buffer a cada punto utilizado QGIS 31

2.9 Geoestadística: Método IDW 32

2.10. Variables meteorológicas..... 34

2.10.1 Velocidad de viento y dirección 34

2.10.2. Temperatura y humedad..... 35

Capítulo 3: Análisis del comportamiento de la dispersión de malos 36

3.1 Introducción al análisis de la dispersión 36

3.2 Dispersión de malos olores – Jornada mañana 36

3.3 Dispersión de malos olores – Jornada tarde 38

3.4 Dispersión de malos olores – Jornada acumulada 40

3.5 Comparación de escenarios temporales 42

3.6 Síntesis del capítulo 43

Conclusiones 43

Bibliografía 45

Anexo A: Detalles de Frecuencia Diarias por Punto de Monitoreo 48

Anexo B: Formato de Ficha de Registro de Campo (Instrumento)..... 49

Anexo C: Glosario de términos técnicos 50

Índice de Figuras

Figura 1. Procesamiento del Buffer a cada punto.	6
Figura 2. Ventana de opciones para la aplicación del Buffer.....	6
Figura 3. Ejecución de la herramienta Dissolve.....	7
Figura 4. Ventana de opciones para la aplicación del dissolve.....	7
Figura 5. Configuración territorial y proximidad de zonas industriales y residenciales en la comuna de Coronel.	8
Figura 6. Esquema de las etapas de percepción de un olor.....	9
Figura 7. Mapa de la configuración territorial de la comuna de Coronel.	11
Figura 8. Mapa base de la comuna de Coronel.	12
Figura 9. Relieve y altimetría de la comuna de Coronel.....	13
Figura 10. Esquema de dispersión de olores y estabilidad atmosférica.	15
Figura 11. Planta pesquera Camanchaca en el sector de Coronel.....	17
Figura 12. Instalaciones de Pesquera Blumar.	17
Figura 13. Infraestructura portuaria del Puerto de Coronel..	18
Figura 14. Área de operaciones del Puerto Pesquero Artesanal Lo Rojas, Coronel..	19
Figura 15. Delimitación del dominio de estudio y área de influencia directa para la modelación de dispersión odorífera.....	22
Figura 16. Ubicación punto de muestreo.	23
Figura 17. Vista panorámica del entorno.	24
Figura 18. Ubicación punto de muestreo.	24
Figura 19. Vista panorámica del entorno.	25
Figura 20. Ubicación punto de muestreo.	25
Figura 21. Vista panorámica del entorno.	26
Figura 22. Ubicación punto de muestreo.	26
Figura 23. Vista panorámica del entorno.	27
Figura 24. Fórmula para medir la frecuencia de olor.....	28
Figura 25. Formula adaptada para el estudio.	29
Figura 26. Georreferenciación de puntos de muestreo Comuna de Coronel.	30
Figura 27. Buffer generado con los criterios ingresado en el software QGIS..	32
Figura 28. Buffer ajustado la herramienta Dissolve en QGIS.....	32
Figura 29. Recuadro de aplicación del método IDW en software QGIS.	34
Figura 30. Normalización de los datos de viento.....	35
Figura 31. Ejemplo tabla de datos de viento.....	35
Figura 32. Mapa de Curvas isodoras - Periodo Mañana.	37
Figura 33. Rosa de los vientos – Periodo Mañana.	37
Figura 34. Mapa de curvas isodoras – Periodo tarde..	39
Figura 35. Rosa de los vientos – Periodo tarde.....	39
Figura 36. Mapa de curvas isodoras – Periodo acumulado.....	40
Figura 37. Rosa de los vientos – Periodo acumulado.	41
Figura 38. Captura de pantalla de la planilla de sistematización de datos en terreno.	49

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas y sectores de los puntos de muestreo 23

Tabla 2. Ejemplo de matriz con los datos levantados en terreno 27

Tabla 3. Escala de intensidad adaptada de acuerdo a norma alemana VDI 3882 Blatt 1.28

Tabla 4. Promedios estadísticos de frecuencia de olores (%) para cada uno de los puntos
.....30

Tabla 5. Tabla de promedios temperatura y humedad. 36

Tabla 6. Resumen comparativo de frecuencia de olor (%) por sector. 42

Tabla 7. Porcentajes de frecuencia de olor diarios.....48

Tabla 8. Formato de planilla para levantamiento de datos odoríferos en terreno. 49

Sigla y Simbología

Siglas

CONAMA (España): Conferencia Nacional del Medio Ambiente (España). Referencia normativa utilizada para la gestión ambiental y el uso de mapas de impacto odorífero.

FIDOL: Factores de Percepción: Frecuencia, Intensidad, Duración, Ofensividad y Localización.

IDE: Infraestructura de datos Geoespaciales.

IDW: Inverse Distance Weighting (Distancia Inversa Ponderada), modelo de interpolación para estimar la frecuencia de olor.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas.

MINSAL: Ministerio de Salud (Chile).

MMA: Ministerio del Medio Ambiente (Chile).

QGIS: Software de Sistema de Información Geográfica utilizado para la modelación y procesamiento de datos.

SEA: Sistema de Evaluación Ambiental.

SIG: Sistema de Información Geográfica.

SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.

UTM: Universal Transverse Mercator, sistema de coordenadas empleado para delimitar el dominio de modelación.

VDI: Verein Deutscher Ingenieure. Se refiere a la norma alemana VDI 3940, estándar internacional para la medición de olores mediante inspecciones de campo.

WGS 84: World Geodetic System 1984, Sistema de referencia geodésico para la georreferenciación de los puntos de muestreo.

Simbología

F_m: Frecuencia de olor porcentual durante la jornada de la mañana.

F_t: Frecuencia de olor porcentual durante la jornada de la tarde.

F_a: Frecuencia acumulada porcentual de todas las jornadas de medición.

P_{od}: Porcentaje de tiempo de olor, unidad fundamental de la norma VDI 3940 para expresar la exposición.

Km/h: Kilómetros por hora, Unidad de medida para la velocidad del viento.

Km²: Kilómetros cuadrados, Unidad de medida de superficie utilizada para definir el dominio de estudio.

m: Metros, unidad de longitud utilizada en la delimitación de radios de influencia (buffers).

°C: Grados Celcius, unidad de medida para la temperatura ambiental.

%: Porcentaje, unidad para la humedad y frecuencias.

Introducción

La calidad del aire es un indicador crucial que mide la pureza y salubridad del aire que respiramos [1]. Entre los factores que afectan la calidad del aire se encuentra la contaminación por olores, también conocida como contaminación odorífera, la cual se define como la presencia en el aire de sustancias que generan olores desagradables, provocando incomodidad o malestar en las personas [2]. Esta problemática ha sido reconocida como uno de los problemas ambientales y sociales más recurrentes a nivel global, dado que los olores pueden ser percibidos incluso cuando las concentraciones de las sustancias odoríferas presentes en el aire son extremadamente bajas [3].

Los efectos de los malos olores en la salud no son completamente claros, sugiriéndose que la molestia generada por la exposición, más que la percepción del olor, podría explicar la aparición de los síntomas reportados. Algunos compuestos pueden producir efectos irritantes, proinflamatorios, inmunológicos o psicológicos [4]. Asimismo, la exposición a estos olores puede afectar el estado psíquico y el ánimo, generando situaciones de estrés, cuyos efectos dependen de la dosis percibida y del tiempo de exposición. Entre los síntomas negativos asociados a la molestia por olor se incluyen mareos, náuseas, vómitos, dolor de cabeza, problemas de concentración, entre otros. Además, Algunas sustancias son percibidas a concentraciones muy inferiores a aquellas que causan toxicidad, lo que resalta la relevancia del componente de molestia en la evaluación de los impactos en salud [5].

La percepción de olores y el nivel de molestia asociado no se explican únicamente a partir de la concentración de la emisión, sino que responden a la interacción de los denominados factores FIDOL, los cuales consideran la frecuencia y duración de los episodios odoríferos, el carácter hedónico u ofensividad del olor y la localización del receptor, entendida como el contexto territorial y ambiental de la exposición. En consecuencia, la evaluación de la contaminación por olores requiere enfoques que complementen el análisis fisicoquímico tradicional, dado que la molestia puede manifestarse incluso cuando los compuestos odoríferos se encuentran presentes en concentraciones inferiores a sus umbrales de detección química [6].

La problemática de la calidad del aire en Chile está condicionada por una compleja situación geográfica que determina escasas condiciones de ventilación y dinámicas específicas en el transporte de contaminantes, lo cual influye directamente en la dispersión de las emisiones según la topografía local [7]. A esta condición meteorológica se suma la presencia de actividades productivas con distintos procesos y niveles de ofensividad, las cuales son categorizadas según su potencial de generación de molestias en las

comunidades circundantes [8]. Finalmente, la deficiente planificación territorial ha permitido una mezcla de usos de suelo donde la coexistencia de fuentes industriales con zonas residenciales deriva en conflictos socioambientales críticos que afectan el bienestar de la población [3].

La evaluación de la contaminación por olores presenta desafíos metodológicos particulares, asociados a la variabilidad temporal de las emisiones y al carácter subjetivo de la percepción humana, lo que consolida el uso de mapas de impacto para la gestión ambiental local [9]. En este contexto, la metodología aplicada para abordar esta problemática es el enfoque sensorial mediante inspecciones de campo, siguiendo los estándares de la directriz VDI 3940. Esta técnica permite determinar la frecuencia de impacto de olores reconocibles en el territorio utilizando a examinadores entrenados como sensores biológicos, quienes registran la presencia de olor en una cuadrícula o grilla de medición para validar la exposición real de la comunidad. Finalmente, esta caracterización se complementa con modelos de dispersión que permiten integrar la influencia de los factores meteorológicos y proyectar el alcance real de la molestia en el territorio.

En la comuna de Coronel, la problemática asociada a los malos olores se ha consolidado como una de las principales causas del conflicto socio-ambiental, debido a la coexistencia de actividades industriales, pesqueras y de tratamiento de residuos en sectores próximos a zonas residenciales. Asimismo, las condiciones geográficas y meteorológicas de la comuna, caracterizadas por una topografía irregular y la presencia de vientos variables, pueden favorecer tanto la acumulación como la dispersión de los compuestos odoríferos, intensificando la percepción de los olores en determinados sectores del territorio comunal [10].

A pesar de la presencia de diversas fuentes emisoras en la comuna de Coronel, no se dispone de estudios locales que analicen o representen la dispersión de olores mediante metodologías espaciales aplicadas en terreno. Esta falta de información limita la comprensión de la influencia de las condiciones meteorológicas y territoriales en la propagación de los compuestos odoríferos a escala comunal. En este contexto, surge la necesidad de desarrollar una investigación que permita caracterizar las fuentes asociadas y representar su dispersión relativa a nivel local, mediante un enfoque metodológico de carácter espacial y aplicable en terreno, orientado a fortalecer la comprensión del fenómeno y apoyar la gestión ambiental del territorio.

Objetivos

Objetivo General

Modelar la dispersión de malos olores presentes en la comuna de Coronel mediante la aplicación del método de grilla, considerando la identificación y caracterización de las principales fuentes emisoras.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el territorio de la comuna de Coronel considerando las condiciones geográficas, meteorológicas y la presencia de fuentes emisoras de olores.
- Desarrollar un modelo espacial de dispersión de malos olores mediante el método de grilla para estimar su distribución y comportamiento territorial.
- Analizar el comportamiento de la dispersión de malos olores en el área de estudio, a partir de los puntos de muestreo definidos.

Alcance

La presente investigación tiene como alcance la aplicación del Método de Grilla para representar la distribución espacial de la frecuencia de percepción de olores en la Comuna de Coronel. A partir de una caracterización territorial que integra las condiciones geográficas y meteorológicas, junto con la presencia de actividades productivas y fuentes emisoras, con el fin de contextualizar ambientalmente el área de estudio.

El análisis se desarrolla a partir de cuatro puntos de observación definidos en sectores de interacción entre actividades industriales y áreas residenciales, los cuales permiten examinar el comportamiento espacial de la dispersión de olores en el entorno urbano costero. El levantamiento de información se realiza mediante registros sensoriales en terreno, en periodos de mañana y tarde, efectuados por dos observadores.

El alcance del estudio comprende la organización y análisis descriptivos de los datos obtenidos, su procesamiento cartográfico mediante sistemas de información geográfica (SIG), la elaboración de mapas de frecuencia de olor y la generación de rosas de los vientos asociadas a los periodos de muestreo.

Las principales limitaciones de la investigación se relacionan con la disponibilidad de información meteorológica local y con la naturaleza subjetiva inherente a la percepción

sensorial del olor, condiciones propias de los métodos de evaluación de olores en ambientes abiertos. En este contexto, el estudio busca entregar una aproximación técnica y espacial a la recurrencia del fenómeno de malos olores en el territorio analizado.

Metodología

Enfoque metodológico

La investigación se desarrolla bajo un enfoque descriptivo, orientado al análisis territorial de la problemática de los malos olores en la comuna de Coronel. Este enfoque permite abordar el fenómeno considerando su expresión espacial y temporal, a partir de información levantada en terreno y su integración mediante herramientas de análisis espacial.

Revisión bibliográfica y análisis de antecedentes

La metodología se inicia con una revisión bibliográfica y el análisis de antecedentes municipales, con el fin de contextualizar la problemática de los olores en la comuna. Esta etapa permitió identificar las principales fuentes emisoras presentes en el territorio, su localización, tipo de actividad y relevancia ambiental, información que sirvió de base para la delimitación del área de estudio

Delimitación del área del estudio y puntos críticos

El área de estudio se definió considerando la concentración espacial de fuentes emisoras, la proximidad a sectores residenciales y la alta concurrencia de personas, criterios que aseguran la representatividad territorial de la problemática. Dentro de esta área se seleccionaron cuatro puntos de muestreo, ubicados estratégicamente en función de su exposición potencial a episodios odorantes.

Diseño del muestreo en terreno

El muestreo fue realizado por dos personas durante un periodo de dos semanas, con una frecuencia de 4 días por semana, en días alternos (lunes, miércoles, viernes y domingo) totalizando ocho días de muestreo.

Cada jornada se desarrolló en dos franjas horarias:

Horario diurno: 11:00 a 13:00 horas.

Horario vespertino: 18:00 a 20:00 horas.

Cada observador fue responsable de dos puntos por franja horaria, intercambiando los puntos entre la mañana y la tarde con el fin de reducir sesgos asociados al observador y al horario.

Cada punto fue muestreado durante 45 minutos, registrándose observaciones cada 15 minutos, obteniéndose cuatro registros por punto en cada franja horaria. Entre un punto y otro se consideró un tiempo de traslado aproximado de 15 minutos.

Además, los horarios de inicio de cada punto fueron alternados entre días consecutivos. De este modo si un punto fue muestreado a las 11:00 en una jornada, en la siguiente se inició a las 12:00 permitiendo una cobertura temporal más equilibrada.

Variables evaluadas:

Durante cada registro de muestreo, se evaluaron variables ambientales y perceptuales. La intensidad del olor fue registrada directamente en terreno por los observadores, mientras que las variables, temperatura, humedad, dirección e intensidad del viento y presencia de precipitaciones fueron obtenidas a partir de la plataforma meteorológica Windy, utilizada como fuente de referencia para las condiciones atmosféricas del momento del muestreo.

Método de grilla y modelación espacial en SIG

Para el procesamiento de la información, se empleó el Método de Grilla mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo la transición de datos puntuales obtenidos en terreno a una representación espacial continua. Este procedimiento consistió en la estructuración de una malla de análisis sobre la zona de estudio, la delimitación de áreas de influencia mediante geoprocesos de buffer y la aplicación de un modelo de interpolación geoestadística (IDW) para estimar la frecuencia de olor en zonas no muestreadas.

La ejecución de este procedimiento y el despliegue de las herramientas mencionadas se detallan gráficamente en las figuras presentadas a continuación (Figura 1-4).

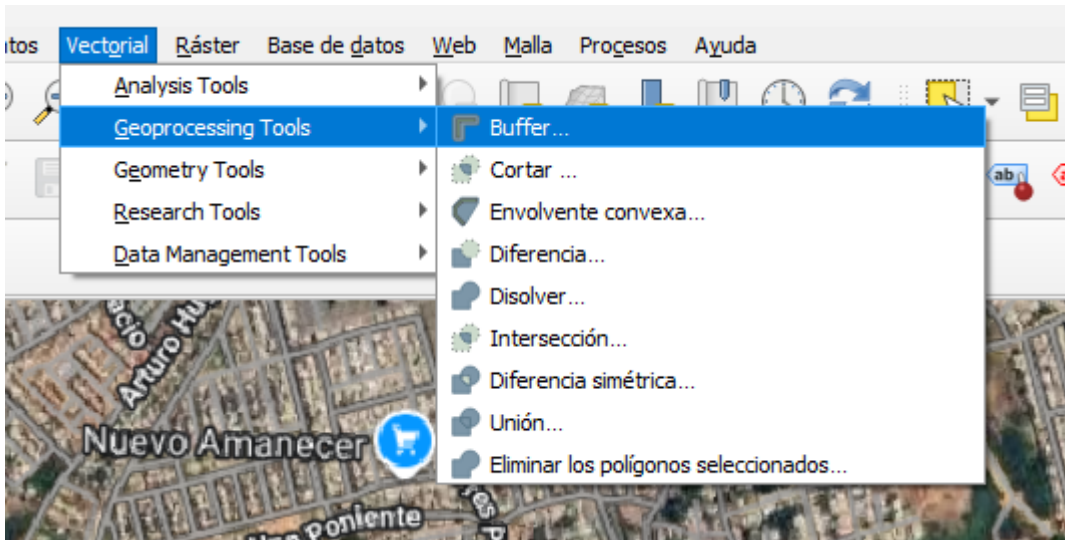


Figura 1. Procesamiento del Buffer a cada punto.
Fuente: Captura de pantalla obtenida desde QGIS.

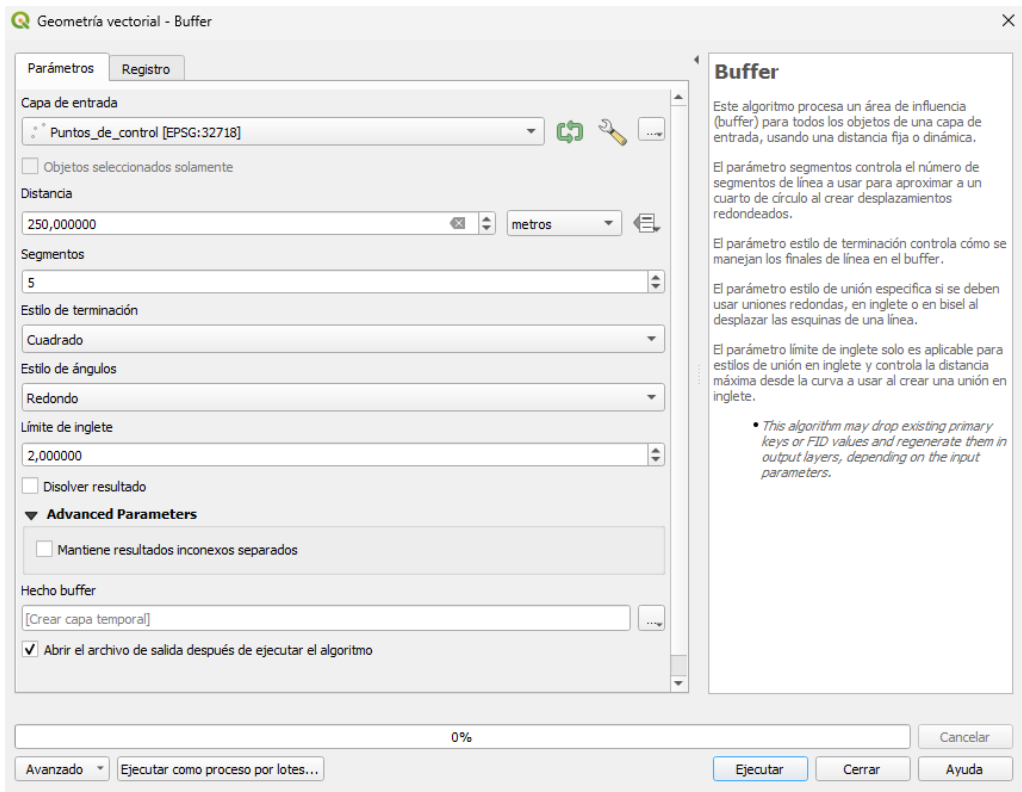


Figura 2. Ventana de opciones para la aplicación del Buffer.
Fuente: Captura de pantalla obtenida desde QGIS.

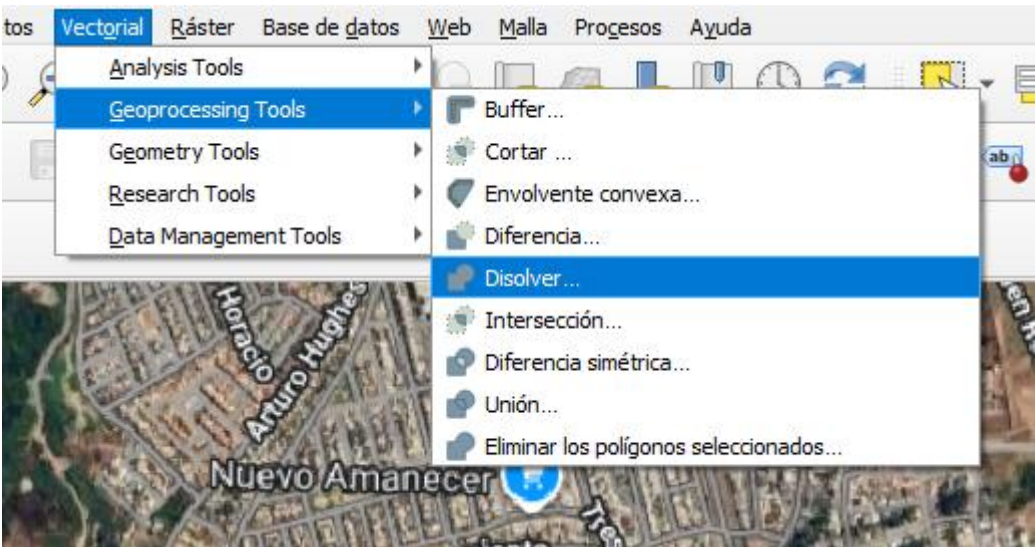


Figura 3. Ejecución de la herramienta Disolver.
Fuente: Captura de pantalla obtenida desde QGIS.

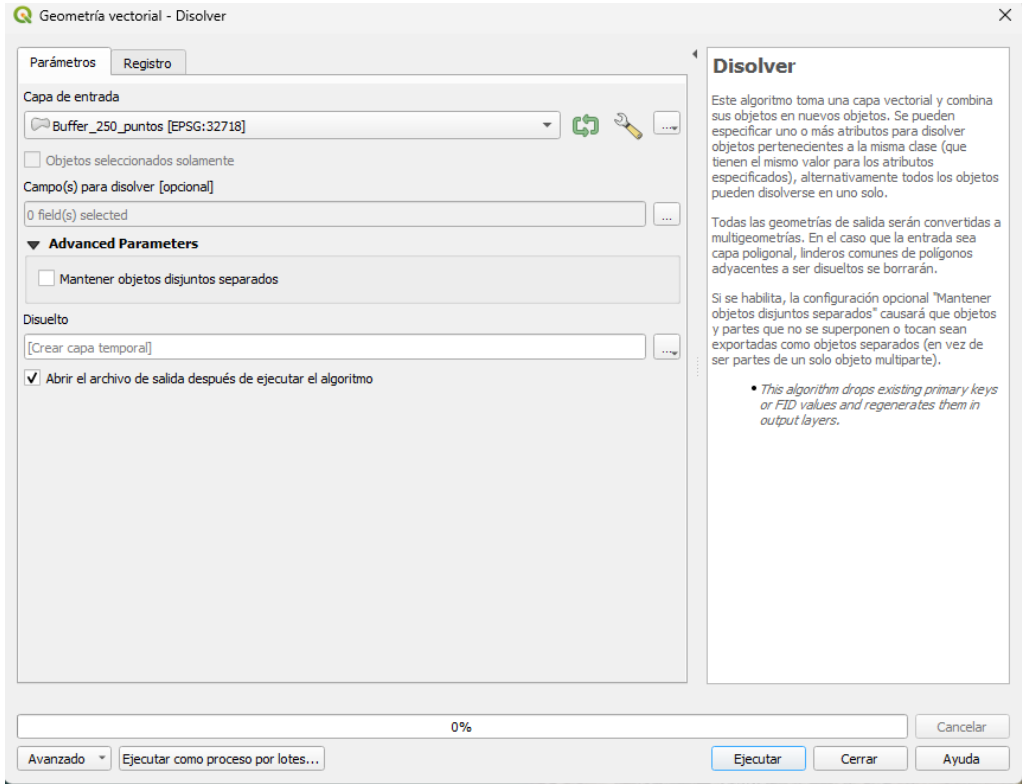


Figura 4. Ventana de opciones para la aplicación del disolver.
Fuente: Captura de pantalla obtenida desde QGIS.

Elaboración de mapas, gráficos e interpretación de resultados

Esta etapa final consistió en la síntesis y representación visual de la información procesada para facilitar su interpretación técnica. En primer lugar, se elaboraron mapas de frecuencia de olor mediante técnicas de modelación espacial en SIG, los cuales permitieron identificar geográficamente las zonas con mayor recurrencia de eventos odoríferos en la comuna. Complementariamente, se confeccionó una rosa de los vientos para representar

de manera gráfica la dirección y velocidad predominante del viento durante el periodo de estudio. La integración de ambos productos permitió correlacionar la ubicación de las fuentes emisoras con las áreas de mayor afectación, proporcionando una base sólida para el análisis de los resultados y la identificación de patrones de dispersión en el territorio

CAPITULO 1:
Caracterización territorial y ambiental de la comuna de Coronel

1.1 Introducción al problema de malos olores en Coronel

1.1.1 Contexto productivo y territorial de la comuna

La comuna de Coronel presenta un contexto productivo y territorial complejo, donde la presencia histórica de actividades industriales, portuarias y pesqueras convive en estrecha proximidad con asentamientos humanos [10]. Esta mezcla de usos de suelo ha derivado en conflictos socioambientales persistentes, destacando la recurrencia de episodios de olores molestos que representan una de las principales causas de denuncias ciudadanas y afectación a la calidad de vida en la zona [3]. Al respecto, como se puede apreciar (Figura 5), la naturaleza de las industrias presentes implica altos niveles de ofensividad, dado que generan compuestos odoríferos que resultan altamente perceptibles y desagradables para la comunidad incluso en bajas concentraciones, lo que intensifica la percepción de molestia en el territorio [8].

La siguiente representación gráfica (figura 5) permite espacializar la magnitud de esta cercanía y los puntos críticos de contacto territorial.

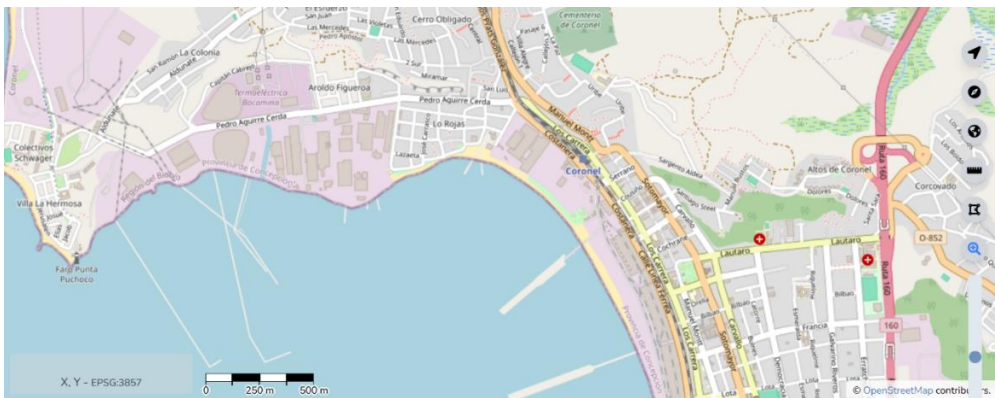


Figura 5. Configuración territorial y proximidad de zonas industriales y residenciales en la comuna de Coronel.
Fuente: Adaptado de [32].

1.1.2 Malos olores como problemática socioambiental local

La contaminación por olores ha pasado de ser una molestia aislada a consolidarse como un factor crítico de tensión entre la industria y la comunidad. La exposición frecuente a estos episodios no solo genera reclamos formales, sino que altera la cotidianeidad y el uso de los espacios públicos, especialmente en aquellos barrios que colindan directamente con el cordón industrial [39]. Esta problemática se ve profundizada por la respuesta fisiológica de rechazo que provocan ciertos efluentes, los cuales, por su composición química, son percibidos como una amenaza constante a la habitabilidad del entorno [8].

Para comprender cómo la contaminación odorífera afecta a la comunidad, es fundamental analizar el proceso biológico y sensorial mediante el cual el ser humano detecta un olor. A continuación, se presenta el esquema (Figura 6) de las etapas de percepción de un olor, el cual ilustra desde el contacto inicial con las moléculas odoríferas hasta la respuesta psicológica del receptor, fundamentando así el uso del sentido del olfato como instrumento de medición en este estudio.

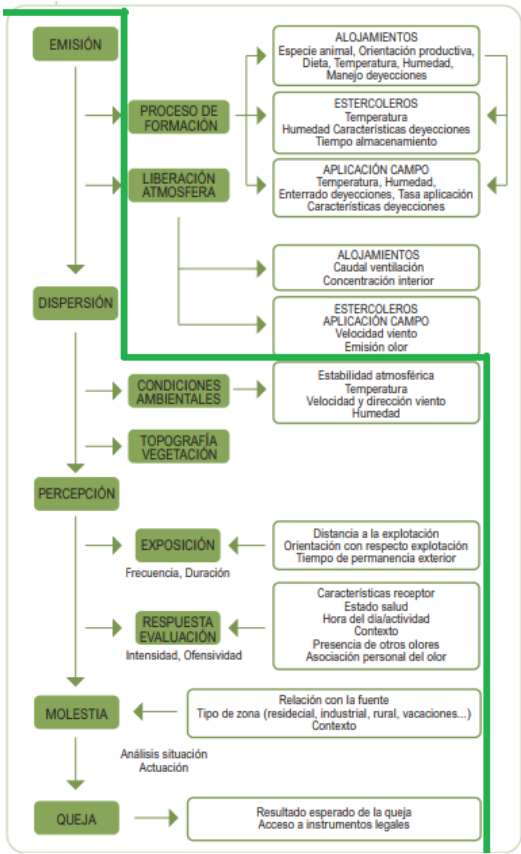


Figura 6. Esquema de las etapas de percepción de un olor.
Fuente: Adaptado de [33].

1.1.3 Influencia del territorio y las condiciones ambientales

La dispersión de los olores en la comuna se encuentra condicionada por su carácter costero y por las características de la meteorología local, donde el predominio de vientos provenientes del cuadrante sur y suroeste actúa como uno de los principales vectores de transporte de efluentes odoríferos hacia las zonas habitadas [10]. Esta dinámica puede verse intensificada durante episodios de estabilidad atmosférica, los cuales limitan la renovación del aire y favorecen la acumulación de compuestos odoríferos sobre el radio urbano, prolongando su permanencia a nivel del suelo [39].

1.1.4 Enfoque territorial del territorio

En este contexto, el análisis del problema de los malos olores en la comuna de Coronel requiere ser abordado desde una perspectiva territorial, considerando las particularidades geográficas y ambientales que influyen en la ocurrencia y percepción de los episodios odoríferos. Este enfoque permite contextualizar el fenómeno a escala comunal y sirve de base para la caracterización territorial desarrollada en los apartados siguientes.

1.2 Localización y características generales de la comuna

La comuna de Coronel pertenece administrativamente a la provincia de Concepción, en la Región del Biobío, y se localiza aproximadamente a 30 kilómetros al sur de la ciudad de Concepción. Forma parte del Área Metropolitana del Gran Concepción, integrando una de las once comunas que conforman este sistema urbano de relevancia nacional. En este contexto, Coronel se inserta dentro del complejo portuario-industrial metropolitano, constituyéndose como uno de los centros de mayor potencialidad productiva del cinturón periurbano regional, debido a la presencia de parques industriales y puertos que forman parte de la plataforma logística del Biobío y de la macrozona sur del país.

Desde el punto de vista territorial, la comuna presenta una superficie total aproximada de 279,4 km², de los cuales cerca de 99 km² corresponden a superficie urbana y aproximadamente 180 km² a superficie rural. La configuración actual del territorio comunal se estableció a partir de la reformulación administrativa de 1979, contenida en el Decreto Ley N° 2.868, proceso que definió los límites comunales vigentes y modificó tanto la superficie como la distribución poblacional de Coronel.

En cuanto a sus límites, la comuna colinda al norte con San Pedro de la Paz, al sur con Lota y Santa Juana, al este con el eje hidráulico del río Biobío y al oeste con el océano Pacífico. Esta localización costera y su posición dentro del sistema metropolitano han condicionado históricamente el desarrollo urbano e industrial de la comuna.

De acuerdo con los datos oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas correspondientes al año 2024, la comuna de Coronel registra una población total de 123.648 habitantes [11], posicionándose como una de las comunas más pobladas de la Región del Biobío. Esta población se concentra principalmente en el área urbana, particularmente en el centro urbano de Coronel Costa, donde se observa una alta densidad poblacional y un proceso sostenido de expansión urbana.

Finalmente, la comuna cuenta con una red de accesibilidad vial estructurada a partir de tres accesos principales: desde el norte a través de la Ruta 160, que conecta con San Pedro de la Paz; desde el sur mediante la misma ruta desde Lota; y desde el oeste por la ruta O-852, que vincula a Coronel con la Ruta 156 o Ruta de la Madera, facilitando la conectividad con comunas del interior y reforzando su rol logístico dentro del sistema regional [10].

En la Figura 7 se presenta cartográficamente el territorio de la comuna de Coronel, permitiendo visualizar su extensión.



Figura 7. Mapa de la configuración territorial de la comuna de Coronel.
Fuente: Adaptado de [32].

1.3 Geografía y condiciones territoriales

1.3.1 Geología y geomorfología

La comuna de Coronel se ubica en un territorio cuya geología es el resultado de distintos procesos naturales ocurridos a lo largo del tiempo, como movimientos tectónicos, sedimentación y erosión. El área continental está compuesta por unidades geológicas de distintas edades, que incluyen rocas antiguas, depósitos sedimentarios marinos y continentales, así como materiales más recientes asociados a ríos y terrazas marinas. Estos elementos han dado forma a la base física del territorio comunal.

Desde el punto de vista geomorfológico, la comuna forma parte de las principales unidades del relieve de la Región del Biobío, destacando la presencia de la Cordillera de la Costa y las planicies litorales. Estas unidades se han formado principalmente por la acción del mar, los ríos y el viento, configurando un paisaje caracterizado por zonas bajas cercanas a la costa y sectores más elevados hacia el interior [10].

Para visualizar la distribución de estas unidades en el terreno, en la Figura 8 se presenta el mapa base de la comuna de Coronel. Esta representación cartográfica permite situar espacialmente las planicies litorales y las zonas de mayor elevación mencionadas anteriormente, facilitando la comprensión de la base física sobre la cual se asienta la comuna.

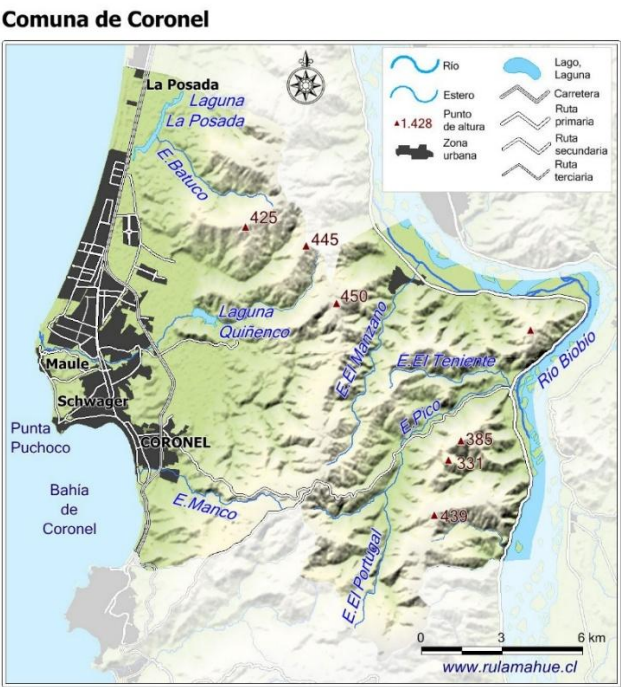


Figura 8. Mapa base de la comuna de Coronel. Fuente: Adaptado de [34].

1.3.2 Relieve y unidades fisiográficas

El relieve de la comuna muestra un marcado contraste entre el sector costero y las áreas interiores. En el borde occidental predominan las planicies litorales de baja altitud, con una altitud promedio entre 7 y 12 metros sobre el nivel del mar, donde se concentra gran parte del desarrollo urbano e industrial gracias a sus buenas condiciones de accesibilidad y pendientes suaves. Estas planicies se ven interrumpidas por terrazas marinas elevadas, que alcanzan entre 60 y 200 metros sobre el nivel del mar. Hacia el interior, el relieve se vuelve más irregular, asociado a las estribaciones de la Cordillera de Nahuelbuta, con alturas que oscilan entre 400 y 500 metros. En estos sectores, las pendientes pronunciadas y la presencia de quebradas han limitado la expansión urbana, favoreciendo usos de suelo de carácter rural o de menor intensidad. La combinación de estas unidades de relieve ha condicionado la ocupación del territorio comunal, concentrando las áreas residenciales e industriales en las zonas más bajas y accesibles. Esta configuración territorial es fundamental para comprender las dinámicas ambientales de la comuna, ya que determina la ubicación de la población y de las principales actividades productivas [10].

A continuación, se presenta la configuración del relieve en el área de estudio donde se detallan las variaciones de elevación del terreno (Figura 9). En esta representación, los colores muestran los distintos rangos de altitud: los tonos verdes corresponden a zonas de menor altura (planicies litorales), los tonos amarillos a sectores intermedios y los tonos rojos a áreas de mayor elevación hacia el interior de la comuna, factores que influyen directamente en la dinámica de dispersión de los olores.

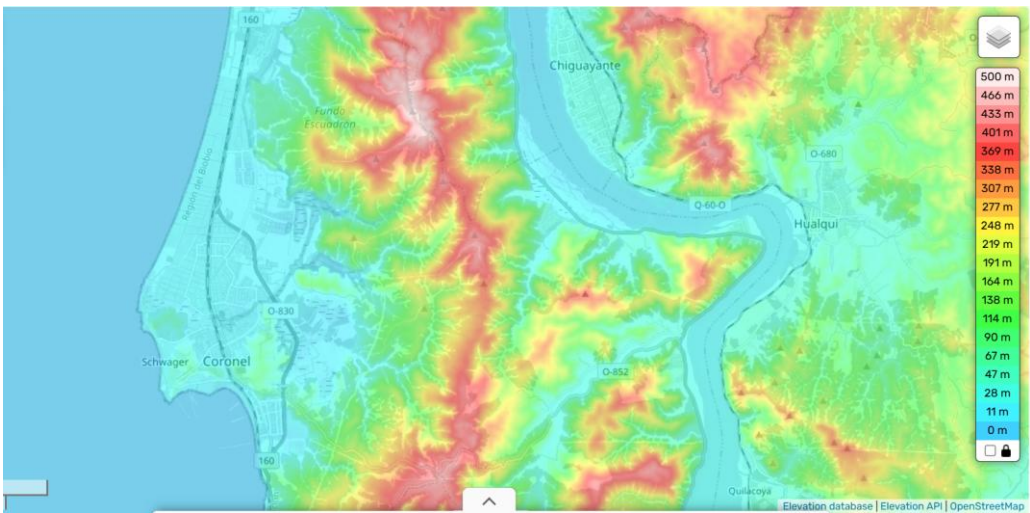


Figura 9. Relieve y altimetría de la comuna de Coronel.
Fuente: Adaptado de [35].

1.4 Condiciones meteorológicas

1.4.1 Clima general de la comuna

La comuna de Coronel presenta un clima de carácter costero, influenciado directamente por su cercanía al océano Pacífico. Esta condición marítima actúa como un regulador térmico, moderando las variaciones de temperatura a lo largo del año y generando un ambiente con amplitudes térmicas relativamente bajas en comparación con sectores interiores de la región. Como resultado, se registran temperaturas moderadas durante gran parte del año, con veranos templados e inviernos suaves, acompañados de niveles de humedad relativamente elevados [10].

1.4.2 Vientos predominantes

En la comuna de Coronel predomina un régimen de vientos característico del sector costero de la Región del Biobío, con direcciones dominantes provenientes del cuadrante sur y suroeste durante gran parte del año. Estos vientos se encuentran asociados a la circulación marina costera y a los contrastes térmicos entre el océano Pacífico y el continente, configurando las condiciones de ventilación del territorio comunal. Según antecedentes municipales, la persistencia y dirección de los vientos influyen en el desplazamiento de las masas de aire a escala local, condicionando el transporte de compuestos atmosféricos desde el borde costero hacia sectores interiores y áreas urbanizadas de la comuna [10].

El viento actúa como el principal mecanismo de transporte de compuestos en la atmósfera, ya que su dirección determina hacia dónde se desplazan los contaminantes y su velocidad influye en su dilución horizontal. Velocidades altas favorecen la dispersión, mientras que velocidades bajas permiten la acumulación de contaminantes cerca de la fuente [12]. En el caso de los olores, la dirección del viento es fundamental porque determina hacia dónde se dirige el olor y permite saber si las fuentes emisoras se encuentran en el sotavento de los receptores, mientras que la velocidad del viento influye en la turbulencia y la mezcla; así, ante la presencia de velocidades altas, las concentraciones de olor son menores [13].

1.4.3 Estabilidad atmosférica

La combinación del clima costero y la topografía local incrementa la probabilidad de eventos de acumulación atmosférica en la comuna de Coronel. La proximidad al Océano Pacífico otorga al territorio una regulación térmica con amplitudes moderadas, lo que favorece condiciones de estabilidad atmosférica, especialmente durante las madrugadas y mañanas frías [10]. En estos periodos, el rápido enfriamiento del suelo puede dar origen

al fenómeno de inversión térmica, caracterizado por la formación de una capa de aire más cálido que se dispone sobre aire frío cercano a la superficie. Esta configuración actúa como una “tapa” atmosférica que limita el ascenso del aire frío y reduce la dispersión vertical de los contaminantes, favoreciendo la acumulación de olores y otros compuestos gaseosos en los estratos bajos de la atmósfera [14]. Esta condición de estabilidad extrema limita la capacidad de dispersión de la atmósfera, provocando que las emisiones de las industrias pesqueras y fuentes residenciales queden atrapadas a baja altura, aumentando la concentración y el impacto del olor en el sector [15].

A continuación, se presenta un esquema que permite comprender el comportamiento meteorológico local. La imagen (Figura 10) ilustra el fenómeno de inversión térmica y el efecto barrera de la Cordillera de la Costa sobre la cuenca de Coronel, condiciones que limitan la dispersión vertical de los contaminantes y favorecen su acumulación en las zonas bajas de la comuna.

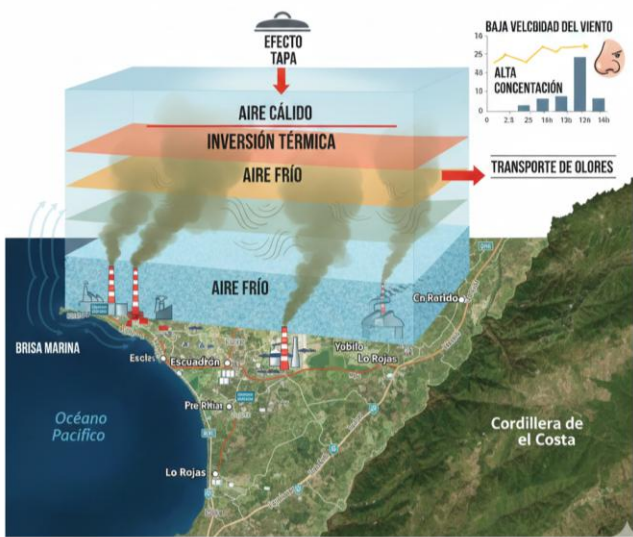


Figura 10. Esquema de dispersión de olores y estabilidad atmosférica.
Fuente: Elaboración propia mediante inteligencia artificial (2025).

1.4.4 Relevancia para la dispersión de olores

La configuración meteorológica y topográfica de la zona determina la capacidad de transporte y dispersión de contaminantes en la comuna de Coronel. La presencia de la Cordillera de la Costa actúa como una barrera física que delimita la cuenca atmosférica, restringiendo la circulación de aire y favoreciendo episodios de mala ventilación. Estas condiciones, sumadas a la frecuencia de inversiones térmicas de carácter subsidiente o radiativo, limitan la mezcla vertical de la atmósfera, provocando que las emisiones odoríferas provenientes del parque industrial no logren diluirse. En consecuencia, los compuestos se mantienen confinados en los estratos bajos de la tropósfera, siendo

desplazados por brisas locales hacia las zonas residenciales, lo que intensifica el impacto ambiental y la percepción de olores en la población cercana [16].

1.5. Fuentes emisoras de olores en Coronel

La problemática de los malos olores en la comuna de Coronel se encuentra estrechamente vinculada a la presencia y coexistencia de diversas actividades productivas, portuarias y pesqueras que forman parte de la estructura económica y territorial del sector costero. Estas actividades, por la naturaleza de sus procesos y por el manejo de materias primas y residuos orgánicos, constituyen potenciales generadoras de emisiones odorantes que inciden en el entorno urbano y residencial cercano [17].

La identificación de las fuentes emisoras de olores en este estudio se aborda desde una perspectiva descriptiva y territorial, orientada a reconocer las principales actividades asociadas a la generación de olores, sin establecer jerarquías técnicas ni clasificaciones analíticas de intensidad. Este enfoque permite contextualizar el fenómeno odorante dentro del sistema productivo local, proporcionando una base conceptual para el posterior análisis espacial desarrollado en los capítulos siguientes.

1.5.1 Actividad industrial pesquera

Dentro del área Costera de Coronel, la actividad industrial pesquera constituye uno de los principales focos de generación de olores, debido a los procesos asociados a la transformación de recursos marinos. En particular, la elaboración de harina y aceite de pescado involucra etapas productivas que pueden liberar compuestos odorantes característicos, especialmente cuando se trabaja con grandes volúmenes de materia prima orgánica [18].

Las empresas Camanchaca y Blumar desarrollan este tipo de actividades en el litoral de la comuna, concentrando operaciones de procesamiento industrial que incluyen etapas como cocción, prensado y secado de productos marinos. Estas fases productivas han sido identificadas por la institucionalidad ambiental como potenciales generadores de emisiones odorantes. Siendo consideradas en instrumentos y diagnósticos ambientales asociados al sector pesquero [19] [20].

La presencia de estas instalaciones industriales en un contexto de cercanía con áreas habitadas refuerza la necesidad de considerar su influencia dentro del análisis territorial del fenómeno de olores, entendiendo su rol como parte del sistema productivo que interactúa con el espacio urbano.

Con el fin de identificar visualmente los principales focos de emisión en el área de estudio, se presentan las instalaciones de las empresas pesqueras que operan en el sector. En las

Figuras 11 y 12 se muestran las plantas de Camanchaca y Pesquera Blumar, respectivamente, las cuales representan las fuentes de origen industrial con mayor relevancia en el sector.



Figura 11. Planta pesquera Camanchaca en el sector de Coronel.
Fuente: Adaptado de [36].



Figura 12. Instalaciones de Pesquera Blumar.
Fuente: Adaptado de [Mapa de Pesquera Blumar, Coronel], por [37].

1.5.2 Actividades logísticas portuarias y manejo de cargas

Otra actividad relevante en la generación de olores corresponde a las operaciones logísticas y portuarias desarrolladas en el borde costero de la comuna. El puerto de Coronel concentra diversas funciones asociadas al almacenamiento, manipulación y transferencia de cargas, alguna de ellas de carácter orgánico, que pueden dar lugar a emisiones odorantes perceptibles en su entorno.

Los patios de acopio, muelles y áreas operativas del puerto constituyen espacios donde la exposición de materiales a condiciones ambientales puede favorecer la liberación de olores, especialmente en situaciones de manejo prolongado o inadecuado de cierto tipo de carga. Esta problemática ha sido reconocida por organismos fiscalizadores, lo que evidencia la relevancia ambiental de estas actividades dentro del contexto comunal [21].

La Figura 13 muestra una vista de la infraestructura del Puerto de Coronel, identificando las principales instalaciones de su zona de operaciones.



Figura 13. Infraestructura portuaria del Puerto de Coronel.
Fuente: Adaptado de [Mapa del Puerto de Coronel], por [37].

1.5.3 Actividad pesquera artesanal y manejo de residuos orgánicos

La actividad pesquera artesanal desarrollada en el sector de Lo Rojas también contribuye a la generación de olores, principalmente a partir del desembarque, limpieza de embarcaciones y manejo de residuos orgánicos derivados de la faena pesquera.

La acumulación temporal de restos de pescado y subproductos orgánicos, junto con prácticas de manejo que pueden verse condicionadas por limitaciones de infraestructura, constituye una fuente potencial de emisiones odorantes que inciden directamente en el entorno inmediato. Este tipo de impacto ha sido reconocido en diagnósticos ambientales elaborados por organismos públicos. Destacando necesidad de considerar estas actividades dentro del análisis del fenómeno odorante en la comuna [17].

En la Figura 14 se detalla la infraestructura del Puerto Pesquero de Coronel, permitiendo identificar las áreas de atraque y descarga, así como la disposición general de las instalaciones.

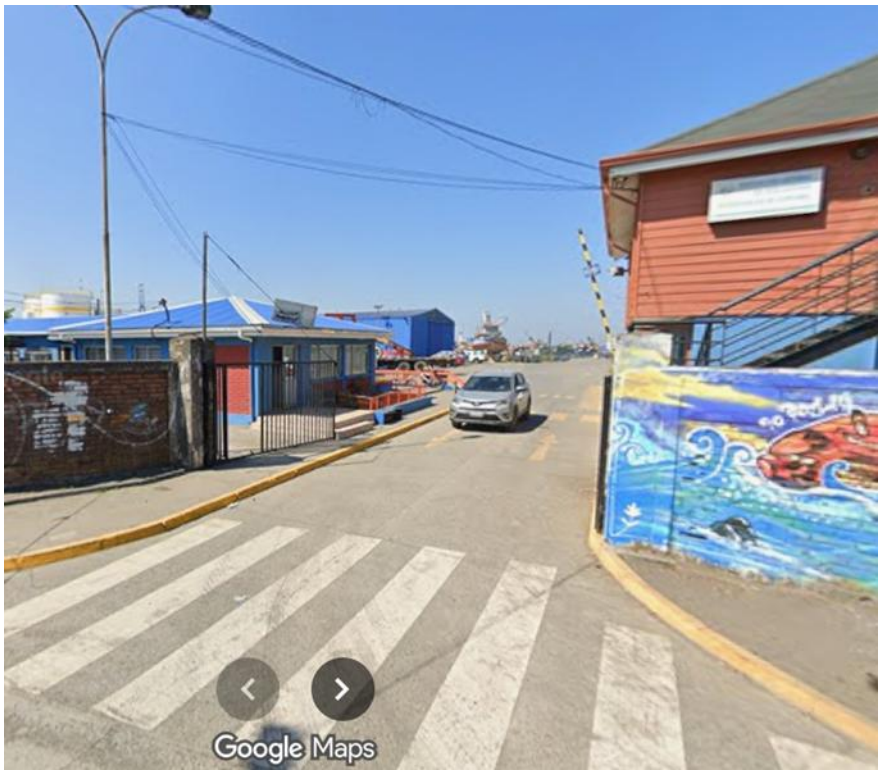


Figura 14. Área de operaciones del Puerto Pesquero Artesanal Lo Rojas, Coronel.
Fuente: Adaptado de [Mapa del Puerto Pesquero Lo Rojas], por [37].

1.6 Síntesis del capítulo

Los antecedentes expuestos en este capítulo permiten comprender la problemática de los malos olores en la comuna de Coronel como un fenómeno de carácter territorial, condicionado por la configuración geográfica, las condiciones meteorológicas locales y la proximidad entre actividades productivas y sectores residenciales. Asimismo, se evidencia que la exposición recurrente a episodios odorantes constituye una fuente relevante de molestia ambiental, con efectos en el bienestar físico, psicológico y social de la población expuesta. En este contexto, el siguiente capítulo presenta el enfoque metodológico, incluyendo los criterios de muestreo en terreno y la aplicación del método de grilla como herramienta para modelar la dispersión de los olores en el área de estudio.

CAPITULO 2

Metodología para el modelamiento espacial de la dispersión de olores

2.1 Enfoque del Método de Grilla

Cuando existen sustancias odorantes en el aire ambiente, resulta fundamental determinar si estas generan un impacto ambiental relevante sobre la población expuesta. A diferencia de otros contaminantes atmosféricos, los olores no pueden evaluarse adecuadamente mediante métodos químicos convencionales, debido a que suelen corresponder a mezclas complejas cuya medición no refleja de manera directa la percepción sensorial humana. Por esta razón su evaluación requiere el uso de metodologías específicas basadas en la respuesta del olfato humano [22].

El método seleccionado para este estudio utiliza directamente el sentido del olfato humano como instrumento de detección, permitiendo registrar la presencia de olores perceptibles en el ambiente. En este contexto, la norma VDI 3940 incorpora el porcentaje de tiempo de olor como variable que expresa la frecuencia con que se supera el umbral de reconocimiento olfativo, posibilitando la identificación de episodios de olor claramente perceptibles y su asociación con las actividades presentes en el área de estudio.

Asimismo, la normativa técnica establece que, para asegurar la validez del levantamiento en terreno, es necesario registrar condiciones meteorológicas durante las observaciones, en particular la dirección y velocidad del viento. Estos factores cumplen un rol fundamental en el transporte de los odorantes desde sus zonas de origen hacia los sectores receptores, permitiendo interpretar la trayectoria de las plumas de olor detectadas en los puntos de muestreo

El método de grilla constituye el eje analítico de este enfoque, ya que permite organizar el territorio en unidades espaciales uniformes para una evaluación sistemática de la percepción de olores. En este estudio, la información obtenida en terreno se integra en el software QGIS mediante un modelo de datos raster, lo que permite asignar a cada celda del área de estudio un valor asociado a la frecuencia de percepción de olor. Esta representación facilita la identificación espacial de las zonas con mayor presencia de olores dentro de la comuna de Coronel, contribuyendo al análisis territorial del fenómeno [23].

2.2. Marco conceptual y adaptación metodológica

Los siguientes conceptos y procedimientos se basan en las definiciones técnicas de la norma VDI 3940 Part 1 (2006), habiendo sido adaptados para los fines específicos de este estudio

2.2.1. Inmisión de olor reconocible (Recognizable Odour)

Es la presencia de un olor en el aire ambiente con una intensidad tal que permite al evaluados identificar su calidad. En este estudio solo se registraron “olores reconocibles” para garantizar que los datos de la formula representen un impacto ambiental cuantificable en el receptor.

2.2.2. Porcentaje de tiempo de olor (P_{od})

Es la variable principal obtenida mediante la fórmula aplicada. Representa la proporción del tiempo en que el receptor estuvo expuesto a olores reconocibles durante el monitoreo. Es el valor técnico que permite cuantificar la carga de olor en cada punto de muestreo.

2.2.3. Punto de muestreo y Recepción sensible

Se refiere a las ubicaciones estratégicas donde existe presencia humana permanente. La norma valida que los datos obtenidos en estos puntos son representativos en su entorno inmediato, permitiendo proyectar los resultados a una superficie de evaluación.

2.2.4. Caracterización del Impacto

Es el proceso de transformar los registros obtenidos en los receptores en una representación espacial continua. Al aplicar la formula sobre la grilla en el Software QGIS, se obtiene la frecuencia de impacto en el dominio de estudio, identificando las zonas de mayor exposición ambiental.

2.3. Límites Geográficos y Alcance Espacial del Estudio

La modelación no se extiende al límite total de la comuna, sino que se restringe a este sector específico con el objetivo de mejorar la precisión del muestreo y la aplicación del modelo espacial. El área de análisis abarca una superficie aproximada de 0,64 km², definida mediante la siguiente caja de delimitación en coordenadas UTM:

Límite Norte: 5901145.38 metros.

Límite Sur: 5900245.87 metros.

Límite Este: 664962.46 metros.

Límite Oeste: 663733.70 metros.

A continuación (Figura 15), se define el Dominio de Modelación, dentro del cual el Método de Grilla requiere dividir la superficie de celdas.



Figura 15. Delimitación del dominio de estudio y área de influencia directa para la modelación de dispersión odorífera.
Fuente: Elaboración propia en QGIS 3.44.5 a partir de cartografía base de [37].

En la Figura 15 se presenta el área de estudio preliminar. Este polígono actúa como el marco de referencia inicial para la organización del trabajo. No obstante, es importante destacar que la grilla resultante (Figura 27), generada tras procesar los datos recolectados en terreno, presenta una forma y extensión que pueden variar respecto al diseño original. Esta variación ocurre porque la malla final se ajusta estrictamente a la distribución real de las mediciones y al alcance de los algoritmos de interpolación, representando el comportamiento territorial del olor observado durante el muestreo.

2.4. Localización de puntos de control y receptores sensibles

Para la evaluación del impacto odorífero en la comuna de Coronel, se establecieron cuatro puntos de control estratégicos dentro del dominio de estudio. La selección de estos nodos se basó en criterios de representatividad territorial, considerando tanto la proximidad a las fuentes industriales en Caleta Lo Rojas como la presencia de receptores en zonas residenciales y públicas del Sector Centro. La localización precisa se realizó mediante técnicas de georreferenciación indirecta y fotoidentificación, utilizando el sistema de referencia WGS 84 / UTM zona 18S para asegurar la coherencia métrica en el software QGIS.

Tabla 1. Coordenadas y sectores de los puntos de muestreo

ID	Nombre del Punto	Sector	Latitud (°)	Longitud (°)
P1	Lo Rojas	Caleta Lo Rojas	-37.023343	-73.157001
P2	Pesquera Blumar	Caleta Lo Rojas	-37.024451	-73.151555
P3	Cerro	Coronel Centro	-37.024316	-73.147938
P4	Plaza O'Higgins	Coronel Centro	-37.027762	-73.147803

Fuente: Elaboración propia en base a datos cartográficos de [37] y procesamiento en QGIS.

2.5 Registro fotográfico de los puntos de muestreo

Tras la identificación de los nodos de control, se realizó un levantamiento visual de cada ubicación. Este registro permite validar las condiciones del entorno donde se ejecutó el muestreo, asegurando que los datos recolectados para la posterior aplicación de la fórmula representen la percepción del olor en cada receptor sensible.

En este contexto, de la Figura 16 a la 23 se presenta el registro fotográfico de los puntos analizados, mostrando tanto el emplazamiento específico del receptor como la vista panorámica de su entorno inmediato.

Caleta lo Rojas



Figura 16. Ubicación punto de muestreo
Fuente: Elaboración propia (2025).



Figura 17. Vista panorámica del entorno.
Fuente: Elaboración propia (2025)

Entorno pesquero Blumar



Figura 18. Ubicación punto de muestreo.
Fuente: Elaboración propia (2025).



Figura 19. Vista panorámica del entorno.
Fuente: Elaboración propia (2025)

Cerro



Figura 20. Ubicación punto de muestreo.
Fuente: Elaboración propia (2025).



Figura 21. Vista panorámica del entorno.
Fuente: Elaboración propia (2025)

Plaza O´Higgins



Figura 22. Ubicación punto de muestreo.
Fuente: Elaboración propia (2025)



Figura 23. Vista panorámica del entorno.
Fuente: Elaboración propia (2025)

2.6. **Metodología: Normalización de datos**

Para la elaboración de los Mapas de curvas isodoras se normalizaron los datos recopilados en terreno, con el fin de estandarizar la información para aplicar la norma alemana 3940.

Gracias a los datos recopilados en terreno se obtuvo como resultado una tabla con 256 registros que corresponde al número total de muestras. Estos datos se dividieron en dos, jornada de la mañana y de la tarde, teniendo un total de 128 registros para cada jornada.

Dando como resultado la siguiente matriz de datos:

Tabla 2. Ejemplo de matriz con los datos levantados en terreno

Nombre	Olor	Intensidad	Temperatura	Humedad	Velocidad	Dirección	Tipo Olor
P1D1M1M	1	1	18°	81%	10km/h	Oeste	Pescado
P1D1M2M	1	1	18°	81%	10km/h	Oeste	Pescado
P1D1M3M	1	2	18°	81%	10km/h	Oeste	Pescado
P1D1M4M	1	1	18°	80%	10km/h	Oeste	Pescado
(...)							
P1D8M3M	1	2	16°	62%	13km/h	Oeste	Pescado
P1D8M4M	1	3	16°	62%	13km/h	Oeste	Pescado

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

En donde:

- **Nombre:**
 - P1: N° del punto
 - D1: Día del levantamiento
 - M1: N° de muestra

- M: Jornada de la mañana
 - T: Jornada de la tarde
- **Olor:**
 - 1: Existe la presencia de olor
 - 0: No existe la presencia de olor
- **Intensidad:**

Tabla 3. Escala de intensidad adaptada de acuerdo a norma alemana VDI 3882 Blatt 1.

Olor	Nivel de intensidad
No perceptible	0
Muy débilmente perceptible	1
Débilmente perceptible	2
Distinguible	3
Fuerte	4
Muy fuerte	5

Fuente: Adaptada tomando como base la norma alemana VDI 3882 parte 1, a partir de la información recopilada por [38].

- **Temperatura:**
 - Temperatura actual medida al momento del levantamiento de la muestra
- **Humedad:**
 - Humedad actual medida al momento del levantamiento de la muestra
- **Velocidad:**
 - Velocidad actual del viento al momento del levantamiento
- **Dirección:**
 - Dirección actual del viento al momento del levantamiento de la muestra
- **Tipo de olor**
 - Olor detectado al momento del levantamiento de la muestra

Con estos datos se adaptó la siguiente formula (Figura 24) siguiendo los lineamientos de la norma alemana VDI 3940 Blatt 1.

$$\%TO = \frac{T^+}{T} \times 100$$

Figura 24. Fórmula para medir la frecuencia de olor.

En donde:

- %TO = Porcentaje de Tiempo de Olor
- T+ = Tiempo de Olor asociado al foco en estudio T
- T = Tiempo total de medición

La fórmula fue adaptada debido a las siguientes circunstancias:

- La aplicación de muestreos en un período acotado de tiempo, debido a limitaciones logísticas.
- La cantidad de datos que se registraría mediante la fórmula principal resultaba imposible de gestionar dentro del período de tiempo considerado.
- En consecuencia, la toma de muestras se llevó a cabo únicamente en cuatro puntos del territorio y con una frecuencia de ocho registros diarios.
- Por lo tanto, en el presente estudio no se aborda el tiempo de olor, sino el número de episodios con presencia de olor (n de olor).
- Asimismo, no se considera el tiempo total de medición, sino el número total de muestras (N).

Ajustando la fórmula (Figura 25) de la siguiente manera.

$$\%TO = \frac{n\text{ olor}}{N} \times 100$$

Figura 25. Formula adaptada para el estudio.

En donde:

- %TO = Porcentaje de Tiempo de Olor
- *n olor* = Número de veces que se percibe un olor
- N = Número total de muestras

En ese sentido, se ajusta a las pretensiones del estudio la formula, y con los datos ya recopilados se realizan los siguientes procesos estadísticos, utilizando solo la columna olor, que es la que mide los episodios de olor/n olor de nuestra tabla 1.

- Promedio estadístico para la jornada de la mañana
- Promedio estadístico para la jornada de la tarde
- Promedio estadístico acumulado

Dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 4. Promedios estadísticos de frecuencia de olores (%) para cada uno de los puntos

Punto	Sector	f_m (%)	f_t (%)	f_a (%)
1	Lo Rojas	75	81,25	78,12
2	Blumar	100	90,62	95,31
3	Cerro	40,62	37,50	39,06
4	Plaza	25	40,62	32,81

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno

En donde:

- N° Punto: Numero del punto de muestra
- f_m (%): Promedio de frecuencia de olor porcentual durante la mañana
- f_t (%): Promedio de frecuencia de olor porcentual durante la tarde
- f_a (%): Promedio de frecuencia acumulada porcentual de todas las jornadas

2.7. Procesamiento de Capas: Geoprocesos

Con estos datos mediante el uso del software QGIS, se realizó el proceso de georreferenciación de cada punto (Figura 26).



Figura 26. Georreferenciación de puntos de muestreo Comuna de Coronel.
Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

Ya con los puntos georreferenciados, se usó el geoproceso de buffer a cada punto para determinar el área de influencia de la interpolación. Este geoproceso se caracteriza por generar una capa de polígonos alrededor de nuestra entidad geográfica a una distancia específica [24]. En este caso, a cada punto de muestreo se les asignó un buffer de 250m.

2.8. Aplicación del buffer a cada punto utilizado QGIS

En QGIS con la herramienta de análisis vectorial (Figura 1) se ejecutó el proceso de buffer a cada punto, asignándole la distancia cuadrática de 250m alrededor de cada uno de ellos (Figura 2). Cabe destacar que para realizar este proceso y poder calcular la distancia en metros es necesario que los puntos se encuentren georreferenciados en el sistema de coordenadas WGS 84 / UTM Zona 18S.

Cuando ejecutamos la herramienta nos da como resultado la siguiente capa (Figura 27), ya con esta capa podemos obtener el área acotada en donde se aplicará el proceso de interpolación, solo queda aplicar la herramienta Dissolve dentro de la misma pestaña de herramientas de geoprocesamiento en el software (Figura 3), para que la capa buffer quede sin límites en cada punto y completamente unida en una sola área de influencia (Figura 28).

Ya con las capas de puntos de muestreo y sus valores asociados, en conjunto con la capa de área de influencia, se realizó el proceso de interpolación mediante el método Inverse Distance Weighting o ponderación por distancia inversa (IDW).

A continuación, se presentan los resultados cartográficos obtenidos en QGIS; la Figura 27 muestra la generación de los radios individuales, mientras que la Figura 28 ilustra la superficie final unificada mediante el proceso de disolución.



Figura 27. Buffer generado con los criterios ingresado en el software QGIS.
Fuente: Creación propia mediante Software GQIS en base a datos recopilados en terreno.



Figura 28. Buffer ajustado la herramienta Dissolve en QGIS.
Fuente: Creación propia mediante Software GQIS en base a datos recopilados en terreno.

2.9 Geoestadística: Método IDW

El método de interpolación Inverse Distance Weighting o distancia inversa ponderada desde ahora llamado IDW, es un proceso geoestadístico que se basa en predecir un valor para cualquier ubicación que no se encuentre medida, mediante el uso de datos en donde si existe información, usando una combinación lineal de valores en los puntos cercanos. El IDW supone que cada punto medido tiene una influencia local y que va disminuyendo con respecto al aumento de la distancia, de ahí su nombre de distancia inversa ponderada [25].

En términos simples, cada punto de la muestra tiene un peso sobre la ubicación en la que se encuentra, y a medida que se aleja disminuye esa influencia. Esta influencia se enlaza con la de los otros puntos dentro del terreno y va generando celdas con los valores asociados a cada punto, rellenando esos espacios en donde no se tiene una muestra, generando así una imagen dividida por celdas (Raster) con los valores que se están midiendo en ese momento [26].

Este método es usado comúnmente para el mapeo de variables ambientales como temperatura, precipitación y distribución de contaminantes atmosféricos.

El proceso de aplicación del IDW en QGIS es el siguiente:

Con la capa de puntos cargada con los atributos que queremos medir, se abre y busca dentro del programa la opción de Interpolación por IDW, en donde se despliega la ventana con los datos que se van a ingresar para aplicar el modelo (Figura 29).

1. Se carga la capa con los puntos georreferenciados, en este caso llama capa “Puntos de control”
2. Se elige el atributo a interpolar, que para este análisis es la frecuencia de olores durante la mañana (f_m_%)
3. Se agregan la lista con el botón “+” y se revisa que se está trabajando con la capa correcta.
4. El coeficiente p de distancia siempre tiene que ser de 2, este coeficiente es el que mide la velocidad a la que disminuyen las ponderaciones. Si $p = 0$, no hay disminución con la distancia y, dado que cada ponderación es igual, la predicción será la media de todos los valores de datos de la vecindad de búsqueda. A medida que p aumenta, las ponderaciones de los puntos distantes disminuyen rápidamente. Si el valor de p es muy alto, solo los puntos circundantes inmediatos influirán en la predicción [24].
5. Aquí se agrega la capa de área de influencia para acotar el procedimiento a solo los 250m alrededor de cada punto.

Con todos estos atributos se procede a pulsar el botón aceptar para ejecutar la interpolación. Este método se aplica para los periodos de mañana (f_m_%) tarde (f_t_%) y acumulada (f_a_%), dando como resultado los mapas de interpolación por período.

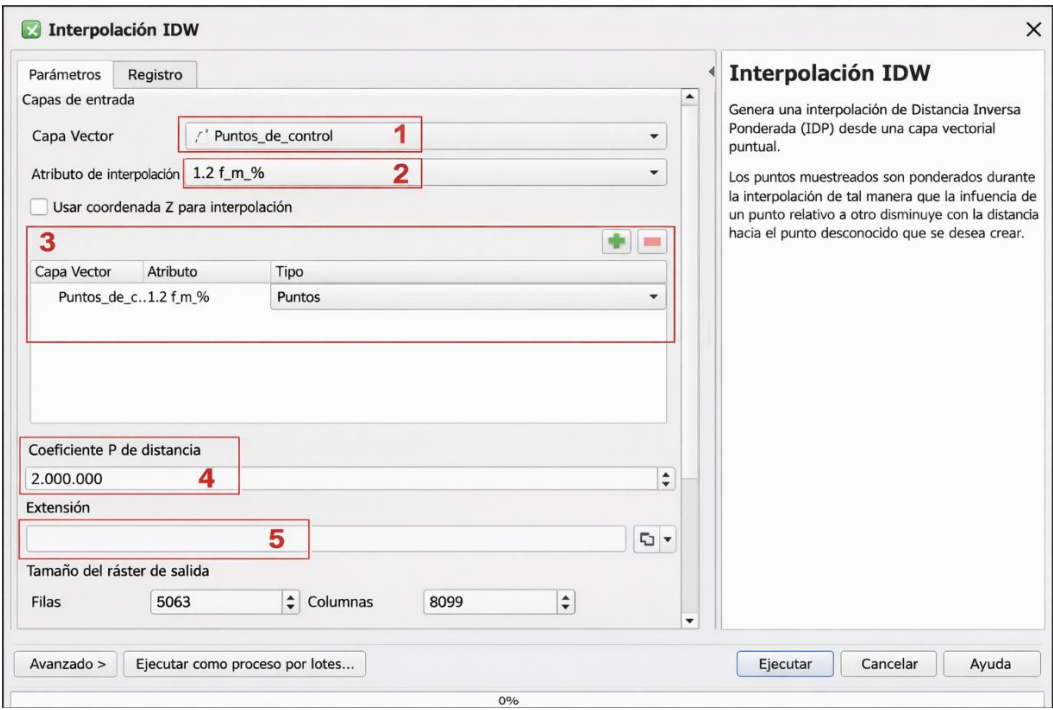


Figura 29. Recuadro de aplicación del método IDW en software QGIS.
Fuente: Creación propia mediante Software QGIS

2.10. Variables meteorológicas

2.10.1 Velocidad de viento y dirección

Para procesar los datos meteorológicos de viento se ocupó la Tabla 2, obteniendo la velocidad y dirección de viento. Siguiendo la lógica anterior, se utilizaron los datos para el periodo de la mañana, tarde y acumulada de todos los puntos, con el fin de generar una rosa de los vientos para cada momento del día y el total ponderado de acuerdo a la duración del estudio.

Para generar las rosas de los vientos se utilizó el lenguaje de programación Python 3.13 [27], junto con el uso de la librería Pandas [28] para la normalización de datos tanto de velocidad como de dirección, además de Matplotlib [29] para la visualización y el diseño de las rosas.

Los datos de dirección de viento se ajustaron desde puntos cardinales a grados (Figura 30), generando una tabla (Figura 31) con todos los datos normalizados y listos para ser procesados por el software.

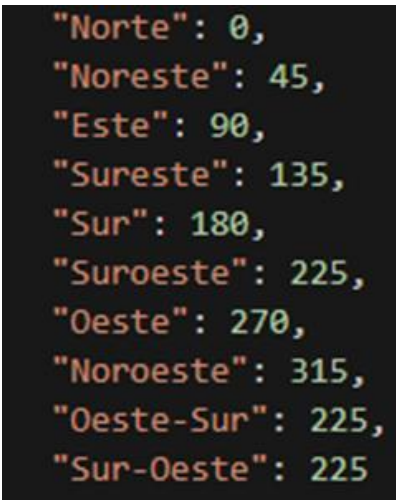


Figura 30. Normalización de los datos de viento.
Fuente: Creación propia mediante Software Python

	Nombre	Velocidad	Direccion	dir_deg
0	P1D1M1M	10	Oeste	270
1	P1D1M2M	10	Oeste	270
2	P1D1M3M	10	Oeste	270
3	P1D1M4M	10	Oeste	270
4	P1D2M1M	12	Oeste	270
..	...	...	...	...
251	P4D7M4T	18	Oeste	270
252	P4D8M1T	16	Oeste	270
253	P4D8M2T	16	Oeste	270
254	P4D8M3T	16	Oeste	270
255	P4D8M4T	16	Oeste	270

[256 rows x 4 columns]

Figura 31. Ejemplo tabla de datos de viento
Fuente: Elaboración propia mediante Software Python

2.10.2. Temperatura y humedad

Los datos de temperatura y humedad no fueron incorporados directamente en el diseño cartográfico, ya que la escasa cantidad de puntos de muestreo dificulta la aplicación de métodos de interpolación espacial confiables y su posterior relación con la capa de distribución de olores, debido a que su baja densidad de muestreo reduce la capacidad de capturar adecuadamente la variabilidad espacial del fenómeno analizado [30]. No obstante, estas variables fueron consideradas de manera complementaria mediante el cálculo de promedios simples, cuyos resultados se presentan diferenciados por jornada de la mañana, tarde y para el total del período de muestreo (tabla 5).

La incorporación de estos valores permite aportar contexto a las condiciones ambientales presentes durante las campañas de medición y contribuye a complementar el análisis de

los resultados obtenidos. En este sentido, la rosa de los vientos adquiere especial relevancia, al constituir la variable meteorológica más significativa para la interpretación de los patrones espaciales de dispersión de olores observados.

Es importante señalar que estas variables meteorológicas no explican el fenómeno odorante por sí solas, sino que cumplen un rol de apoyo en la interpretación espacial de la distribución de olores, en conjunto con las posibles fuentes emisoras y las condiciones territoriales del área de estudio.

Tabla 5. Tabla de promedios temperatura y humedad.

	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Mañana	17.1	67.3
Tarde	17.3	71.4
Jornada	17.2	69.4

Fuente: Elaboración propia en base a datos levantados en terreno

CAPITULO 3:

Análisis del comportamiento de la dispersión de malos

3.1 Introducción al análisis de la dispersión

El presente capítulo tiene por objetivo analizar el comportamiento de la dispersión de malos olores en el área de estudio, a partir de los puntos de muestreo definidos y de los registros obtenidos durante las campañas de terreno. Para ello, se emplean herramientas de análisis espacial que permiten representar la frecuencia de percepción de olores bajo distintos escenarios temporales, considerando las condiciones meteorológicas predominantes durante los periodos de muestreo.

El análisis se apoya en la interpretación conjunta de mapas de curvas isodoras de frecuencia de olor y rosas de los vientos asociadas a cada escenario temporal (mañana, tarde y escenario acumulado). Permitiendo comprender la relación espacial del olor y los patrones de dirección y frecuencia del viento.

3.2 Dispersión de malos olores – Jornada mañana

El escenario de la mañana corresponde a los registros obtenidos durante el intervalo de horario definido para este periodo, este bloque se caracteriza por condiciones de estabilidad atmosférica inicial, donde el establecimiento progresivo de la brisa marina y

la configuración del relieve local limitan la dispersión, favoreciendo la acumulación de olores en la franja costera antes que aumente la ventilación del área.

Esta condición de estabilidad y acumulación costera se ve reflejada en la Figura 32, que muestra la concentración espacial de los registros, y en la Figura 33, donde se observa la configuración inicial de la brisa marina durante este intervalo.

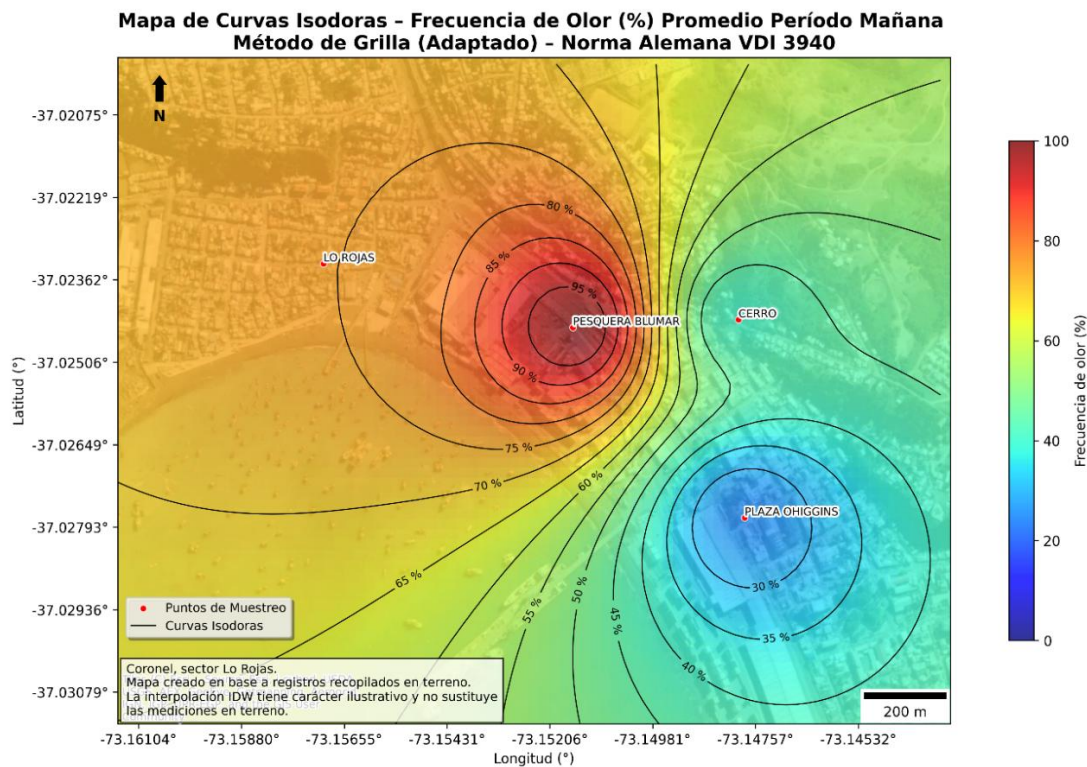


Figura 32. Mapa de Curvas isodoras - Periodo Mañana
Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

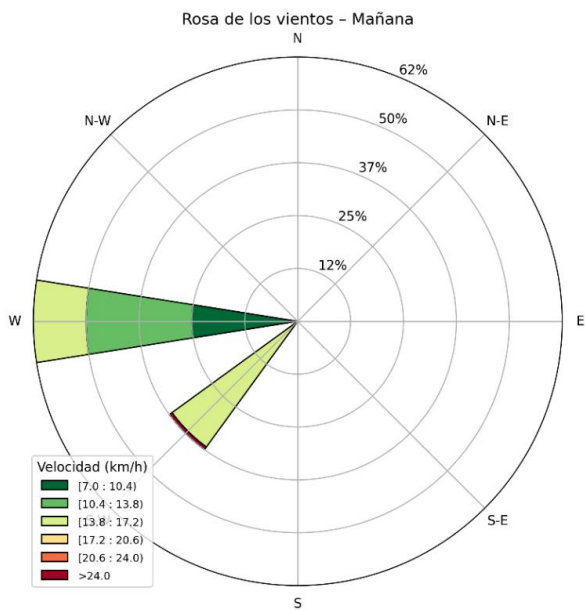


Figura 33. Rosa de los vientos – Periodo Mañana.
Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno

Durante la jornada de la mañana, la distribución espacial del olor muestra los niveles máximos de percepción en el punto de muestreo ubicado en Pesquera Blumar, donde se registró una frecuencia de olor superior al 95%. La interpolación de las curvas isodoras revela una propagación directa hacia el oeste, impactando significativamente el punto de muestreo del sector residencial Lo Rojas, el cual capturo frecuencias de exposición entre el 75% y el 85%. Esta configuración demuestra que, durante las primeras horas del día, el impacto odorífero se concentra con gran intensidad en la franja litoral inmediata a la fuente.

La morfología de estas curvas guarda una relación de causalidad directa con la rosa de los vientos (Figura 33), la cual presenta una dominancia de flujos provenientes de los cuadrantes Este (E) y Suroeste (SW). Con velocidades que oscilan mayoritariamente entre los 7.0 y 17.2 km/h, el flujo de aire actúa como un proceso de advección constante que desplaza las masas de aire desde la zona industrial hacia los receptores residenciales [31]. Esta condición de vientos moderados favorece que la pluma de olor se mantenga compacta y con baja dilución turbulenta sobre los puntos de controles costeros, limitando su dispersión hacia otros sectores.

3.3 Dispersión de malos olores – Jornada tarde

El escenario de la tarde considera los registros obtenidos durante el segundo intervalo horario de muestreo, Este periodo se caracteriza por un incremento en la dinámica atmosférica y una mayor capacidad de mezcla, debido al fortalecimiento de los vientos predominantes del Suroeste (SW). Estas condiciones favorecen una ventilación más efectiva del área de estudio, lo que influye directamente en la amplitud y dispersión de la pluma de olor hacia los receptores del noroeste (NW).

La respuesta espacial a este incremento en la dinámica atmosférica se detalla en las siguientes gráficas: la Figura 34 ilustra la amplitud de la pluma hacia el sector noroeste, mientras que la Figura 35 registra el flujo predominante del suroeste que la impulsa.

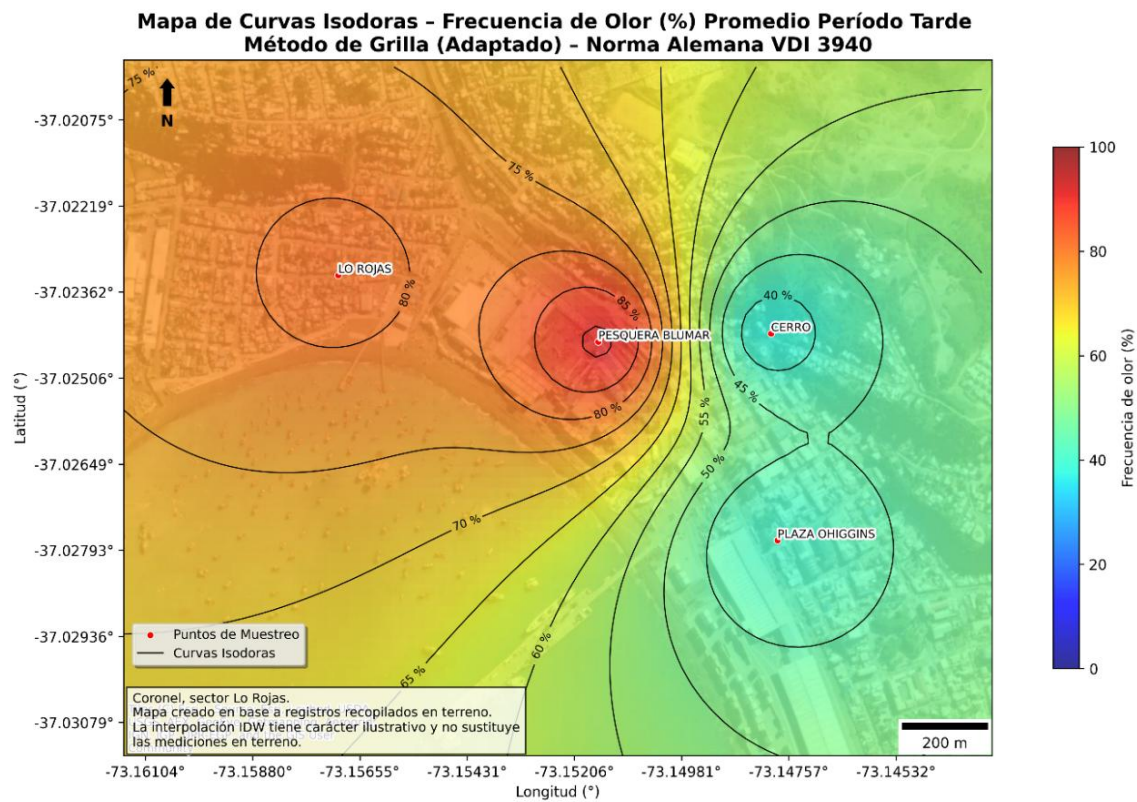


Figura 34. Mapa de curvas isodoras – Periodo tarde.
Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno.

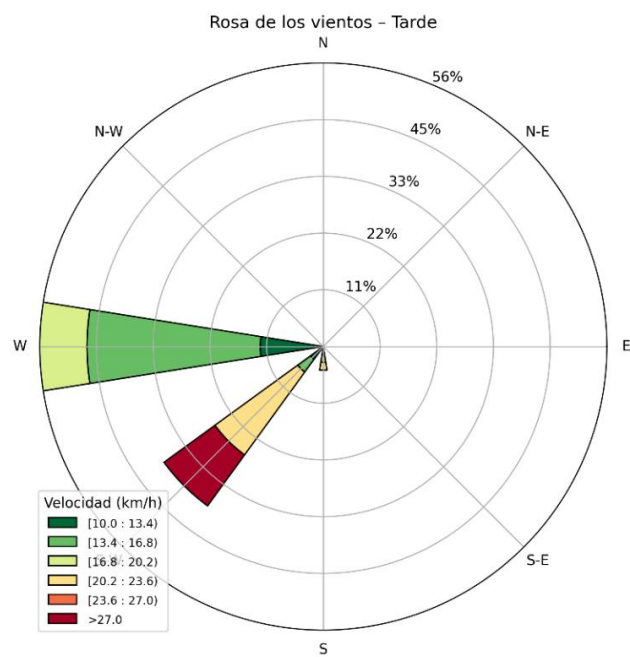


Figura 35. Rosa de los vientos – Periodo tarde.
Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno

Durante la jornada de la tarde, se muestra una redistribución de la carga odorífera. Aunque el registro en el punto de control de Blumar mantiene una frecuencia alta del 85%, se observa una mayor apertura de curvas isodoras hacia el noroeste (NW). En este periodo,

los puntos de muestreo situados en el Cerro y la Plaza O’Higgins registran frecuencias inferiores a las matutinas, situándose en rangos de entre el 35% y el 40%.

Este cambio espacial coincide con lo registrado en la rosa de los vientos (Figura 34), donde se aprecia un incremento sustancial en la energía del viento, con ráfagas que superan los 27.0 km/h provenientes del Suroeste (SW). El aumento en la velocidad del aire favorece una dilución más eficiente de las partículas en la atmosfera, rompiendo la estabilidad observada en la mañana y una mayor dispersión de la pluma de olor, lo que reduce la persistencia del olor en los puntos de medición específicos al aumentar la tasa de mezcla y transporte.

3.4 Dispersión de malos olores – Jornada acumulada

El escenario acumulado integra la totalidad de los registros obtenidos durante las jornadas de muestreos, considerando conjuntamente los periodos de mañana y tarde. Esta representación espacial (Figura 36) permite visualizar el comportamiento general y la persistencia de la pluma de olor en el área de estudio, consolidando la huella territorial del impacto odorífero durante el periodo analizado.

A continuación, la Figura 36 expone la huella territorial consolidada del impacto odorífero y la Figura 37 entrega la tendencia vectorial representativa de toda la campaña de muestreo.

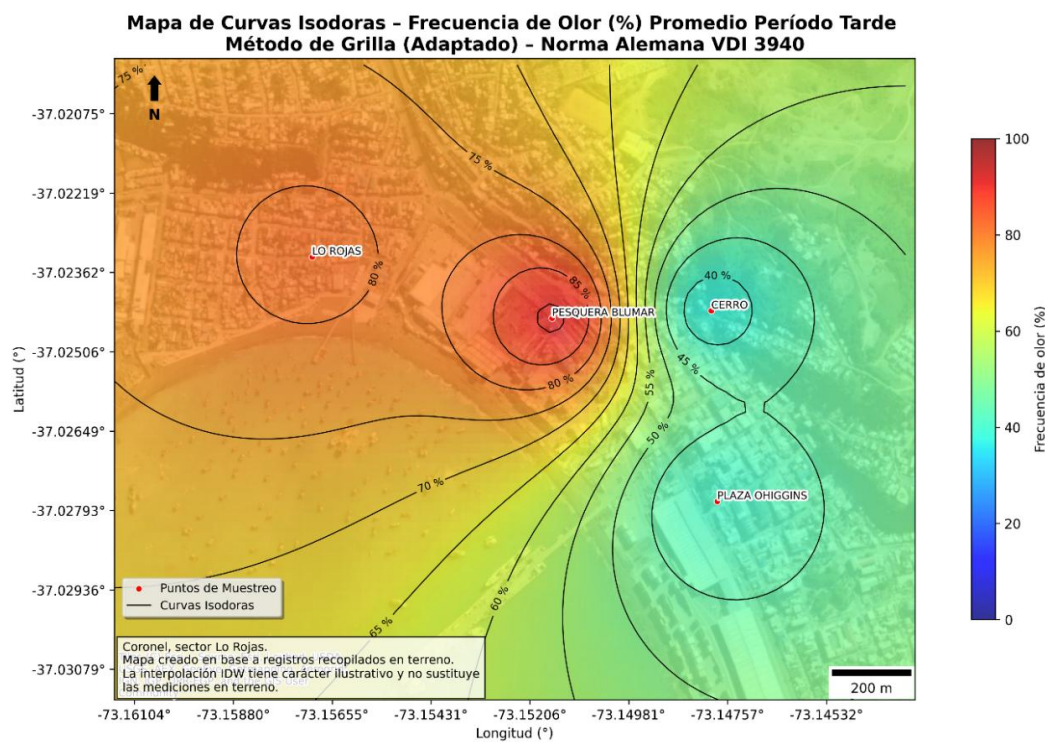


Figura 36. Mapa de curvas isodoras – Periodo acumulado.
Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno

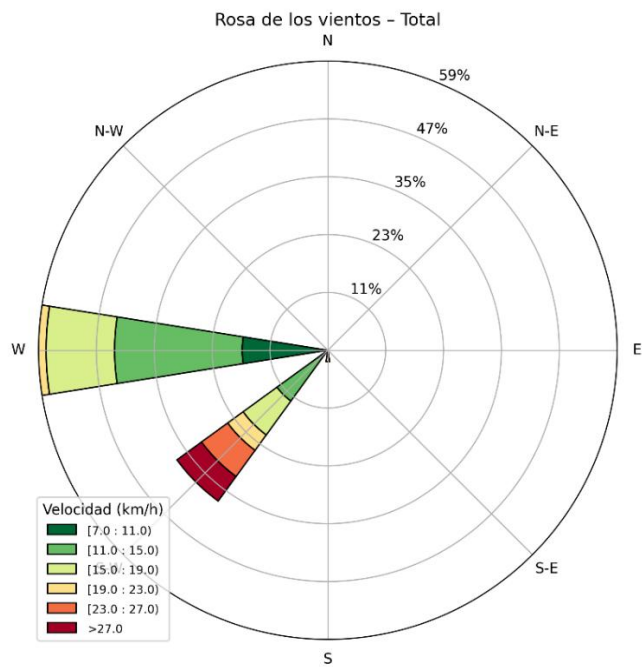


Figura 37. Rosa de los vientos – Periodo acumulado.
Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados en terreno

A diferencia de los bloques horarios específicos, el mapa consolidado revela la zona de influencia sistemática de la actividad industrial sobre la población. Los datos recolectados en los puntos de muestreo confirman que el eje de máxima frecuencia se estabiliza entre la fuente emisora (Pesquera Blumar) y el sector residencial Lo Rojas, manteniendo niveles de percepción promedio superiores al 80%. Por el contrario, los puntos de control en zonas más alejadas muestran una influencia moderada-baja, con frecuencias de percepción que se sitúan entre el 20% y el 35%. Esta diferencia de casi 60 puntos porcentuales entre la zona costera y el interior (como el Cerro o Plaza O’Higgins) valida que el impacto es geográficamente desigual.

Esta persistencia se fundamenta en la rosa de los vientos (Figura 37), la cual exhibe una dirección predominante desde el oeste (W) y Suroeste (SW). Al promediar ambas jornadas, se observa que los vientos de baja velocidad de la mañana (que concentra el olor) y los vientos más intensos de la tarde (que lo desplazan) convergen en una misma trayectoria de transporte. En consecuencia, el análisis acumulado valida la hipótesis de que la morfología del territorio y el régimen de vientos local actúan de forma conjunta para confinar la carga odorante en la zona baja del borde costero, minimizando el impacto en sectores de mayor altura como el Cerro.

3.5 Comparación de escenarios temporales

En comparación entre los escenarios de mañana, tarde y acumulado permite evaluar las variaciones temporales en la frecuencia de percepción de olores registrada en los distintos puntos de muestreo.

Tabla 6. Resumen comparativo de frecuencia de olor (%) por sector.

Punto de Muestreo	Mañana (%)	Tarde (%)	Acumulado (%)
Pesquera Blumar	95%	85%	90%
Sector Lo Rojas	85%	75%	80%
Sector Cerro	25%	40%	32%
Plaza O’Higgins	20%	35%	27%

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilado en terreno

La comparación de los tres escenarios temporales permite identificar un patrón de comportamiento bimodal en la dispersión de olores. En primer lugar, se observa que los puntos Pesquera Blumar y Lo Rojas, presentan una persistencia elevada durante toda la jornada, aunque con una ligera disminución en el periodo de la tarde. Esta reducción del 95% al 85% en la Pesquera Blumar no implica una interrupción de la emisión, sino que responde al incremento de la velocidad del viento registrado en la tarde, el cual favorece una mayor tasa de dilución de las partículas olorosas, tal como se describió anteriormente bajo los principios de Zannetti.

Por otro lado, los sectores alejados o de mayor altitud (Cerro y la Plaza O’Higgins) muestran un comportamiento inverso, sus frecuencias de percepción aumentan durante la tarde en comparación con la mañana. Mientras que en las primeras horas del día estos puntos registran valores mínimos (20% - 25%) debido a la estabilidad del aire que confina el olor en la costa, en la tarde el incremento de la turbulencia y la expansión de la pluma desplazan las masas de aire hacia el interior y hacia estratos más altos, elevando la percepción hasta un 40%.

Finalmente, el escenario acumulado actúa como un promedio ponderado que confirma la vulnerabilidad crítica del borde costero. El análisis comparativo demuestra que, si bien la meteorología de la tarde logra “limpiar” parcialmente, también es responsable de extender el impacto hacia zonas que en la mañana se encuentran protegidas. Esto valida la importancia de considerar la variabilidad horaria en la Gestión Ambiental, ya que el riesgo de exposición para la comunidad de Lo Rojas es un fenómeno crónico que se mantiene sobre el 80% de frecuencia independiente de las variaciones en la dinámica atmosférica.

3.6 Síntesis del capítulo

Los resultados presentados en este capítulo permiten caracterizar el comportamiento espacial y temporal de la dispersión de malos olores en el área de estudio, a partir de los datos obtenidos en los puntos de muestreo definidos. La integración de mapas de frecuencia de olor, rosas de los vientos y tablas comparativas constituye una base analítica que contribuye a la comprensión del fenómeno odorante desde una perspectiva territorial.

Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo de titulación permitió evaluar de manera efectiva la problemática de la contaminación odorífera en la comuna de Coronel, validando el Método de Grilla como una solución metodológica adecuada para cumplir con los objetivos propuestos. La aplicación de esta metodología posibilitó la cuantificación de la frecuencia de percepción de olores y su representación espacial, entregando resultados objetivos y comparables en un territorio caracterizado por la coexistencia de actividades industriales, pesqueras y residenciales.

A través del procesamiento de los datos obtenidos en terreno mediante el software QGIS y la aplicación del método de interpolación de Distancia Inversa Ponderada (IDW), fue posible transformar percepciones sensoriales en información cartográfica de alto valor para la gestión ambiental. Los mapas generados permitieron identificar patrones claros de dispersión odorífera y zonas de mayor impacto, facilitando el análisis espacial del fenómeno y su relación con las fuentes emisoras presentes en el área de estudio.

Los resultados evidenciaron una situación crítica en las inmediaciones de las principales fuentes industriales, destacando el punto correspondiente a Pesquera Blumar, el cual registró una frecuencia de olor acumulada (f_a) del 95,31 %, alcanzando valores máximos del 100 % durante las jornadas de la mañana. De manera similar, el sector de Lo Rojas presentó una frecuencia acumulada elevada del 78,12 %. En contraste, los sectores Cerro y Plaza registraron valores significativamente menores, lo que confirma la existencia de un gradiente espacial de dispersión condicionado principalmente por la proximidad a las fuentes emisoras y por factores meteorológicos, tales como la dirección del viento y la ocurrencia de episodios de inversión térmica que dificultan la dispersión de los compuestos odoríferos.

En relación con posibles soluciones alternativas, los resultados obtenidos mediante el Método de Grilla podrían complementarse en futuras aplicaciones, mediante la ampliación

del número de puntos de muestreo y el aumento de la cobertura espacial del estudio. Asimismo, un incremento en la frecuencia y duración de las campañas de muestreo sensorial permitiría mejorar la representatividad temporal de la percepción humana del olor, manteniendo el sentido del olfato humano como eje central de la evaluación de la contaminación odorífera en la comuna de Coronel.

Adicionalmente, el desarrollo del estudio permitió consolidar aprendizajes relevantes en la aplicación de normativa internacional, como la norma VDI 3940, así como en el uso de herramientas SIG para el análisis espacial de variables ambientales. Estos aprendizajes constituyen un aporte metodológico relevante para la evaluación de problemáticas odoríferas en territorios con alta presión industrial.

En síntesis, el trabajo no solo cumplió con el objetivo de modelar el impacto odorífero presente en el área de estudio, sino que también entregó una base técnica sólida que puede ser utilizada como insumo para la toma de decisiones orientadas a la mitigación de conflictos socioambientales y a la mejora de la calidad de vida de la comuna de Coronel.

Recomendaciones

- ❖ Se recomienda fortalecer la aplicación del Método de Grilla como herramienta principal para la evaluación de la contaminación odorífera, manteniendo el sentido del olfato humano como instrumento central de detección, debido a su capacidad para representar de manera directa la percepción de la población expuesta.
- ❖ Se sugiere estandarizar y reforzar los procedimientos de muestreo sensorial en terreno, considerando la capacitación de los observadores y la aplicación consistente de los criterios establecidos por la norma VDI 3940, con el fin de asegurar la confiabilidad y comparabilidad de los registros de olor obtenidos.
- ❖ Se recomienda integrar los resultados derivados del muestreo sensorial y su representación cartográfica en los procesos de gestión ambiental, de modo que la información generada contribuya a la mitigación de conflictos socioambientales y a la mejora de la calidad de vida de la comunidad.

Bibliografía

- [34] Albers, C. (2024). *Comuna de Coronel* [Mapa]. Rulamahue. Recuperado el 28 de diciembre de 2025.
<https://www.rulamahue.cl/fichas/cl08/cl08102.html>
- [25] Biernacik, P., Kazimierski, W., & Włodarczyk-Sielicka, M. (2023). Comparative Analysis of Selected Geostatistical Methods for Bottom Surface Modeling. *Sensors*, 23(8), 3941.
<https://doi.org/10.3390/s23083941>
- [20] Blumar S.A. (s.f.). *Compañía*. Blumar Seafoods.
<https://www.blumar.com/compania>
- [19] Camanchaca S.A. (s.f.). *Harina de pescado*. Camanchaca.
<https://clon.camanchaca.cl/pesca/harina-de-pescado/>
- [9] Congreso Nacional del Medio Ambiente. (2014). *GT-11: Contaminación Odorífera. Estrategias de gestión y evaluación*. Madrid, España: CONAMA.
http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/GTs%202014/11_f inal.pdf
- [30] Dash, P. K., & Miller, B. A. (2024). Exploring the effect of sampling density on spatial prediction with spatial interpolation of multiple soil nutrients at a regional scale. *Land*, 13(10), 1615.
<https://doi.org/10.3390/land13101615>
- [36] Diario Concepción. (4 de marzo de 2020). Pesquera Camanchaca Coronel anuncia que reducirá en 90% sus emisiones.
<https://www.diarioconcepcion.cl/economia/2020/03/04/pesquera-camanchaca-coronel-anuncia-que-reducira-en-90-sus-emisiones.html>
- [38] Díaz, C. (2019). ¿Es posible establecer un límite de olor universal? *Olores.org*.
<https://www.olores.org/es/noticias/legislacion-olor/1029-es-posible-establecer-un-limite-de-olor-universal>
- [8] ECOTEC Ingeniería. (2013). *Antecedentes para la Regulación de Olores en Chile*. Informe final preparado para la Subsecretaría del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.
<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/ECOTEC-Ingenieria.pdf>
- [12] Environmental Studies (EVS) Institute. (s.f.). *How Meteorological Factors Influence Air Pollution Dispersion*.
<https://evs.institute/environmental-pollution-control-and-management/meteorological-factors-air-pollution-dispersion/>
- [24] ESRI. (2025). ¿Cómo funciona la distancia inversa ponderada? [En línea]. Consulta: 27 de diciembre de 2025.
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/3.3/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.html>
- [26] ESRI. (2025). *Análisis de zonas de influencia* [En línea]. Consulta: 28 de diciembre de 2025.
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/buffer.html>
- [4] Fortt Zunzunegui, M. A. (2012, 30 de septiembre). *Olores molestos y sus efectos en la salud de la población*. Ministerio del Medio Ambiente.
<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Olores-molestos-y-sus-efectos-en-la-Salud-de-la-poblacion.pdf>
- [37] Google. (s.f.). Recuperado el 29 de diciembre de 2025.
<https://www.google.com/maps>
- [29] Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95.
<https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>

- [32] Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE Chile). (s.f.). *Geoportal de Chile: Visor de mapas*. Ministerio de Bienes Nacionales. Recuperado el 28 de diciembre de 2025.
<https://www.geoportal.cl/>
- [11] Instituto Nacional de Estadísticas. (2024). *Resultados Censo 2024*.
<https://censo2024.ine.gob.cl/resultados/>
- [16] Jiménez, J., Rioseco, G., & Mardones, C. (2017). *Contaminación del aire en el Gran Concepción*. Fundación Naturgy.
<https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2017/05/Jorge-Jimenez-Contaminaci%C3%B3n-del-aire-en-Concepci%C3%B3n.pdf>
- [2] Kunak. (20 de mayo de 2021). Contaminación por mal olor y cómo medirla con sensores.
<https://kunakair.com/es/contaminacion-mal-olor-sensores/>
- [7] Lapere, R., Menut, L., Mailler, S., & Huneus, N. (2021). Seasonal variation in atmospheric pollutants transport in central Chile. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(8), 6431–6454.
<https://acp.copernicus.org/articles/21/6431/2021/acp-21-6431-2021.pdf>
- [28] McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. En *Proceedings of the 9th Python in Science Conference* (pp. 51–56).
<https://proceedings.scipy.org/articles/Majora-92bf1922-00a>
- [33] Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Guía técnica para la gestión de las emisiones odoríferas*.
<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Guia-tecnica-para-la-gestion-de-las-emisiones-odoriferas.pdf>
- [18] Ministerio del Medio Ambiente. (2019). *Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Guía de Impactos por Olor*. SEA.
https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/12/04/guia_pye_impactos_por_olor_190807.pdf
- [3] Ministerio del Medio Ambiente, Chile. (2021). *Informe del Estado del Medio Ambiente: Capítulo 13 – Olores*.
<https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/13-olores.pdf>
- [39] Ministerio del Medio Ambiente, Chile. (2023). *Instructivo para elaborar un Plan de Gestión de Olores (PGO)*.
<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/Instructivo-para-Elaborar-un-Plan-de-Gestion-de-Olores.pdf>
- [17] Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2019). *Programa para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) Coronel*.
<https://pras.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/11/PRAS-Coronel.pdf>
- [10] Municipalidad de Coronel. (2022). *Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) Coronel 2022–2026*.
<https://www.coronel.cl/wp-content/uploads/2024/05/PLADECO-CORONEL%202022-2026%20compressed.pdf>
- [27] Python Software Foundation. (2025). *Python* (Versión 3.13.0) [Software].
<https://www.python.org>
- [23] Santos Preciado, J. M., & Cocero Matesanz, D. (2009). *Los SIG ráster: herramienta de análisis medioambiental y territorial*. UNED.
<https://canal.uned.es/uploads/materials/resources/pdf/3/6/1259093906763.pdf>
- [6] Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). *Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA*.
https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/12/04/guia_pye_impactos_por_olor_190807.pdf
- [14] SEREMI del Medio Ambiente, Región del Biobío. (2020). *Preguntas frecuentes PPDA Concepción Metropolitano*.
<https://calefaccionsustentable.mma.gob.cl/wp->

[content/uploads/2020/08/Preguntas-Frecuentes-PPDA-Concepcion-Metropolitano.pdf](#)

- [1] Sinay. (s.f.). *Air Quality* [Calidad del aire].
<https://sinay.ai/en/maritime-glossary/air-quality/>
- [21] Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). (2018). *Documento SNIFA Unidad Fiscalizable N° 5741*.
<https://snifa.sma.gob.cl/General/Descargar/1104191665>
- [15] Tapia, J. (2019). *Contaminación del Aire en Chile* [Presentación]. Colegio Médico de Chile.
https://www.colegiomedico.cl/wp-content/uploads/2019/07/Dr.-J-Tapia-Seminario-Colegio-Medico-11.07.19-1_compressed.pdf
- [35] Topographic-map.com. (2025, 28 de diciembre). *Mapa topográfico Coronel* [Mapa].
<https://es-cl.topographic-map.com/map-4tcmt/Coronel/>
- [13] Ulate, K. (2016). La problemática de los olores y su gestión. *Tecnología en Marcha*, 29(2), 137–146.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822016000200137
- [22] Verein Deutscher Ingenieure. (2006). *VDI 3940 Blatt 1: Measurement of odour impact by field inspection*.
<https://es.scribd.com/document/474087738/VDI-3940-Blatt-1-2006-02>
- [31] Zannetti, P. (1990). *Air Pollution Modeling*. Van Nostrand Reinhold.
<https://www1.muk.uni-hannover.de/hp-design2020/pdf/D%20II%2051%20Air%20pollution%20modeling,%20Zannetti.pdf>

Anexo A: Detalles de Frecuencia Diarias por Punto de Monitoreo

En este apartado se presenta la tabla de datos intermedios que contienen los porcentajes de frecuencia de olor obtenidos día tras día en cada punto de control (Lo Rojas, Blumar, Sector Cerro y Plaza). Estos valores constituyen el paso previo al cálculo de los promedios finales presentados en el Capítulo 2 y permiten observar la variabilidad diaria del impacto odorífero durante el periodo de estudio.

Tabla 7. Porcentajes de frecuencia de olor diarios.

Diario (%)								
Punto	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1	100	87.5	62.5	50	62.5	62.5	100	100
2	100	62.5	100	100	100	100	100	100
3	0	0	75	50	50	25	62.5	50
4	12.5	100	0	0	50	0	50	50

Fuente: Elaboración propia basado en datos recolectados en terreno

Anexo C: Glosario de términos técnicos

Para una correcta interpretación de los alcances y resultados de este informe, se definen los siguientes conceptos claves:

Inmisión de olor: Concentración de sustancias odoríferas en el aire ambiente, detectada en el lugar donde se encuentran los receptores (población) a diferencia de la “emisión” que es lo que sale directamente de la fuente.

Umbral de reconocimiento: Concentración mínima de un olor que permite al evaluador no solo percibirlo, sino identificar a que corresponde.

Método de Grilla: Técnica de medición sensorial en campo basada en la norma VDI 3940, que utiliza evaluadores entrenados para determinar la frecuencia de exposición a olores en puntos específicos de una malla geográfica.

Sotavento: Dirección hacia la cual se desplaza el flujo del aire y los contaminantes después de pasar por un punto de origen. Es la zona que recibe el impacto directo de la fuente emisora.

Curvas Isodoras: Líneas representantes en un mapa que unen puntos con la misma frecuencia o intensidad de olor, permitiendo visualizar el área de afectación.

Interpolación IDW (Inverse Distance Weighting): Método matemático que estima valores en puntos muestreados basándose en la cercanía a puntos medidos, asumiendo que la influencia de la variable disminuye con la distancia.

Frecuencia de olor: Porcentaje de tiempo durante el cual se percibe un olor reconocible en un punto determinado durante el periodo total de la evaluación

Carácter hedónico: Propiedad de un olor relativa a su agrado o desagrado. En gestión Ambiental, se asocia a la “ofensividad” de la mezcla odorífera.

Receptor sensible: Lugar con presencia humana permanente o prolongada, donde el impacto de los olores afecta la calidad de vida.

Estabilidad atmosférica: Condición de la atmosfera que dificulta o favorece la dispersión de contaminantes.

Dominio de Modelación: Área geográfica delimitada donde se aplican las herramientas de software y análisis para estudiar el fenómeno de dispersión.

Buffer: Geoproceso de SIG para crear áreas de influencia alrededor de los puntos de control.

Limites UTM (N, S, E, O): Coordenadas métricas que definen la caja de delimitación del área de estudio.

Rosa de los vientos: Grafico que representa la dirección y velocidad predominante del viento, factores clave en el transporte de olores.