



**Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Ambientales
Ingeniería Ambiental**

**EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA DE CONTROL DE OLORES
EN EL CONTEXTO DEL ANTEPROYECTO DE NORMA DE
EMISIÓN PARA EL SECTOR PESQUERO**

**POR
BENJAMÍN ABIMELEC BASAUR MARTÍNEZ**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Ambiental.

Profesores Guía: Patricia Del Carmen González Sánchez - Miguel Ángel Gatica Rivera

Enero, 2025
Concepción, Chile

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

“EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA DE CONTROL DE OLORES EN EL CONTEXTO DEL ANTEPROYECTO DE NORMA DE EMISIÓN PARA EL SECTOR PESQUERO”

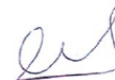
Profesor Guía: Dra. Patricia González Sánchez



Profesor Co-Guía: Mg. Miguel Gatica Rivera



Profesor Comisión: Dra. Claudia Ulloa Tesser



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, enero 2025

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problemática	1
1.2 Pregunta de Investigación.....	3
1.3 Objetivo General	3
1.4 Objetivos específicos	3
2 ANTECEDENTES.....	4
2.1 Aspectos Generales.....	4
2.1.1 Concepto y definición de Olor.....	4
2.1.2 Efecto de los olores en las personas	7
2.1.3 Técnicas para la Medición del Olor.....	10
2.1.4 Tecnologías de Control de Olores	11
2.1.5 Contexto Internacional.....	13
2.1.6 Contexto Nacional	15
2.2 Contexto de la Industria Pesquera	20
2.2.1 Proceso de producción	20
2.2.2 Industria pesquera en Chile	21

2.2.3	Impacto de las emisiones de olor de la industria pesquera	23
2.2.4	Tecnologías de control de olores para el Sector Pesquero	26
2.3	Modelación de la dispersión atmosférica	29
2.3.1	Tipos de modelos existentes	29
2.3.2	Datos de entrada	32
2.3.3	Modelación de olores.....	33
2.3.4	Consideraciones para la modelación de olores	34
3	METODOLOGÍA.....	36
3.1	Objetivo específico N°1: Diagnóstico de la operación actual de la planta	36
3.1.1	Revisión bibliográfica de la planta	36
3.1.2	Evaluación de la dispersión de las emisiones de olor “Escenario Actual”	38
3.2	Objetivo específico N°2: Identificación de tecnologías para reducir las emisiones	41
3.2.1	Análisis de sensibilidad.....	41
3.2.2	Identificación de tecnologías.....	42
3.3	Objetivo específico N°3: Selección de tecnología	43
3.4	Objetivo específico N°4: Evaluar la efectividad de la tecnología seleccionada	44
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1	Objetivo específico N°1: Diagnóstico de la operación actual de la planta	46
4.1.1	Área de estudio.....	46

4.1.2	Descripción del proceso productivo	48
4.1.3	Fuentes de emisión de olor.....	50
4.1.4	Modelación de la dispersión atmosférica “Escenario Actual”	57
4.2	Objetivo específico N° 2: Identificación de tecnologías para reducir las emisiones	62
4.2.1	Análisis de sensibilidad.....	62
4.2.2	Identificación de tecnologías.....	64
4.3	Objetivo específico N°3: Selección de tecnología para el control de olores 68	
4.4	Objetivo específico N°4: Evaluar la efectividad de la tecnología seleccionada	70
4.4.1	Escenario Futuro 1	71
4.4.2	Escenario Futuro 2	75
4.4.3	Comparación escenarios de Modelación	81
4.5	Discusión.....	82
5	CONCLUSIONES	86
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
7	GLOSARIO.....	90
8	ANEXOS.....	91
8.1	Parámetros de modelación.....	91
8.1.1	Fuentes.....	91

8.1.2	Edificios	93
8.2	Archivo Meteorológico	95
8.3	Régimen de emisión.....	97
8.4	Contribución a los ODS.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Protocolo FIDOL.....	9
Tabla N° 2.2. Tecnologías de reducción de olores.....	12
Tabla N° 2.3. Límites y restricciones de tecnologías.....	13
Tabla N° 2.4. Límites de emisión de olor para fuentes emisoras existentes.	15
Tabla N° 2.5. Ficha informativa de norma de emisión de olores para el sector pesquero.	18
Tabla N° 2.6. Límites de emisión de olor para fuentes emisoras existentes.	19
Tabla N° 2.7. Límites de emisión de olor para fuentes emisoras nuevas.....	20
Tabla N° 2.8. Tecnologías utilizadas a nivel internacional y nacional.	27
Tabla N° 2.9. Tecnologías de control – Etapas del proceso.....	28
Tabla N° 3.1. Variables de entrada consideradas en la modelación.	39
Tabla N° 4.1. Fuentes de emisión.	52
Tabla N° 4.2. Tasas de emisión de fuentes – Escenario Actual.....	55
Tabla N° 4.3. Tasas de emisión de olor total – Escenario Actual.....	57
Tabla N° 4.4. Receptores discretos – Distancia con respecto a la planta.	58
Tabla N° 4.5. Receptores discretos – Concentración de Inmisión.....	60
Tabla N° 4.6. Análisis de sensibilidad.....	62
Tabla N° 4.7. Características equipo JIMCO.....	65
Tabla N° 4.8. Características equipo AEROX.	68
Tabla N° 4.9. Comparación de tecnologías.....	68
Tabla N° 4.10. Balance de gases – Escenario Futuro 1.....	71

Tabla N° 4.11. Tasas de emisión – Escenario Futuro 1.	72
Tabla N° 4.12. Resultados receptores discretos – Escenario Futuro 1.	74
Tabla N° 4.13. Balance de gases – Escenario Futuro 2.	76
Tabla N° 4.14. Tasas de emisión – Escenario Futuro 2.	77
Tabla N° 4.15. Resultados receptores discretos – Escenario Futuro 2.	79
Tabla N° 4.16. Emisión - Comparación de escenarios.	81
Tabla N° 4.17. Concentración truncada receptores críticos - Comparación Escenarios.	82
Tabla N° 8.1. Parámetros de las fuentes modeladas.	91
Tabla N° 8.2. Edificios considerados en la modelación.	94
Tabla N° 8.3. Horas de operación – Planta de Harina.	97
Tabla N° 8.4. Horas de operación – Planta de Tratamiento de RILes.	98

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Proceso de emisión, dispersión y respuesta humana al olor.....	6
Figura N° 2.2 Método sensorial – Olfatometría Dinámica.....	11
Figura N° 2.3 Estrategia para la gestión de olores en Chile – Líneas de acción..	16
Figura N° 2.4 Distribución plantas de harina y aceite de pescado en Chile.	22
Figura N° 2.5 Distribución de Plantas de Harina y Aceite de Pescado por Región.	23
Figura N° 2.6 Áreas de emisión de olor – Sector Pesquero.	25
Figura N° 4.1 Polígono representativo de la planta.	47
Figura N° 4.2 Proceso productivo planta de harina y aceite de pescado.	48
Figura N° 4.3 Fuentes.	52
Figura N° 4.4 Régimen de emisión.....	54
Figura N° 4.5 Distribución de emisiones.....	56
Figura N° 4.6 Receptores discretos.....	58
Figura N° 4.7 Mapa de concentración de olor generado por las fuentes de emisión.	59
Figura N° 4.8 Oxidación Fotovoltaica (UV).....	65
Figura N° 4.9 Ionización (Plasma No Térmico).	67
Figura N° 4.10 Esquema Escenario Futuro 1.	71
Figura N° 4.11 Tasas de emisión – Escenario Futuro 1.	72
Figura N° 4.12 Mapa de concentración de olor – Escenario Futuro 1.	73
Figura N° 4.13 Esquema Escenario Futuro 2.	76

Figura N° 4.14 Tasas de emisión – Escenario Futuro 2.	77
Figura N° 4.15 Mapa de concentración de olor – Escenario Futuro 2.	78
Figura N° 4.16 Comparación tasas de emisión – Escenario de modelación.	81
Figura N° 8.1. Edificios considerados en la modelación.....	93
Figura N° 8.2. Rosa de los vientos – Archivo Meteorológico.....	95
Figura N° 8.3. Frecuencia de distribución de vientos – Archivo Meteorológico....	96

RESUMEN

Los malos olores han generado preocupación por su impacto en la calidad de vida y salud de las personas, especialmente en comunidades expuestas de forma constante. En el sector pesquero, las plantas procesadoras de harina y aceite de pescado son grandes emisoras de compuestos como el ácido sulfhídrico (H_2S) y la trimetilamina ($(CH_3)_3N$), generados principalmente durante el proceso de Cocción y Secado, lo que afecta la calidad del aire y el bienestar de trabajadores y vecinos. Para abordar esta situación, en Chile se está desarrollando una normativa que regulará las emisiones odoríferas en 34 establecimientos pesqueros, de los cuales 23 corresponden a Plantas de Harina y Aceite de Pescado. La medida promueve la adopción de tecnologías avanzadas como sistemas UV, de ozonización e ionización (plasma no térmico), enfocadas en reducir los olores en su origen y mejorar la calidad ambiental, marcando un paso crucial hacia el bienestar de las comunidades afectadas.

La futura norma de emisión para el sector pesquero establece que las plantas existentes deben reducir en un 70% su tasa de emisión de olor total (TEO_{TOTAL}) en un plazo de 4 años, sin embargo, podrían eximirse de esta reducción acreditando una TEO_{TOTAL} que permita cumplir un impacto odorante máximo menor o igual a 5 OU_E/m^3 P98.

De acuerdo con lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las emisiones de olor generadas por una planta de harina y aceite de pescado, con el propósito de proponer y analizar la efectividad de una tecnología de control de

olores que permita cumplir con los requisitos de la futura norma de emisión para el sector pesquero.

Se obtuvo que la tasa de emisión de olor total de la planta en estudio fue de 221.528 OUE/s, es decir, para que la planta pueda cumplir con lo establecido en la futura norma de emisión para el sector pesquero, esta debe reducir en un 70% su TEO_{TOTAL} , lo que equivale a disminuir a 66.458 OUE/s. Luego, se realizó una modelación de dispersión de olores, con la finalidad de evaluar la concentración de olor en los receptores, determinando que el receptor con mayor impacto posee una concentración de 6 OUE/m³, lo que supera lo establecido en la norma.

Para reducir las emisiones odoríferas, se propuso una tecnología de control de olores, que corresponde al Plasma No Térmico con un 80% de efectividad en la reducción de olores. Luego, se realizaron dos escenarios futuros, en el primero, la tecnología se aplicó únicamente en la fuente más crítica, el Scrubber Enfriador Molino; en el segundo, se extendió al Scrubber y a las Celosías. Los resultados comparativos de ambos escenarios con respecto a la situación actual se presentan en las tablas siguientes.

Tabla N°1. Emisión - Comparación de escenarios.

	Escenario Actual	Escenario Futuro 1	Escenario Futuro 2
TEO_{TOTAL} (OU_E/s)	221.528	126.587	61.149
% Reducción	-	43%	72%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°2. Concentración truncada receptores críticos - Comparación Escenarios.

	Escenario Actual	Escenario Futuro 1	Escenario Futuro 2
R2	6	4	2
R3	2	2	1
R9	2	2	1

Fuente: Elaboración Propia.

ABSTRACT

Foul odors have generated concern about their impact on people's quality of life and health, especially in communities that are constantly exposed to them. In the fishing sector, fishmeal and fish oil processing plants are major emitters of compounds such as hydrogen sulfide (H_2S) and trimethylamine ($(\text{CH}_3)_3\text{N}$), generated mainly during the cooking and drying process, which affects air quality and the well-being of workers and neighbors. To address this situation, Chile is developing a regulation that will regulate odor emissions in 34 fishing establishments, 23 of which are Fishmeal and Fish Oil Plants. The measure promotes the adoption of advanced technologies such as UV, ozonation and ionization (non-thermal plasma) systems, focused on reducing odors at source and improving environmental quality, marking a crucial step towards the welfare of the affected communities.

The future emission standard for the fishing sector establishes that existing plants must reduce their total odor emission rate ($\text{TEO}_{\text{TOTAL}}$) by 70% within 4 years; however, they could be exempted from this reduction by accrediting a $\text{TEO}_{\text{TOTAL}}$ that allows them to comply with a maximum odor impact less than or equal to $5 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ P98.

In accordance with the above, the objective of this study was to evaluate the odor emissions generated by a fishmeal and fish oil plant, with the purpose of proposing and analyzing the effectiveness of an odor control technology to comply with the requirements of the future emission standard for the fishing sector.

It was obtained that the total odor emission rate of the plant under study was 221,528 OU_E/s , that is, in order for the plant to comply with the requirements of the future emission standard for the fishing sector, it must reduce its $\text{TEO}_{\text{TOTAL}}$ by 70%, which is equivalent to a reduction of 66,458 OU_E/s . Then, an odor dispersion modeling was carried out to evaluate the odor concentration in the receptors, determining that the receptor with the greatest impact has a concentration of 6 OU_E/m^3 , which exceeds the standard.

To reduce odor emissions, an odor control technology was proposed, which corresponds to the Non-Thermal Plasma with 80% effectiveness in odor reduction. Then, two future scenarios were carried out, in the first one, the technology was applied only in the most critical source, the Scrubber Cooler Mill; in the second one, it was extended to the Scrubber and the Lattices. The comparative results of both scenarios with respect to the current situation are presented in the following tables.

Table N° 1. Emission - Comparison of scenarios.

	Current Scenario	Scenario Future 1	Scenario Future 2
TEO_{TOTAL} (OU_E/s)	221.528	126.587	61.149
% Reduction	-	43%	72%

Source: Own elaboration.

Table N° 2. Truncated Concentration of Critical Receptors - Scenario Comparison.

	Current Scenario	Scenario Future 1	Scenario Future 2
R2	6	4	2
R3	2	2	1
R9	2	2	1

Source: Own elaboration.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

La problemática de los malos olores ha adquirido una relevancia creciente en las últimas décadas, no solo por su impacto en la calidad de vida de las comunidades, sino también por sus efectos adversos en la salud de las personas, entendida en su sentido amplio como “el completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” (Ministerio del Medio Ambiente, 2021). La exposición prolongada a olores desagradables puede desencadenar reacciones fisiológicas y psicológicas, que van desde malestar general hasta trastornos más serios, como estrés y ansiedad. Estos efectos son particularmente preocupantes en áreas donde la población está constantemente expuesta a emisiones odoríferas, lo que subraya la necesidad de abordar esta problemática de manera efectiva.

Dentro de las diversas actividades productivas, el sector pesquero se destaca como uno de los principales generadores de malos olores. Las plantas procesadoras de harina y aceite de pescado son responsables de la emisión de compuestos odoríferos que incluyen gases contaminantes como el ácido sulfhídrico (H_2S) y la trimetilamina ($(CH_3)_3N$). Estos compuestos son generados durante los procesos de cocción y secado, y su presencia en el aire puede causar molestias significativas a las comunidades cercanas. La falta de control en la gestión de estos olores afecta

la salud de los trabajadores y las comunidades circundantes, lo que resalta la urgencia de implementar medidas efectivas para su mitigación.

Para enfrentar esta problemática, es fundamental implementar tecnologías de control de olores que reduzcan las emisiones en su origen. En Chile, se encuentra en desarrollo una normativa específica que busca regular las emisiones odoríferas en el sector pesquero, promoviendo la aplicación de las mejores técnicas disponibles (MTD). Estas técnicas o tecnologías incluyen sistemas de abatimiento avanzados, como scrubbers (químicos, biológicos, combinados, húmedos, entre otros), sistemas de ozonización, ionización y tecnologías de adsorción, diseñados para reducir la dispersión de olores.

Esta futura norma de emisión de olores está orientada a controlar las emisiones de 34 establecimientos pesqueros en el país, de los cuales 23 corresponden a plantas de harina y aceite de pescado, y 9 a plantas de alimentos para peces.

1.2 Pregunta de Investigación

¿Las emisiones de olor de la planta procesadora de harina y aceite de pescado superan los límites establecidos en el anteproyecto de norma de emisión para el sector pesquero? Y de ser así, ¿Qué medidas pueden implementarse para reducir dichas emisiones y cumplir con la normativa?

1.3 Objetivo General

Proponer una tecnología de control de olores para una planta procesadora de harina y aceite de pescado, en el contexto del anteproyecto de norma de emisión para el sector pesquero.

1.4 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la operación actual de la planta de harina y aceite de pescado, considerando los lineamientos establecidos en la Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA.
- Identificar tecnologías para reducir las emisiones y cumplir con lo establecido en el anteproyecto de norma de emisión para el sector pesquero.
- Seleccionar una tecnología para el control de olores.
- Evaluar la efectividad de la tecnología seleccionada.

2 ANTECEDENTES

2.1 Aspectos Generales

2.1.1 Concepto y definición de Olor

El olor se define como una “propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias volátiles” (Instituto Nacional de Normalización, 2010). También se define como “sensación que ocurre cuando los compuestos o sustancias olorosas estimulan los receptores en la cavidad nasal” (Schiffman & Williams, 2005).

Esta percepción está directamente relacionada con la alta sensibilidad del olfato humano, capaz de detectar olores incluso cuando las sustancias olorosas están presentes en el ambiente en concentraciones extremadamente bajas (Ministry for the Environment for New Zealand, 2016).

Es posible distinguir dos tipos de olor, el olor simple y el compuesto. El olor simple es el que se percibe como consecuencia de la emisión de un compuesto químico o sustancia olorosa determinada. Por ejemplo, el ácido sulfhídrico (H_2S) es una sustancia olorosa. Los olores de tipo simple suelen ser fácilmente identificables (Díaz C. et al., 2013). Mientras que el olor compuesto surge de la mezcla de varios olores simples. En estas mezclas pueden ocurrir efectos como sinergias, interferencias o inhibiciones, lo que hace difícil identificar y atribuir con precisión las moléculas responsables del olor percibido (Iglesias et al., 2012).

Para que los olores, ya sean simples o complejos, puedan generar molestias en las personas, deben ocurrir tres procesos claves: emisión, dispersión y respuesta humana.

La emisión del olor involucra la formación y liberación de compuestos odoríferos en la atmósfera desde fuentes puntuales, difusas o fugitivas, considerando su concentración, calidad, tono hedónico, intensidad, y régimen de emisión.

La dispersión del olor en la atmósfera está determinada por condiciones meteorológicas como estabilidad de la capa límite, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, y la topografía local.

Finalmente, la percepción y respuesta humana, depende de la exposición del receptor, su ubicación y relación con la fuente, así como factores psicológicos y contextuales que pueden influir en la valoración del olor, pudiendo resultar en molestias o quejas (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

A continuación, en la Figura N°2.1 se representan gráficamente los tres procesos mencionados anteriormente.

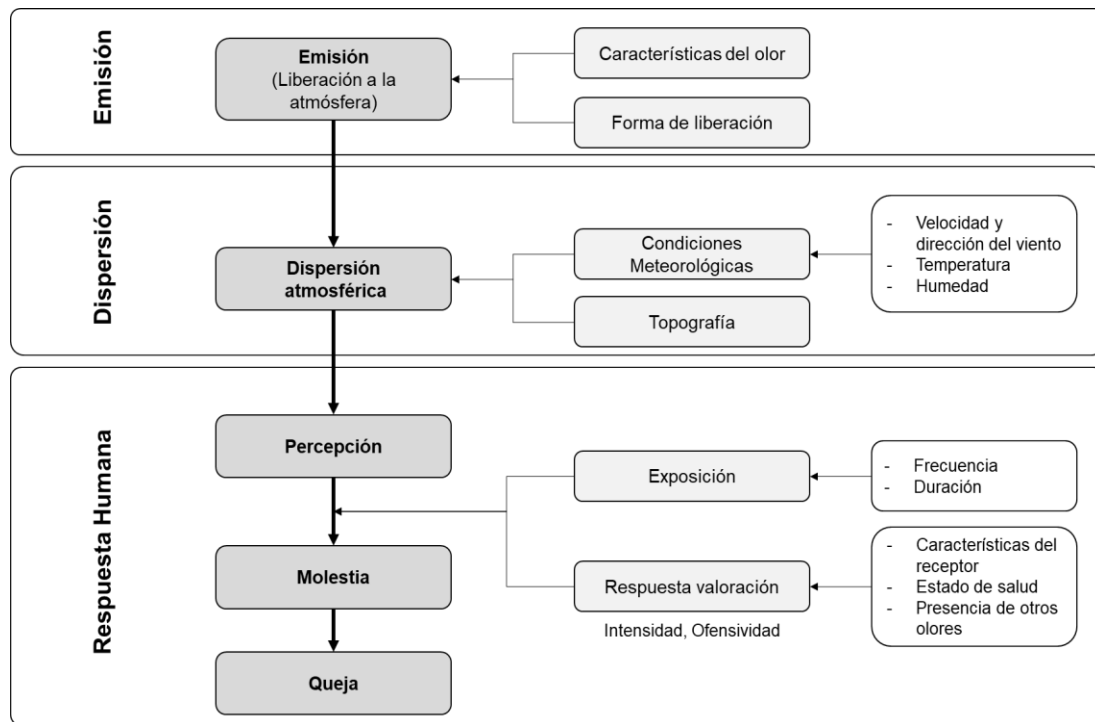


Figura N° 2.1 Proceso de emisión, dispersión y respuesta humana al olor.

Fuente: Adaptada de Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA (2017).

Por otro lado, es importante considerar cuatro características principales que nos ayudan a describir el olor de una manera más detallada:

1.- **Concentración:** Es el número de unidades de olor europeas (OU_E/m^3) en un metro cúbico de gas en condiciones normales. El umbral de detección ($1 OU_E/m^3$) es la concentración mínima capaz de generar un estímulo detectable por un porcentaje específico de la población, generalmente el 50%.

2.- **Intensidad:** Se refiere a la fuerza con la que el olor es percibido, la cual aumenta con la concentración. No está necesariamente relacionada con la molestia, por lo que un olor intenso puede no ser molesto.

3.- Calidad: Describe cómo huele el olor, clasificándolo en grupos como floral, frutal, vegetal, o medicinal, entre otros. Esta clasificación se realiza usando listas de descriptores estandarizados, que a menudo se representan en ruedas de descriptores de olor.

4.- Tono Hedónico: Es la propiedad que indica si un olor es agradable o desagradable, basado en las asociaciones mentales que provoca. Se mide en una escala de -4 (muy desagradable) a 4 (muy agradable), siendo 0 un olor neutral (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

2.1.2 Efecto de los olores en las personas

Los olores son elementos perturbadores de la salud, entendida en su sentido amplio como “el completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades”(Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

La exposición prolongada o reiterada a altas concentraciones de olores puede provocar una serie de alteraciones significativas en los patrones de conducta y vida de las personas afectadas. Estas alteraciones incluyen desde acciones cotidianas como evitar salir al jardín, mantener ventanas y puertas cerradas para evitar la percepción de olores, hasta situaciones más graves como la interrupción del sueño y cambios en los hábitos alimenticios. A nivel colectivo, estos impactos se extienden a los sistemas de vida de los grupos humanos, generando perturbaciones en sus quehaceres diarios y afectando su rutina habitual. Incluso, la percepción constante de malos olores puede interferir con el ejercicio de manifestaciones culturales y

tradicionales, debilitando el sentido de arraigo y cohesión social dentro de la comunidad. Este deterioro en la calidad de vida puede llevar al estigma social y aumentar la propensión de los individuos a emigrar, intensificando el desarraigo y afectando profundamente la estructura social de los grupos humanos afectados.

Además de alterar las rutinas diarias, los olores molestos pueden causar problemas de salud como irritaciones oculares, nasales, laríngeas, dolor de cabeza, náuseas, dificultades respiratorias y alteraciones psicológicas tales como niveles elevados de tensión, estrés, somnolencia, depresión, cansancio, ira y confusión (Herr et al., 2009).

Como la molestia por olor surge de eventos repetidos a lo largo de un período prolongado, lo que provoca alteraciones en la calidad de vida, el acrónimo FIDOL (Frecuencia, Intensidad, Duración, Ofensividad, Localización) es un recordatorio útil de los factores que determinan el grado de molestia por olor (Ministerio del Medio Ambiente, 2021)¹.

¹ Informe del Estado del Medio Ambiente / Capítulo 13 / Olores.

Tabla N° 2.1 Protocolo FIDOL.

Frecuencia (F)	Hace referencia a la cantidad de veces que las personas están expuestas al olor en un determinado periodo de tiempo. La repetición constante de un olor aumenta la posibilidad de generar molestia.
Intensidad (I)	Es la fuerza o concentración del olor percibido. Olores más intensos tienden a ser más molestos para las personas.
Duración (D)	Se refiere al tiempo durante el cual se percibe el olor en cada evento. Olores que persisten por períodos prolongados suelen ser más perturbadores.
Ofensividad (O)	Está relacionada con la naturaleza desagradable del olor. Algunos olores son intrínsecamente más ofensivos y, por lo tanto, generan mayor malestar.
Localización (L)	Se refiere al lugar donde se percibe el olor. La proximidad a fuentes de emisión de olores y el contexto en el que se encuentra el receptor influyen en la percepción de molestia.

Fuente: Adaptada de (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

Finalmente, es importante añadir que el Informe "Olores molestos y sus efectos en la salud de la población" (Fortt Zunzunegui, 2012), resalta que las exposiciones a malos olores se registran principalmente en áreas con altos índices de pobreza, lo que sugiere una relación entre la vulnerabilidad socioeconómica y la afectación por este tipo de contaminación. Además, se han estudiado estos casos en el contexto de la justicia o equidad ambiental, evidenciando la proximidad de actividades productivas intensivas, como la producción animal, a zonas residenciales, lo que impacta negativamente en la calidad del aire y potencialmente en la salud de la población afectada.

2.1.3 Técnicas para la Medición del Olor

La medición y caracterización de olores se ha convertido en un tema ambiental muy importante debido al creciente interés de la comunidad en la protección del medio ambiente y su preocupación por el impacto de la calidad del aire en la salud y el bienestar. En las últimas décadas se han estudiado y desarrollado diversas técnicas y métodos para la caracterización de olores ambientales (Capelli et al., 2019).

Las técnicas de medición de olores se dividen en dos categorías principales. La primera se enfoca en el nivel de emisión, que implica medir directamente en la fuente que genera olor. La segunda categoría se centra en el nivel en el receptor, evaluando el impacto del olor en las áreas donde residen los ciudadanos o en los lugares desde donde se reportan quejas.

Algunos métodos utilizados para medir el nivel de emisión son: Análisis Químico, Cromatografía de Gases, Monitoreo Instrumental de Olores (Narices Electrónicas) y Olfatometría Dinámica, siendo este último, el más utilizado a nivel internacional.

La olfatometría dinámica es un método para determinar la concentración de olor de una muestra gaseosa. Comienza con un muestreo en la fuente siguiendo lo establecido en la NCh 3386:2015 *Calidad del Aire – Muestreo Estático para Olfatometría*. Posteriormente, se determina la concentración de olor de la muestra utilizando un panel de evaluadores compuesto por personas seleccionadas y entrenadas para identificar si el olor está presente en la muestra exhibida. Esta se analiza en un olfatómetro, siguiendo los lineamientos de la NCh 3190.of.2010

Calidad del Aire - Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica.

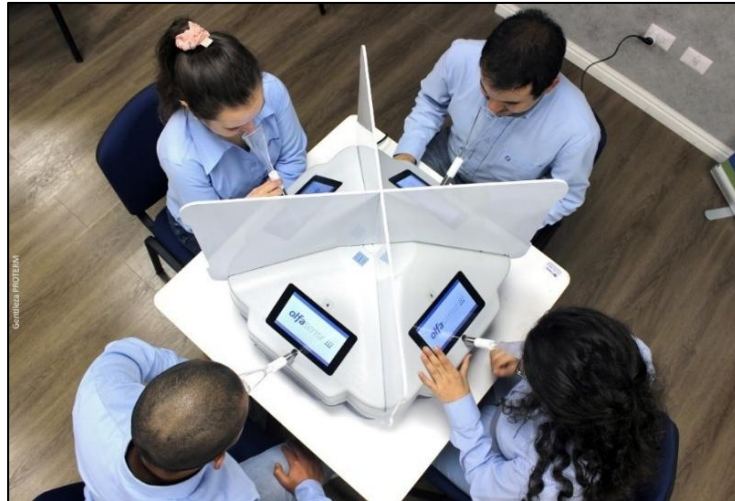


Figura N° 2.2 Método sensorial – Olfatometría Dinámica.

Fuente: Proterm S.A. 2019.

La concentración de olor, medida por olfatometría dinámica, se expresa como el número de unidades de olor europea por metro cúbico (OU_E/m^3).

Por otro lado, hay distintos métodos para evaluar el nivel de olor en el receptor, entre los cuales se encuentra la Inspección de Campo (Métodos de Grilla y Pluma), Olfatometría de Campo y Ciencia Ciudadana.

2.1.4 Tecnologías de Control de Olores

Existe una amplia variedad de tecnologías disponibles para el control de olores, los cuales generalmente se aplican a emisiones provenientes de fuentes puntuales o transportadoras, como chimeneas, que cuentan con dimensiones y caudales definidos.

Las tecnologías de reducción de olores se pueden dividir en físicas, químicas y biológicas.

En la siguiente tabla se presenta una lista de las diferentes técnicas existentes.

Tabla N° 2.2. Tecnologías de reducción de olores.

Tipología	Método de Reducción
Sistemas Físicos	Adsorción
	Oxidación Térmica
	Oxidación Catalítica
	Ionización
Sistemas Químicos	Ozonización
	Neutralizadores
Sistemas Biológicos	Biofiltración

Fuente: Adaptada de (Capelli et al., 2019) .

La selección de una técnica de tratamiento requiere considerar diversos parámetros, entre los cuales se incluyen:

- El caudal de las emisiones olorosas (m^3/s).
- La concentración del o los contaminantes olorosos (OU_E/m^3).
- Las propiedades fisicoquímicas de las moléculas olorosas (Solubilidad, acidez, basicidad, polaridad, etc.)
- La eficiencia de las técnicas para reducir los contaminantes olorosos (%).
- La generación de contaminantes secundarios.
- El consumo energético de las técnicas.

- Los límites / restricciones de las técnicas (Temperatura, concentración máxima, contenido de humedad, etc.)
- Requerimientos del espacio.
- Requisitos de operación y técnicas.

La siguiente tabla muestra los límites de aplicación y restricciones asociadas a algunas de las técnicas mencionadas anteriormente

Tabla N° 2.3. Límites y restricciones de tecnologías.

Parámetro	Caudal (m³/h)	Temperatura (°C)	Presión (MPa)	Eficiencia de Reducción (%)
Adsorción	100 - 1.000	15 - 80	10 - 50	80 - 99
Oxidación Térmica	900 - 86.000	900 - 1200	Atmosférico	98 - 99,9
Oxidación Catalítica	1.200 - 90.000	300 - 500	500 - 700	80 - 95
Ionización	20 - 2.000.000	20 - 120	Atmosférico	80 - 98
Oxidación Foto / UV	2.000 - 58.000	<60	Atmosférico	80 - 98
Biofiltración	100 - 200.000	15 - 38	Atmosférico	70 - 99

Fuente: Adaptada de (Capelli et al., 2019).

2.1.5 Contexto Internacional

El interés por la regulación de las emisiones de olores ha crecido significativamente a nivel internacional en las últimas décadas, impulsado por la creciente

preocupación por la calidad de vida en áreas urbanas e industriales. A mediados de los 80' comenzó el desarrollo de recomendaciones, directrices o normas nacionales en países como Suecia, Dinamarca, Reino Unido, Alemania, Países Bajos y Francia (Van Harreveld et al., 1999). Estos países fueron pioneros en el establecimiento de estándares específicos y protocolos de evaluación de impacto por olor, lo que marcó el inicio de una regulación más estricta en Europa. Si bien, muchos países han incorporado controles de olores en su legislación, los criterios de evaluación relacionados con los olores tienden a ser muy variables entre ellos. (Bokowa et al., 2021). Países como el Reino Unido y Australia, destacan por adoptar sólidas prácticas, incorporando tecnologías avanzadas de medición y control de olores, mientras que América Latina y Asia comenzaron a incorporar regulaciones similares en respuesta a preocupaciones ambientales crecientes, convirtiendo el control de olores en un tema relevante dentro de la gestión ambiental global.

La regulación de emisiones ha llevado a la implementación de diversas normas a nivel internacional. Para el sector pesquero, varios países han establecido límites de concentración de inmisión en la comunidad, buscando minimizar el impacto ambiental y social proveniente de dicho sector. A continuación, en Tabla N°2.4 se presentan algunos límites establecidos en normas internacionales aplicables al sector pesquero.

Tabla N° 2.4. Límites de emisión de olor para fuentes emisoras existentes.

País	Estatus	Descripción de actividad	Nivel permisible (OU_E/m³)
Colombia	Norma	Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos	3
Reino Unido	Norma	Procesos asociados a residuos animales y residuos de pescados	1,5
España	Anteproyecto de norma	Aprovechamiento subproductos de origen animal	3
Panamá	Anteproyecto de norma	Procesadoras de harinas de pescado o productos de pescado	3

Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, s.f.)

2.1.6 Contexto Nacional

La legislación sobre contaminación atmosférica en Chile es diversa; sin embargo, específicamente en materia de olores existen escasas disposiciones en la normativa nacional. Dentro de esta regulación destaca la Norma de Emisión de Compuestos TRS, Generadores de Olor Asociados a la Fabricación de Pulpa Sulfatada (Ministerio de Medio Ambiente, 2017).

Ante los conflictos socioambientales debido a la molestia por olores, el Ministerio del Medio Ambiente, promulgó una Estrategia para la Gestión de Olores en Chile el año 2014, actualizada el año 2017, con el objetivo de iniciar acciones en materia de olores. La estrategia establece 5 líneas de acción, en base a la experiencia nacional e internacional, así como al diagnóstico de la problemática en Chile.

- Fortalecimiento del marco regulatorio
- Levantamiento de información
- Incrementar conocimiento
- Coordinación intersectorial
- Fortalecimiento institucional



Figura N° 2.3 Estrategia para la gestión de olores en Chile – Líneas de acción.
Fuente: Extraída de Estrategia para la gestión de olores en Chile (Ministerio de Medio Ambiente, 2017).

En términos regulatorios, se priorizaron las actividades potencialmente generadoras de olores utilizando los siguientes tres criterios:

- (1) Número de denuncias recibidas.
- (2) Cantidad de instalaciones involucradas.
- (3) Participación en conflictos socioambientales relacionados con olores.

Según dichos criterios, los cinco sectores prioritarios identificados fueron el sector porcino, el sector pesquero, las plantas de tratamiento de aguas servidas, las plantas de celulosa y los sitios de disposición final de residuos.

La primera norma en Chile corresponde a la Norma de Emisión de Olores para Planteles Porcinos DS N°09/22, publicada el 06 de febrero, 2023. Como resultado de su aplicación, se espera prevenir y controlar la emisión de contaminantes en planteles porcinos, que, en función de sus olores generan molestias y distribuyen un riesgo en la calidad de vida de la población.

El proceso de elaboración de la segunda norma de olores en Chile inició en septiembre de 2019, el 06 de febrero de 2023 fue publicado en el diario oficial el anteproyecto de norma, y el 26 de junio de 2024 se envía a oficio para la firma del Presidente de la República del proyecto definitivo. Esta norma incluye a Plantas de Harina y Aceite de Pescado, y a Plantas de Alimento para Peces. A continuación, se puede observar la ficha de la futura norma.

Tabla N° 2.5. Ficha informativa de norma de emisión de olores para el sector pesquero.

Ficha	Norma de Emisión de Olores para Plantas de Harina y Aceite de Pescado y Plantas de Alimento para Peces
Tema Ambiental	Aire
Tipo	Emisión
Estado	En elaboración
Decreto Supremo	-
Fecha de Publicación en el diario oficial	-
Entrada en Vigencia	-
Ámbito Territorial	Nacional
Fiscalizador	Superintendencia del Medio Ambiente

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, Planes y Normas².

El objetivo de la norma³ es proteger la salud de la población y mejorar su calidad de vida. Como resultado de su aplicación se espera prevenir y controlar la emisión de contaminantes en plantas de harina y aceite de pescado y plantas de alimento para peces que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo para la calidad de vida de la población.

Los límites de emisión se dividen para fuentes existentes y nuevas.

² https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/ver.php?id_expediente=936272

³ El objetivo se menciona en el Título 1, Artículo 1.

- Fuentes Existentes: Las fuentes existentes deberán cumplir con los valores indicados en la siguiente tabla:

Tabla N° 2.6. Límites de emisión de olor para fuentes emisoras existentes.

Tipo de Fuente Emisora	Límite de emisión, en TEO [OU _E /t]	% de reducción asociado al límite de emisión
Plantas de Harina y Aceite de Pescado Plantas de Alimento para Peces	TEO ⁴ _{TOTAL medida año 1} X (1-X _T /100)	X _T =70%

- Los límites señalados en la tabla N°2.6 deberán cumplirse en un plazo de 4 años, desde la entrada en vigencia de la norma. Por otro lado, las fuentes emisoras que deban cumplir con los límites establecidos, podrán eximirse de lo indicado en dicha tabla, si acreditan una TEO_{TOTAL} que permita cumplir un impacto odorante máximo menor o igual a 5 OU_E/m³ P98.
 - Los límites establecidos en la Tabla N°2.6 deberán ser cumplidos a partir de la entrada en vigencia de la norma.
- Fuentes Nuevas: Las fuentes nuevas deberán cumplir con los valores indicados en la siguiente tabla:

⁴ TEO: Tasa de emisión de olor

Tabla N° 2.7. Límites de emisión de olor para fuentes emisoras nuevas.

Tipo de Fuente Emisora	Límite de emisión, en TEO [OU _E /t]
Plantas de Harina y Aceite de Pescado	TEO _{TOTAL} que permita cumplir un impacto odorante
Plantas de Alimento para Peces	máximo menor o igual a 3 OU _E /m ³ P98

Los valores de impacto odorante máximo, según la futura norma de emisión en un Artículo N°3 letra f, se truncarán, es decir se suprimirá la parte decimal de dicho número, para obtener un número entero.

2.2 Contexto de la Industria Pesquera

2.2.1 Proceso de producción

El proceso de producción de harina y aceite de pescado comienza con la recepción y almacenamiento del pescado fresco, el cual es transportado a la planta de procesamiento. El siguiente paso en el proceso es la cocción del pescado, que se realiza para desnaturalizar las proteínas y facilitar la extracción del aceite.

Tras la cocción, el pescado es sometido a un proceso de prensado, que separa la mezcla en dos corrientes principales. La primera corriente consiste en una mezcla de líquidos y sólidos. Esta mezcla es enviada al separador de sólidos, donde se eliminan los componentes sólidos más grandes, dejando una fase líquida que contiene agua y aceite. Esta fase líquida se dirige al separador de aceite, donde el aceite es aislado y luego sometido a un proceso de limpieza para eliminar

impurezas, obteniendo así un aceite refinado de alta calidad, listo para su comercialización.

La segunda corriente que resulta del prensado contiene los sólidos restantes, los cuales son enviados al secado. Este proceso reduce el contenido de humedad de los sólidos, preparándolos para la siguiente etapa, que es la molienda. Durante la molienda, los sólidos secos son triturados hasta obtener un polvo fino. Finalmente, este polvo es ensacado para producir la harina de pescado, un producto valioso que se utiliza principalmente en la alimentación animal y en diversas aplicaciones industriales.

2.2.2 Industria pesquera en Chile

La industria pesquera en Chile es una de las más importantes a nivel global, posicionando al país como uno de los principales productores y exportadores de productos marinos. Esta industria juega un rol fundamental en la economía nacional, generando empleo y aportando significativamente al Producto Interno Bruto (PIB).

Chile cuenta con una extensa costa, lo que proporciona un acceso a recursos pesqueros variados y abundantes. Las principales actividades de la industria incluyen la pesca de peces pelágicos como la anchoveta, sardina y jurel, los cuales son utilizados en la producción de harina y aceite de pescado, productos que son altamente demandados en los mercados internacionales.

En Chile, existen 34 establecimientos dedicados a la producción en la industria pesquera. De estos, 23 corresponden a plantas de harina y aceite de pescado, y 9 son plantas de alimento para peces. Estas instalaciones están distribuidas a lo largo del país, desde el norte hasta el sur, siendo la región del Bio-Bío la que concentra la mayor cantidad de plantas.

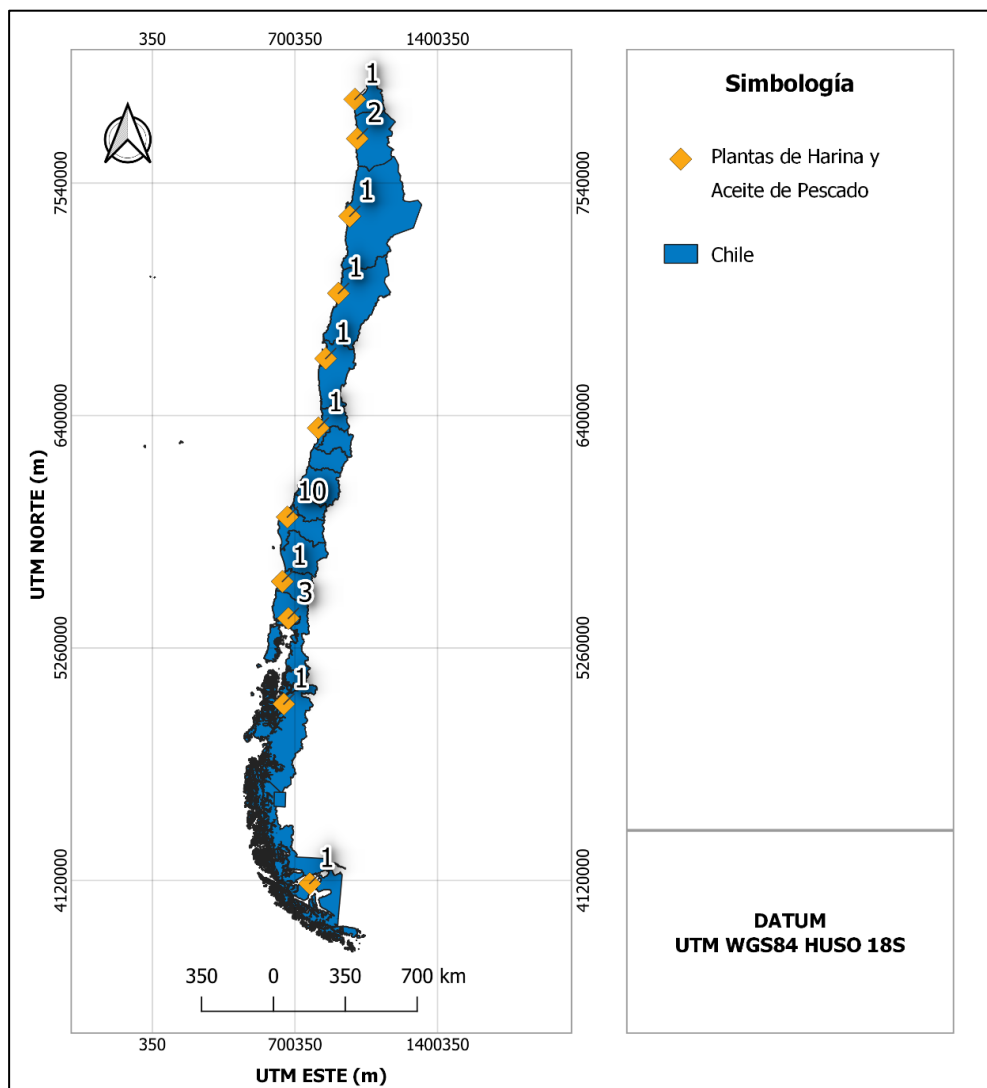


Figura N° 2.4 Distribución plantas de harina y aceite de pescado en Chile.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de presentaciones del comité operativo para la elaboración de la norma.

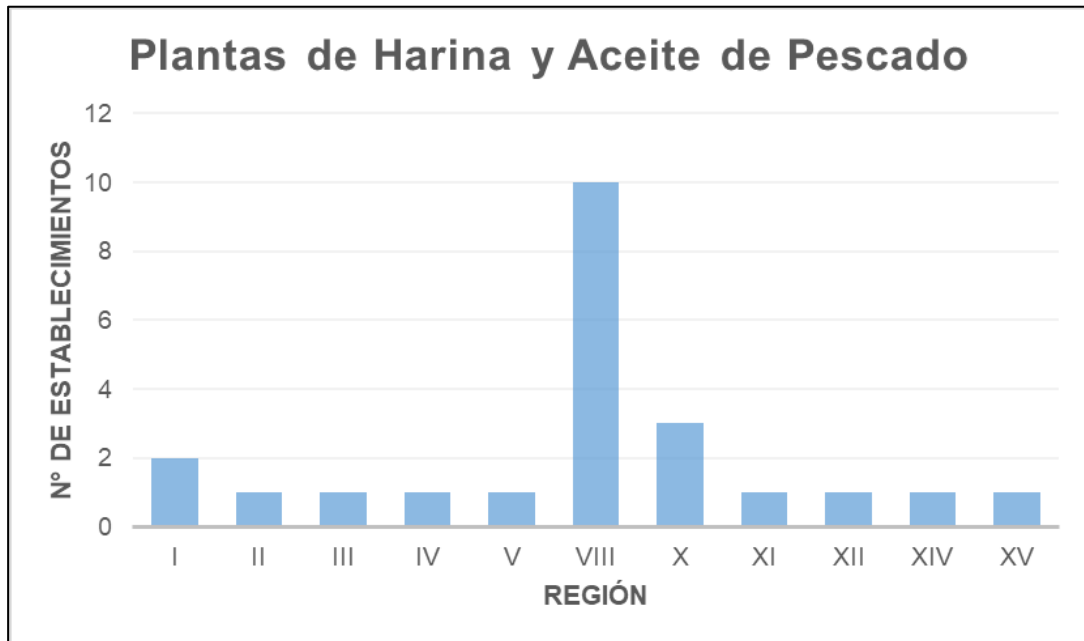


Figura N° 2.5 Distribución de Plantas de Harina y Aceite de Pescado por Región.
 Fuente: Elaboración propia con información extraída de presentaciones del comité operativo para la elaboración de la norma.

Como se puede observar en la figura N°2.4 y N°2.5, la Región del Bio-Bío cuenta con el mayor número de plantas de harina y aceite de pescado, con un total de 10 establecimientos. Le sigue la Región de Los Lagos con 3 plantas y la Región de Tarapacá con 2. Finalmente, las demás regiones (II, III, IV, V, XI, XII, XIV, XV) cuentan con una planta cada una.

2.2.3 Impacto de las emisiones de olor de la industria pesquera

El impacto de las emisiones de olor en la industria pesquera, particularmente en la producción de harina de pescado, es un desafío significativo que involucra diversas fuentes dentro de las plantas. Los pozos de almacenamiento de materias primas, a menudo expuestos a la intemperie y solo cubiertos por un techo, son una de las

principales fuentes emisoras de olores. Estos pozos contienen pescado en distintos grados de descomposición, lo que depende de la calidad de la descarga y el tipo de materia prima ingresada. La descomposición genera olores intensos que afectan la calidad del aire en las inmediaciones de las plantas.

Otra fuente relevante de olores proviene de los vahos generados durante el proceso de secado, que constituyen el mayor volumen de emisiones y son responsables de olores pestilentes y nauseabundos. Estos vahos, que contienen gases odoríficos como ácido sulfhídrico (H_2S) y trimetilamina ($(CH_3)_3N$), se escapan debido a la falta de hermeticidad en los equipos, como cocedores y secadores mal sellados o con compuertas mal cerradas. Además, el tiempo de proceso y el grado de descomposición del pescado son factores críticos; cuando la materia prima está más descompuesta, el proceso se ralentiza, lo que incrementa la generación de olores debido a la mayor cantidad de líquidos liberados (Dictuc S.A., 2021).

En este contexto, las plantas pesqueras presentan distintas unidades de emisión de olor, como el área de recepción, producción, tratamiento de residuos industriales líquidos (Riles) y producto terminado. La configuración y la contribución de estas unidades varían según la planta y el tipo de operación, ya sea una planta de harina y aceite de pescado o una planta de alimento para peces. Esto hace que la gestión de olores sea un desafío complejo y esencial para mitigar el impacto ambiental de la industria.



A) Área de recepción



B) Área de producción



C) Área de RILes



D) Área de producto terminado

Figura N° 2.6 Áreas de emisión de olor – Sector Pesquero.

Fuente: (Departamento de Ruido, Lumínica y Olores 2022)

2.2.4 Tecnologías de control de olores para el Sector Pesquero

En el sector pesquero, la generación de olores es un desafío significativo, especialmente debido a la descomposición de residuos orgánicos y la liberación de compuestos volátiles como el ácido sulfhídrico (H_2S) y trimetilamina ($(CH_3)_3N$). Las tecnologías de control de olores en plantas pesqueras han avanzado significativamente en las últimas décadas, enfocándose en la reducción de emisiones desde distintas etapas del proceso, como la recepción de materia prima, cocedores, secadores y el tratamiento de riles.

A continuación, se presenta una tabla que detalla algunas de las principales tecnologías de control de olores utilizadas tanto a nivel internacional como nacional en el sector pesquero.

Tabla N° 2.8. Tecnologías utilizadas a nivel internacional y nacional.

Tecnologías	Internacional	Nacional
Scrubber Químico	Sí	Sí
Scrubber Biológico	Sí	Sí
Scrubber Combinado	Sí	Sí
Scrubber Húmedo	Sí	Sí
Ionización (Plasma No Térmico)	Sí	Sí
Oxidación Térmica Recuperativa	Sí	Sí
UV con Ozono	Sí	Sí
Filtro de Carbón Activado	Sí	No
Oxidación Térmica	Sí	No

Fuente: Extraída de presentaciones del comité operativo para la elaboración de la norma.

A continuación, se presenta una tabla que identifica las principales tecnologías de control de olores, destacando las etapas del proceso pesquero donde pueden aplicarse.

Tabla N° 2.9. Tecnologías de control – Etapas del proceso.

Tecnologías	Recepción /Pozos	Cocedores	Prensa	Secadores	Enfriadores	RILES
Scrubber Químico	No	Sí	No	Sí	No	No
Scrubber Biológico	Sí	No	No	No	No	Sí
Scrubber Combinado	No	Sí	No	Sí	No	No
Scrubber Húmedo	No	Sí	No	Sí	No	No
Ionización (Plasma No Térmico)	No	Sí	No	Sí	No	No
Oxidación Térmica Recuperativa	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
UV con Ozono	Sí	No	No	No	Sí	Sí
Filtro de Carbón Activado	Sí	No	No	No	No	Sí
Oxidación Térmica	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí

Fuente: Extraída de presentaciones del comité operativo para la elaboración de la norma.

2.3 Modelación de la dispersión atmosférica

Los modelos de dispersión atmosférica son herramientas claves para evaluar el impacto de las emisiones de fuentes específicas en la calidad del aire de áreas circundantes a instalaciones o proyectos. Estos modelos permiten cuantificar la contribución de dichas emisiones en diferentes ubicaciones, ayudando a identificar y asignar responsabilidades sobre los niveles de contaminantes medidos en el ambiente, lo que es esencial para la gestión y mitigación de impactos ambientales.

2.3.1 Tipos de modelos existentes

Según la Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA (2023), los modelos de calidad del aire existentes se pueden clasificar principalmente en Gaussianos, Eulerianos, Lagrangeanos y tipo puff, cuyas características se describen a continuación.

- **Modelos Gaussianos:** Los modelos Gaussianos describen la distribución tridimensional de una pluma bajo condiciones meteorológicas y de emisiones estacionarias, estimando las concentraciones en base a una distribución Gaussiana cuyos parámetros dependen de estas condiciones. En esencia, estos modelos asumen que las emisiones presentan una distribución normal o Gaussiana tanto en las direcciones horizontal como vertical, con una concentración máxima en el centro de la pluma. Aunque originalmente diseñados para evaluar la dispersión de contaminantes primarios no reactivos, algunos modelos Gaussianos han sido adaptados para incluir procesos de

deposición y transformación química. Generalmente, se utilizan para simular la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes puntuales, pero también pueden aplicarse a fuentes de área y de línea. Un ejemplo de modelo Gaussiano es AERMOD.

- Modelos Eulerianos: Los modelos Eulerianos están diseñados para abordar todos los procesos atmosféricos relacionados con la dispersión de contaminantes y su transformación química. Para ello, estos modelos convierten las leyes físicas y químicas relevantes en ecuaciones matemáticas, principalmente de tipo diferencial. Además, dividen el espacio en una malla tridimensional compuesta por puntos con un espaciado horizontal y vertical específico, lo que se conoce como resolución espacial de la malla. El modelo resuelve las ecuaciones matemáticas en cada uno de estos puntos a lo largo del tiempo, generando información sobre la evolución temporal de las concentraciones en las tres dimensiones de la malla. Los modelos Eulerianos varían en complejidad, desde aquellos que solo consideran la dispersión hasta los que incluyen todos los procesos fotoquímicos y de aerosoles. Ejemplos de modelos Eulerianos son WRF-Chem, CAMx y CMAQ.
- Modelos Lagrangeanos: Los modelos Lagrangeanos se basan en el seguimiento matemático del movimiento de una parcela de aire o partícula en la atmósfera, permitiendo calcular su desplazamiento en función de la velocidad y dirección del viento a lo largo de intervalos de tiempo finitos. A medida que la partícula se mueve, se integra su nueva posición en el espacio,

lo que permite generar una trayectoria que describe su recorrido en la atmósfera. Estos modelos se caracterizan por utilizar un sistema de referencia que se ajusta dinámicamente al movimiento atmosférico, lo que facilita el análisis de las emisiones, reacciones químicas, deposición y mezcla de contaminantes dentro de un volumen de aire que se desplaza según las condiciones del viento.

- Para estimar con precisión las concentraciones de contaminantes, los modelos Lagrangeanos requieren el cálculo de un gran número de trayectorias, a menudo del orden de millones, para simular la dispersión desde una fuente emisora. Aunque este enfoque es efectivo para modelar el transporte por advección (movimiento por viento) e incorporar procesos turbulentos en la atmósfera, presenta limitaciones significativas en la integración de procesos químicos complejos en comparación con los modelos Eulerianos.
- En Chile, no existe una amplia experiencia en el uso de modelos Lagrangeanos, y a nivel internacional, su aplicación con fines regulatorios es limitada, siendo utilizados en pocos países como Alemania. Aunque no se ha descartado su uso futuro en Chile, en la actualidad no se cuenta con suficientes antecedentes que justifiquen la recomendación de estos modelos para la evaluación de impactos ambientales. Un ejemplo de modelo Lagrangeano es AUSTAL.
- Modelos tipo Puff: Los modelos tipo puff son una combinación entre los modelos Gaussianos y los modelos Lagrangeanos, en el sentido de que

esencialmente calculan la dispersión de contaminantes provenientes de una emisión instantánea, llamada puff, a lo largo de una trayectoria. Su aproximación matemática consiste en estimar la dispersión en forma Gaussiana en cada punto de una trayectoria; es decir, a diferencia de los modelos Lagrangeanos que necesitan el cálculo de un gran número de trayectorias para una fuente, los modelos tipo puff solo requieren una trayectoria por puff, lo que hace su cálculo mucho más rápido. En el caso de emisiones continuas, se simulan las trayectorias y la dispersión Gaussiana de muchos puffs. Ejemplo de modelo tipo puff: CALPUFF (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

2.3.2 Datos de entrada

- Fuentes de emisión: Para un modelo de dispersión atmosférica, es crucial identificar y estimar las emisiones de todos los contaminantes relevantes, con especial énfasis en aquellos regulados por normativas ambientales. Las tasas de emisión deben ser las máximas esperadas y no promedios horarios, para representar adecuadamente las condiciones más desfavorables. Las tasas se pueden obtener de mediciones directas en la fuente, emisiones de referencia, modelos empíricos, factores de emisión o balances de masa, priorizando las opciones con menor incertidumbre.
- Dominio de modelación: El dominio de modelación se determina según la magnitud de las emisiones del proyecto y la presencia de receptores afectados. Puede ser necesario ajustarlo con base en una modelación preliminar para

identificar el Punto de Máximo Impacto (PMI) fuera del dominio inicial. El dominio debe abarcar todas las áreas de influencia de los objetos de protección afectados y debe ser mayor o igual, en extensión, al área de influencia de la calidad del aire.

- Datos meteorológicos: Para un modelo de dispersión atmosférica, se deben considerar los datos meteorológicos tanto observados como generados por modelos numéricos. Es recomendable utilizar datos meteorológicos observados del área de influencia del proyecto, pero si no están disponibles, se deben usar modelos numéricos como el WRF (Weather Research and Forecasting Model), que es un simulador avanzado mantenido por NCAR y NOAA.

Es importante seleccionar el año más desfavorable para la simulación, analizando los datos de al menos los tres años anteriores para asegurar que se consideren las condiciones más extremas. Los datos meteorológicos deben ser representativos y cubrir un período mínimo de un año para obtener resultados confiables. La resolución horizontal de la grilla debe ser suficiente para capturar los fenómenos meteorológicos relevantes, recomendándose al menos 50 celdas en cada dirección y el uso de dominios anidados con una resolución máxima de 1,0 km para obtener una modelación precisa (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

2.3.3 Modelación de olores

Los modelos de dispersión atmosférica son herramientas fundamentales para predecir y gestionar los impactos de olores provenientes de diferentes fuentes en

un proyecto. Estos modelos requieren conocer las tasas de emisión expresadas en OU_E/s , permitiendo obtener como resultado las concentraciones de olor en inmisión (OU_E/m^3) en puntos específicos dentro de la zona de estudio. Estos datos se pueden visualizar mediante líneas de isoconcentración o isodoras, que representan áreas con igual concentración de olor en un mapa. La aplicación de estos modelos no solo facilita la predicción de impactos odoríferos, sino también la estimación de la dispersión en áreas con topografía compleja, y la planificación de medidas preventivas y de control ante posibles contingencias que puedan afectar al medio ambiente o la población (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

2.3.4 Consideraciones para la modelación de olores

Del conjunto de factores que inciden en la modelación de la dispersión del olor o de sustancias olorosas se destacan la topografía, condiciones atmosféricas y tipo de fuente emisora.

- Topografía: La dispersión de los contaminantes atmosféricos y del olor dependen de la topografía alrededor de la fuente emisora y las condiciones atmosféricas. (Guo et al., 2001; Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).
- Condiciones Atmosféricas: Los principales parámetros para describir las condiciones atmosféricas son la temperatura, la capa de mezcla, la clase de estabilidad atmosférica, la velocidad y dirección de viento, la humedad relativa y la radiación solar (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

- Tipo de fuente emisora: El tipo y las características de la fuente emisora son cruciales para la dispersión del olor. En fuentes difusas que emiten cerca de la superficie, la dispersión es lenta y se limita a pocos metros, y la altura de la capa de mezcla tiene poca influencia. Por otro lado, en fuentes puntuales ubicadas a gran altura, la dispersión es más afectada por la altura de la capa de mezcla, y los parámetros de emisión suelen estar mejor controlados. En fuentes difusas, se deben hacer suposiciones sobre las condiciones de emisión, lo que requiere experiencia en modelación para obtener resultados precisos.

Es importante mencionar que cualquier modelo es una aproximación a la realidad, lo que implica que sus resultados están sujetos a incertidumbres. Estas incertidumbres se manifiestan como diferencias entre las estimaciones y las observaciones. Los errores pueden surgir tanto en la estimación de emisiones como en la modelación meteorológica. El análisis de incertidumbre tiene como objetivo evaluar la capacidad del modelo para representar una situación atmosférica específica, reconociendo que ningún modelo puede replicar la atmósfera con exactitud y que su desempeño depende del contexto particular. Dado que solo se pueden estimar errores en la meteorología, el análisis de incertidumbre debe centrarse en los errores de la meteorología en superficie y en altura, para asegurar que no se basen únicamente en los resultados de la modelación, sino también en la evaluación de la incertidumbre.

3 METODOLOGÍA

3.1 Objetivo específico N°1: Diagnóstico de la operación actual de la planta

3.1.1 Revisión bibliográfica de la planta

La revisión bibliográfica se basó en dos estudios de impacto odorante de la planta en estudio. El primero fue elaborado por la empresa ECOMETRIKA en 2016 y se encuentra disponible públicamente en la plataforma del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEA). El segundo corresponde a un estudio realizado en 2022 por la empresa Proterm S.A., especializada en el diagnóstico, control y monitoreo del impacto odorante en diversos procesos industriales.

Cabe destacar que se contó con la autorización de la planta en estudio para utilizar estos datos, tanto públicos como privados. Sin embargo, se solicitó no revelar detalles específicos sobre ella.

Ambos estudios de impacto odorante incluyeron diversas actividades orientadas a la caracterización, medición y cálculo de las emisiones de olor de las fuentes emisoras, tales como:

- Descripción del proceso productivo
- Caracterización de las fuentes emisoras
- Toma de muestra (NCh N°3386:2015)
- Análisis Olfatómico (NCh N°3190:2010)
- Medición de flujo (NCh N°3431:2020)
- Cálculo de Tasas de Emisión de Olor (TEO)

A partir de los dos estudios mencionados, se extrajo información clave para el diagnóstico de la operación actual de la planta, tales como:

- Concentración de olor (OU_E/m^3)
- Superficie expuesta a la atmósfera (m^2)
- Temperatura Salida ($^{\circ}C$)
- Velocidad de salida (m/s)
- Caudal / Flujo (m^3/s)⁵
- Régimen de operación (horas/año)
- Tasas de Emisión de olor (OU_E/s)⁶

A partir de la suma de las tasas de emisión de olor de las distintas fuentes, se calculó la TEO_{TOTAL} (Tasa de emisión de olor total) de la planta, valor al que se le aplicó una reducción del 70%, tal como lo establece la futura norma de emisión para el sector pesquero. Es decir, se obtuvo la tasa de emisión de olor en la que la planta debe reducir en un plazo de 4 años.

La norma establece que las plantas de harina y aceite de pescado pueden eximirse de reducir en un 70% su TEO_{TOTAL} en un plazo de 4 años, acreditando un impacto odorante máximo menor o igual a $5 OU_E/m^3$ P98. Para lo anterior, se realizó una

⁵ El flujo (m^3/s) de una fuente, se obtiene a partir de la velocidad de salida (m/s) y la superficie expuesta a la atmósfera (m^2).

⁶ La tasa de emisión de olor (OU_E/s) de una fuente, se obtiene a partir de la concentración de olor (OU_E/m^3) y el flujo (m^3/s).

modelación de dispersión de olor para evaluar a partir de la operación actual de la planta, cual es la concentración de inmisión de olor en los receptores. Dicha modelación se denominó “Escenario Actual”. Los receptores discretos se extrajeron de ambos estudios de impacto odorante.

3.1.2 Evaluación de la dispersión de las emisiones de olor “Escenario Actual”

Para evaluar la dispersión atmosférica de las emisiones de provenientes de las distintas fuentes, se realizaron las siguientes actividades.

3.1.2.1 Selección del modelo

Para seleccionar el modelo se consideró los lineamientos que establece la Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA, publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental el año 2012 y actualizada el año 2023.

Se consideró un modelo tipo Puff, el cual es una combinación entre los modelos Gaussiano y Lagrangiano, en el sentido que esencialmente calculan la dispersión de gases provenientes de una emisión instantánea, llamada “Puff”, a lo largo de una trayectoria. Su aproximación matemática consiste en estimar la dispersión en forma Gaussiana en cada punto de una trayectoria. Es decir, a diferencia de los modelos Lagrangianos que necesitan el cálculo de un gran número de trayectorias

para una fuente, los modelos tipo “Puff” sólo requieren una trayectoria por “Puff”, lo que hace su cálculo mucho más rápido⁷.

Para la modelación se utilizó el software Calpuff versión 7.2.1 junto a los módulos CALPOST 7.1.0. y CALRANK 7.0.0. Además, para efectos de la interacción gráfica de los módulos, se usó el software interactivo CALPUFF View 8.5.0.

3.1.2.2 Recopilación de antecedentes para la modelación

Para determinar la dispersión de los olores en un área específica, es fundamental incorporar en el modelo seleccionado una serie de parámetros que permitan que la simulación refleje lo más fielmente posible las condiciones reales. Las variables o entradas requeridas por el modelo se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla N° 3.1. Variables de entrada consideradas en la modelación.

Variables	Parámetros	Fuente
Meteorológicas	Dirección del viento (°)	Tal como lo establece la Guía para el uso de modelos de calidad del aire, el modelo numérico recomendado para la generación de datos meteorológicos es el WRF (Weather Research and Forecasting Model). Este modelo es uno de los simuladores meteorológicos de pronóstico más avanzados,
	Velocidad del viento (m/s)	
	Temperatura (°C)	
	Presión (Pa)	
	Precipitación (mm)	
Geofísicas	Elevación del terreno (msnm)	
	Uso de Suelo	

⁷ Guía para el uso de modelos de calidad del aire, 2012.

		completos y en constante mejora, mantenido por NCAR ⁸ /NOAA ⁹
Características de la fuente	Descripción del proceso	
	Ubicación de las fuentes (Coordenadas UTM)	Información extraída de Estudios de Impacto Odorante realizado por ECOMETRIKA el año 2016 y Proterm S.A. el año 2022.
	Periodo de operación (Horas/Año)	
	Emissiones de olor (OU _E /m ³)	
Receptores Discretos	Ubicación de los receptores (Coordenadas UTM)	Información extraída de Estudios de Impacto Odorante realizado por ECOMETRIKA el año 2016 y Proterm S.A. el año 2022.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

3.1.2.3 Evaluación de los resultados

De la modelación de “Escenario Actual” se obtuvo una pluma de dispersión de olor, que muestra las concentraciones de inmisión (OU_E/m³) en los distintos receptores discretos considerados, cabe mencionar que estos valores fueron truncados, tal como lo establece la futura norma.

Estos resultados de concentración de olor fueron comparados con el límite establecido en el Anteproyecto de Norma de Emisión de Olores para Plantas de

⁸ National Center for Atmospheric Research, por sus siglas en inglés.

⁹ National Oceanic and Atmospheric Administration, por sus siglas en inglés.

Harina y Aceite de Pescado y Plantas de Alimento para Peces, el cual en su artículo N°6, señala que el límite es de 5 OUE/m³ Percentil 98 en sus receptores.

3.2 Objetivo específico N°2: Identificación de tecnologías para reducir las emisiones

La futura norma de emisión posee un enfoque tecnológico, basado en la aplicación de las mejores técnicas disponibles (MTD) para reducir la emisión de olores en su origen. Estas MTD incluyen tecnologías de abatimiento.

Para identificar tecnologías que reduzcan las emisiones de olor en la planta, se inició con la detección de las fuentes de mayor impacto mediante un análisis de sensibilidad. Una vez determinadas las fuentes críticas, y a partir de una previa revisión bibliográfica sobre las mejores tecnologías disponibles, se identificaron dos tecnologías para la reducción de olores. Para esta revisión bibliográfica, se extrajo información de un estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente, titulado "Generación de antecedentes técnicos para la elaboración de la norma de emisión de olores para centros de cultivos y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos" del año 2021, además de la información disponible en el punto 2.1.4 del presente estudio "Tecnologías de Control de Olores". A continuación, se detallan los pasos mencionados.

3.2.1 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad para identificar las fuentes más críticas en términos de emisión de olores consistió en realizar una modelación fuente por fuente. Este

enfoque tuvo como objetivo descomponer las emisiones totales, evaluando cada fuente de manera individual para determinar cuál de ellas tiene el mayor impacto sobre la población aledaña. El procedimiento consiste en los siguientes pasos claves:

- Identificación de fuentes emisoras: Se identificaron todas las fuentes potenciales de emisión de olores dentro de la planta, considerando las características específicas de cada una.
- Modelación individual de cada fuente
- Análisis de Sensibilidad: Se compararon los resultados de la modelación para identificar cual fuente contribuye más a superar el límite de emisión establecido.
- Interpretación de resultados: Las fuentes que presentaron mayores concentraciones de olor en los receptores discretos se identificaron como las fuentes más críticas.

3.2.2 Identificación de tecnologías

Una vez determinadas las fuentes críticas, se realizó una revisión bibliográfica enfocada en la identificación de tecnologías de control de olores aplicables al sector pesquero. Dicha revisión incluyó un análisis detallado de las características técnicas de cada tecnología, sus ventajas y desventajas, así como su efectividad en la reducción de emisiones de olores, expresada en términos de porcentajes de reducción. Además, se recopiló información sobre proveedores especializados en

la fabricación y suministro de estos equipos, con el objetivo de garantizar alternativas viables para su implementación.

A partir de este análisis, se identificaron dos tecnologías específicas para las fuentes críticas.

3.3 Objetivo específico N°3: Selección de tecnología

Esta selección se realizó utilizando los resultados obtenidos en las etapas previas, incluyendo el análisis de sensibilidad, que permitió identificar las fuentes emisoras más críticas, la revisión bibliográfica, que aportó información detallada sobre las características, ventajas y desventajas de las mejores tecnologías disponibles, ofreciendo una visión práctica sobre la efectividad y aplicabilidad de dichas tecnologías en la industria pesquera.

Para la selección de tecnologías se utilizaron 3 criterios:

- 1.- Eficiencia de reducción de olores, es decir, la capacidad de la tecnología para disminuir las concentraciones de compuestos odorantes.
- 2.- Compatibilidad con el proceso, evaluando si la tecnología puede integrarse de acuerdo con el proceso y características de la planta, incluyendo la capacidad para procesar el flujo y concentraciones de olor generadas. Esto es crucial, ya que algunas tecnologías pueden no ser tan efectivas o sostenibles si el flujo o las concentraciones de olor son muy elevadas.

3.- Impacto ambiental secundario, analizando posibles efectos adversos generados por la tecnología, como la producción de residuos adicionales, emisiones de gases de efecto invernadero o el consumo elevado de agua y energía.

3.4 Objetivo específico N°4: Evaluar la efectividad de la tecnología seleccionada

Para comprobar la efectividad de la tecnología seleccionada, se aplicó el porcentaje de reducción en la salida de las fuentes críticas, es decir, se incorporó la tecnología después de la fuente. Por lo que se obtuvo una nueva emisión (Salida de la tecnología), la que se expresa en un balance de gases, especificando características como temperatura, concentraciones, flujo y emisión, antes y después de la tecnología.

Posteriormente, la emisión de la salida de la tecnología se sumó con las demás fuentes de la planta, por lo que se obtuvo una TEO_{TOTAL} del nuevo escenario, del cual se calculó el porcentaje de reducción establecido en la norma del 70% para dicho escenario.

Luego, se llevó a cabo una modelación en la que se sustituyó la emisión de la fuente a controlar por la nueva emisión resultante de la tecnología seleccionada. El objetivo fue evaluar la dispersión de olores en el nuevo escenario con la tecnología aplicada y, de este modo, determinar la reducción en la concentración de inmisión en los receptores considerados.

Finalmente, se realizó una comparación entre las emisiones y concentración en los receptores para el “Escenario Actual” y los “Escenarios Futuros”.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Objetivo específico N°1: Diagnóstico de la operación actual de la planta

A continuación, se presentan los principales resultados de la revisión bibliográfica realizada de ambos estudios de impacto odorante realizado en 2016 por ECOMETRIKA y 2022 por Proterm.

4.1.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a una planta procesadora de harina y aceite de pescado ubicada en Chile, dedicada a la elaboración y comercialización de productos destinados al consumo humano y subproductos para el sector industrial. La planta produce diversos productos, tales como conservas, productos congelados, harina y aceite de pescado, que son fundamentales para abastecer tanto el mercado interno como a mercados internacionales. El aceite se extrae de especies como jurel, caballa, sardina y anchoveta, mientras que la harina se elabora a partir del procesamiento de jurel, sardina, anchoa y jibia.

En la siguiente figura se presenta el polígono representativo de la planta.

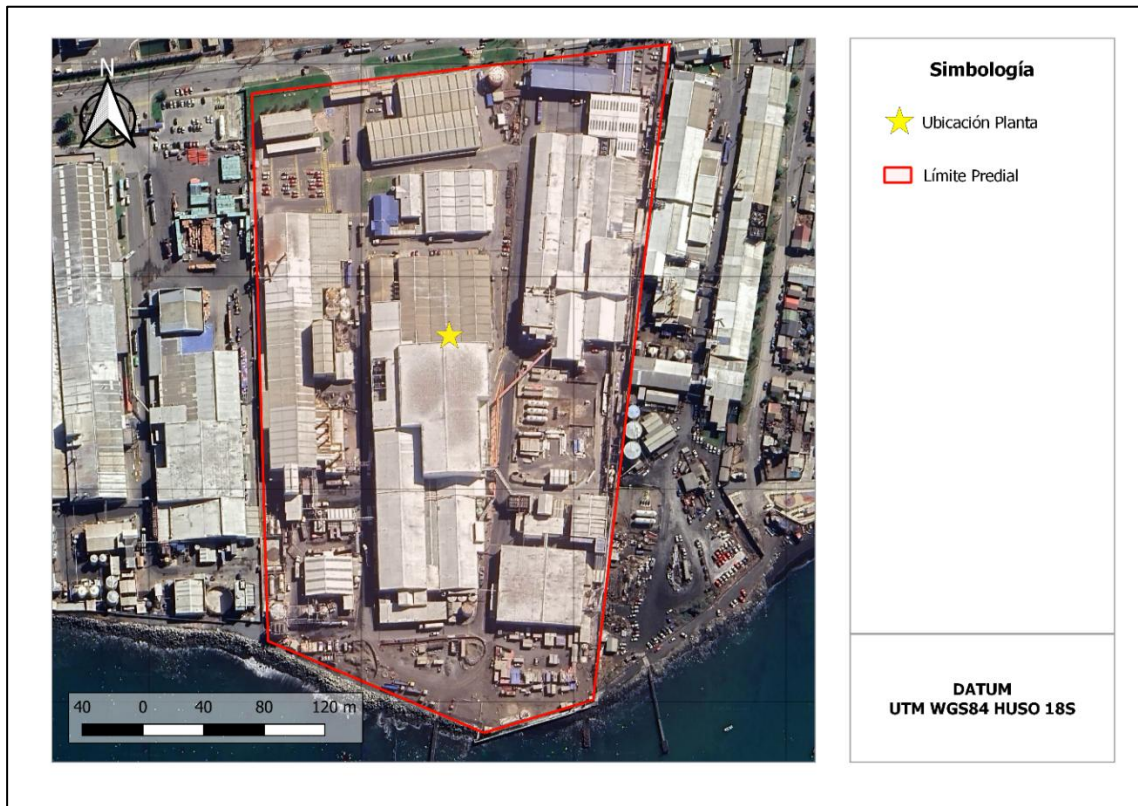


Figura N° 4.1 Polígono representativo de la planta¹⁰.

Fuente: Elaboración Propia.

¹⁰ La planta en estudio solicitó no revelar detalles específicos de ella, por lo que no se pueden observar coordenadas geográficas.

4.1.2 Descripción del proceso productivo

La siguiente figura ilustra el proceso de elaboración de Harina y Aceite de pescado.

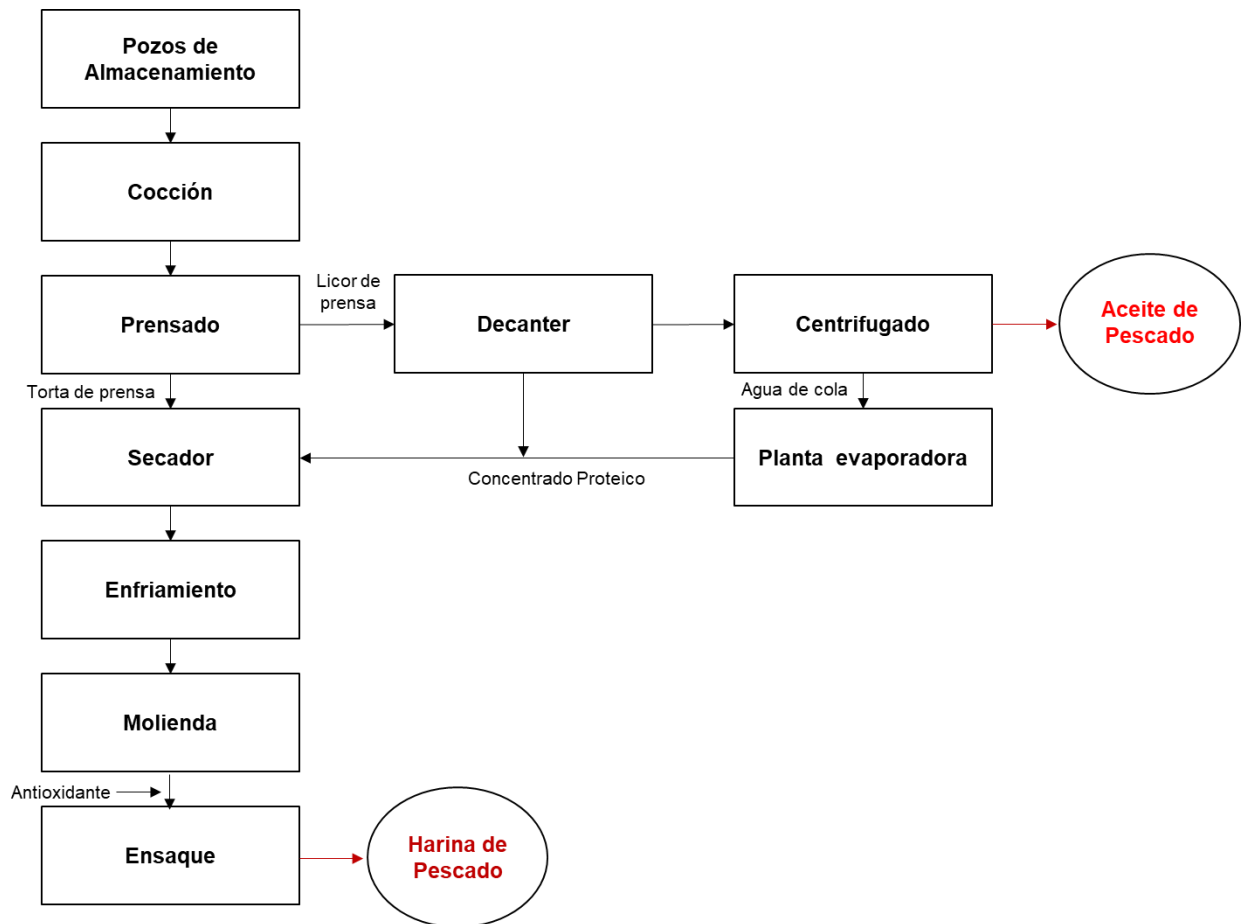


Figura N° 4.2 Proceso productivo planta de harina y aceite de pescado.

Fuente: Elaboración Propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante base.

Pozos de almacenamiento: La planta de harina y aceite de pescado cuenta con ocho pozos de acero inoxidable con capacidad total de 1.600 toneladas, diseñados para facilitar el movimiento y limpieza de la pesca gracias a una pendiente interna y tornillos sin fin. Según la especie, la pesca se traslada con agua dentro de los

pozos y luego es impulsada por rastras hacia los cocedores, donde inicia su procesamiento.

Cocción: La cocción es una etapa clave del proceso donde el pescado se somete a una temperatura de 98 °C en tres cocedores, lo que permite desnaturalizar las proteínas y separar agua, aceite y sólidos. Este tratamiento térmico facilita las etapas posteriores de prensado y molienda.

Prensado: Una vez cocida la pesca, ésta es ingresada a las prensas (una por cada cocedor), previo pre-estruje para optimizar la eficiencia del prensado, desde donde se obtienen dos fases: la fase sólida (torta de prensa) y la fase líquida llamada licor de prensa.

Secado y Enfriamiento: Al proceso de secado entra la torta de prensa obtenida del proceso de prensado para secado y enfriamiento obteniendo como resultado harina de pescado.

Molienda y Ensaque: Este proceso consiste en la molienda de la harina de pescado que sale del proceso de secado, con el objeto de desagregarla y generar la consistencia adecuada para este producto y sus usos posteriores. Posterior a la molienda se realiza la adición de antioxidantes y finalmente el ensacado del producto final.

Decanter: Los decantadores reciben el licor de prensa generado en la etapa de prensado para separar los sólidos decantables del líquido, conocido como licor de decanter, que luego será centrifugado.

Centrifuga: El centrifugado separa el agua del aceite presente en el licor de decanter. El agua resultante, conocida como agua de cola, se dirige a estanques de almacenamiento antes de ser procesada en una planta evaporadora de tipo film descendente, optimizando su manejo y disposición.

4.1.3 Fuentes de emisión de olor

A continuación, se describen las fuentes generadoras de olor de la planta en estudio.

Galpón DAF: El Galpón DAF separa sólidos suspendidos en bajas concentraciones de líquidos mediante aire, floculantes y coagulantes. En plantas pesqueras, los RILes altamente proteicos y grasos se tratan formando cúmulos que, al adherirse a burbujas de aire, flotan y son retirados.

Trómeles Externos: Los trómeles externos son tambores rotatorios con mallas que filtran el agua de descarga de pesca. Este proceso separa los sólidos, como escamas y partículas de pescado, que luego son procesados, mientras que el agua filtrada se envía a los riles DAF para su tratamiento.

Piscina Bajo Trómeles: Receptores del agua filtrada por los trómeles.

Contenedor de Lodos y de Escamas: En esta zona se almacenan los lodos y escamas que se producen durante el pretratamiento de los RILes, utilizando tres contenedores de 15 m³.

Pozo Recepción Pesca: Lugar de descarga de la pesca.

Trómel 1 y 2 – Separador de sólidos sobre ecualizador – Línea Harina y Conserva:

El RIL es bombeado desde un estanque ecualizador de 690 m³ a dos estanques ecualizadores de 253 m³ cada uno, pasando previamente por tambores rotatorios retenedores de sólidos. Los sólidos retenidos en los tambores son recuperados y enviados a sitios de disposición final autorizados. Los estanques están equipados con un sistema de aireación que homogeneiza la carga y crea un ambiente aeróbico en el RIL.

Celosía Galpón Planta de Harina: Consiste en ventanas ubicadas en la cumbrera de la nave de proceso, diseñadas para liberar el calor generado durante las operaciones de producción.

Scrubber Enfriador Molino: Equipo rotatorio para disminuir la temperatura de la harina que sale de los rotatubos. Funciona con aire a contracorriente.

Chimenea Caldera N°1: Ducto de salida de gases de la combustión del galpón planta de harina.

En la siguiente figura se puede observar las distintas fuentes de la planta en estudio.

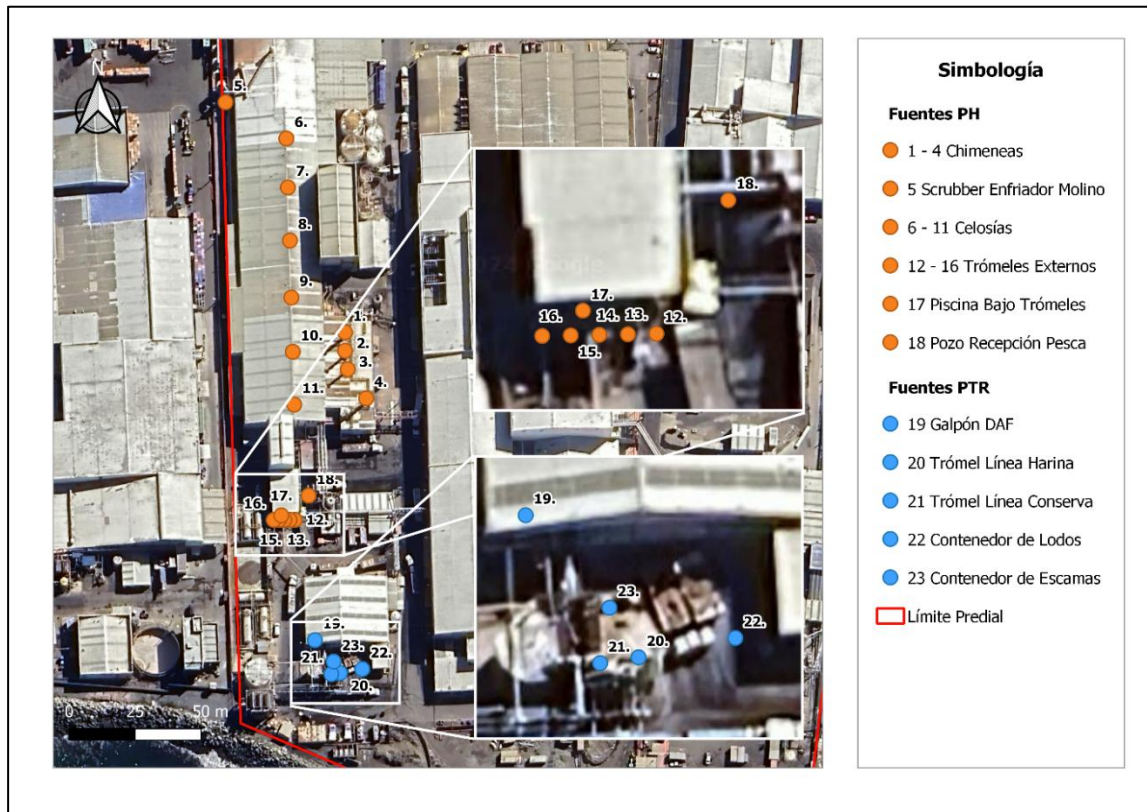


Figura N° 4.3 Fuentes.

Fuente: Elaboración Propia con información extraída de Estudios de Impacto Olorante base.

A continuación, en la siguiente tabla se mencionan las fuentes consideradas en el estudio.

Tabla N° 4.1. Fuentes de emisión.

Sector	Fuente	Tipo de Fuente
Planta de Harina	Chimenea Caldera N°1	Activa Puntual
	Chimenea Caldera N°2	
	Chimenea Caldera N°3	
	Chimenea Caldera N°4	
	Scrubber Enfriador Molino	

	Celosías	
	Trómeles Externos	Volumen
	Piscina Bajo Trómeles	
	Pozo Recepción Pesca	Área pasiva
	Galpón DAF	
	Trómel Línea Conserva	Volumen
	Trómel Línea Harina	
Planta de Tratamiento de RILes	Contenedor de Lodos	
	Contenedor de Escamas	Área pasiva

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante base.

La planta de harina y tratamiento de RILes operan de manera discontinuada a lo largo del año, lo que quiere decir, es que sus emisiones no son constantes durante los doce meses del año. A continuación, se presenta una figura que ilustra el régimen de operación de la planta de harina y de tratamiento de RILes.

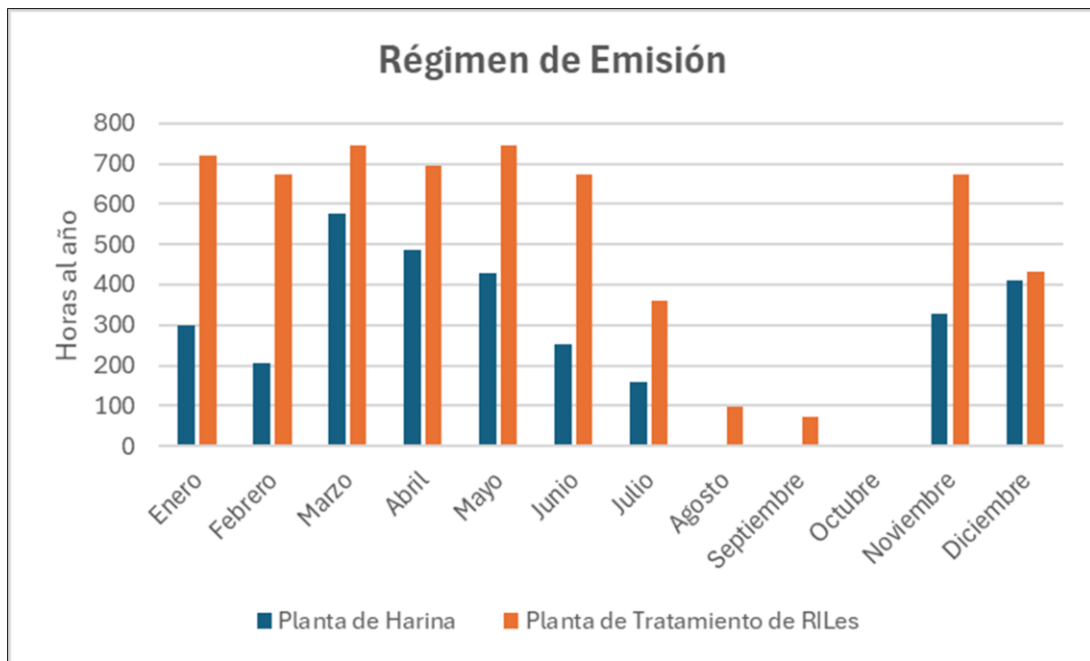


Figura N° 4.4 Régimen de emisión.

Fuente: Elaboración Propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante base.

Como se puede observar, la planta de harina registró su mayor número de horas de operación en el mes de marzo, con 575 horas, mientras que durante los meses de agosto, septiembre y octubre la planta no estuvo en funcionamiento. En cuanto a la planta de tratamiento de RILes, los meses con mayor actividad fueron enero, marzo y mayo, mientras que en octubre no se registró operación.

Según los estudios de impacto odorante realizados para la planta en cuestión, cada fuente presenta una tasa de emisión de olor específica, expresada en OUE/s. A continuación, se presenta una tabla con las fuentes y sus respectivas tasas de emisión.

Tabla N° 4.2. Tasas de emisión de fuentes – Escenario Actual.

Fuente	Emisión de olor (OU_E/s)
Chimenea Caldera N°1	1.422
Chimenea Caldera N°2	1.422
Chimenea Caldera N°3	1.422
Chimenea Caldera N°4	1.422
Scrubber Enfriador Molino	118.676
Celosías	81.798
Trómeles Externos	4.690
Piscina Bajo Trómeles	2.817
Pozo Recepción Pesca	65
Galpón DAF	5.059
Trómel Línea Conserva	633
Trómel Línea Harina	469
Contenedor de Lodos	554
Contenedor de Escamas	1.079
TEO_{TOTAL}	221.528

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Olorante base.

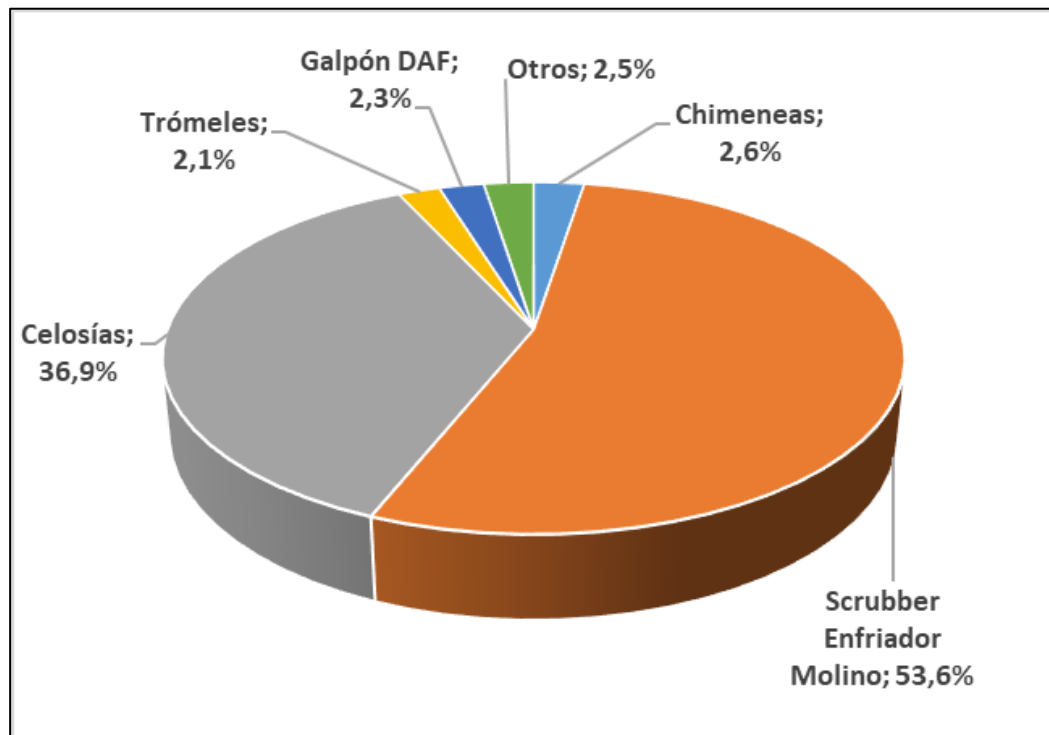


Figura N° 4.5 Distribución de emisiones.

Fuente: Elaboración Propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante base.

Las fuentes con mayores emisiones corresponden al "Scrubber Enfriador Molino", con 118.676 OUE/s, lo que representa el 53,6% del total de las emisiones de la planta. Luego, se encuentran las "Celosías", con 81.798 OUE/s, lo que equivale al 36,9% de las emisiones totales de la planta.

La tasa de emisión de olor total (TEO_{TOTAL}) de la planta equivale a 221.528 OUE/s, es decir, para que la planta pueda cumplir con lo establecido en la futura norma de emisión para el sector pesquero, esta debe reducir en un 70% su TEO_{TOTAL} , lo que equivale a disminuir a 66.458 OUE/s.

Tabla N° 4.3. Tasas de emisión de olor total – Escenario Actual.

TEO_{TOTAL}	221.528 OU _E /s
TEO reducida en un 70%	66.458 OU _E /s

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Modelación de la dispersión atmosférica “Escenario Actual”

Si la planta desea eximirse de la reducción del 70%, debe disminuir su TEO_{TOTAL}, hasta cumplir con un impacto odorante máximo menor o igual a 5 OU_E/m³. Para lo anterior, se realizó una modelación de dispersión de olor siguiendo los lineamientos que establece la Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA, con la finalidad de determinar la concentración de inmisión en los receptores.

A continuación, en la siguiente figura se pueden observar los distintos receptores considerados en los estudios de impacto odorante base.



Figura N° 4.6 Receptores discretos.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Olorante base.

En la siguiente tabla, se puede observar la distancia de cada receptor con respecto al límite predial de la planta en estudio.

Tabla N° 4.4. Receptores discretos – Distancia con respecto a la planta.

Receptor	Distancia con respecto a la planta (m)
R1	1.028
R2	72
R3	409
R4	367
R5	1.812
R6	1.435
R7	1.456

R8	2.380
R9	254
R10	1.220
R11	1.209
R12	947
R13	638

Fuente: Elaboración Propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante base.

En la figura a continuación, se muestra la dispersión de emisiones odorantes desde la planta en estudio. La imagen presenta las máximas concentraciones de olor en las zonas aledañas a la planta.

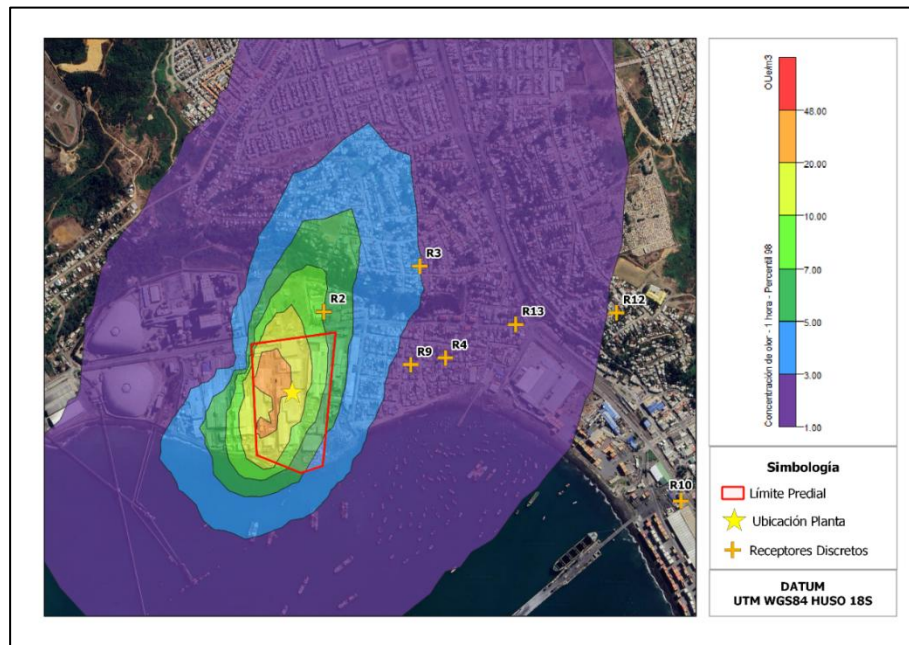


Figura N° 4.7 Mapa de concentración de olor generado por las fuentes de emisión.

Fuente: Elaboración Propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante base.

De la figura anterior, se puede observar que las isodoras pueden alcanzar valores entre 1 a 48 OU_E/m^3 . Fuera de los límites de la planta, las isodoras trazan valores entre 1 a 10 OU_E/m^3 .

En la siguiente tabla se puede observar la concentración de inmisión de olor para cada uno de los receptores considerados, además, estos valores se truncan, tal como lo establece la futura norma de emisión.

Tabla N° 4.5. Receptores discretos – Concentración de Inmisión.

Receptor	Concentración de inmisión (OU_E/m^3)	Concentración de inmisión truncada (OU_E/m^3)
R1	0,42	0
R2	6,97	6
R3	2,98	2
R4	2,15	2
R5	0,34	0
R6	0,51	0
R7	0,47	0
R8	0,32	0
R9	2,59	2
R10	0,62	0
R11	0,35	0
R12	0,95	0
R13	1,64	1

Fuente: Elaboración Propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante base.

Como se puede observar los receptores con mayor impacto corresponden al R2, R3 y R9, de los cuales solo el R2, se encuentra superando el límite de 5 OUE/m³ establecido por la futura norma de emisión para el sector pesquero para eximirse de la reducción de olor en un 70%. Es decir, si la futura norma, comenzara a regir hoy, la planta deberá reducir su TEO_{TOTAL} en un 70%.

4.2 Objetivo específico N° 2: Identificación de tecnologías para reducir las emisiones

4.2.1 Análisis de sensibilidad

De la modelación fuente por fuente, se obtuvieron los siguientes resultados en los distintos receptores.

Tabla N° 4.6. Análisis de sensibilidad.

Receptor	Planta de Harina						Planta de Tratamiento de RILes				
	Chimeneas	Scrubber Enfriador Molino	Celosías	Trómeles Externos	Piscina Bajo Trómel	Pozo Recepción Pesca	Galpón DAF	Trómel Línea Conserva	Trómel Línea Harina	Contenedor de Lodos	Contenedor de Escamas
R1	0,00	0,15	0,12	0,02	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02
R2	0,07	3,09	2,97	0,31	0,35	0,01	0,65	0,05	0,04	0,16	0,34
R3	0,03	1,22	1,10	0,13	0,11	0,00	0,39	0,03	0,03	0,07	0,14
R4	0,02	0,75	0,68	0,11	0,13	0,00	0,34	0,02	0,02	0,09	0,18
R5	0,00	0,17	0,13	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
R6	0,01	0,22	0,20	0,02	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01
R7	0,01	0,22	0,17	0,02	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01
R8	0,00	0,15	0,13	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
R9	0,03	0,99	0,85	0,14	0,19	0,00	0,39	0,03	0,02	0,11	0,23
R10	0,01	0,26	0,24	0,02	0,02	0,00	0,06	0,01	0,00	0,01	0,02

R11	0,00	0,14	0,12	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
R12	0,01	0,38	0,38	0,04	0,03	0,00	0,10	0,01	0,01	0,01	0,03
R13	0,02	0,51	0,54	0,07	0,07	0,00	0,23	0,02	0,01	0,04	0,09

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, las fuentes con mayor impacto sobre los receptores evaluados, identificadas como críticas, son el “Scrubber Enfriador Molino” y las “Celosías”, afectando principalmente a los receptores R2 y R3. En el caso del Receptor 2, se registraron concentraciones máximas de inmisión de olor de 3,09 OUE/m³ para el “Scrubber Enfriador Molino” y 2,97 OUE/m³ para las “Celosías”. Por lo tanto, las medidas destinadas a reducir la TEO_{TOTAL} se diseñarán de manera específica para mitigar las emisiones provenientes de estas fuentes críticas.

4.2.2 Identificación de tecnologías

A partir de una revisión bibliográfica de las distintas tecnologías para la eliminación de olores, se identifican dos tecnologías, las que se mencionan a continuación.

4.2.2.1 Tecnología 1: Oxidación Fotovoltaica (UV)

La corriente de gases residuales se conduce a través de una cámara de reacción donde es irradiada con ondas UV en el rango de 100–280 nm. Esta radiación desencadena la descomposición de compuestos no deseados mediante dos mecanismos principales:

- Fotólisis directa: Compuestos como COV, NH₃, H₂S y aminas se descomponen directamente bajo la acción de la radiación UV.
- Oxidación por radicales reactivos de oxígeno: Los radicales de oxígeno altamente reactivos generados en la cámara oxidan tanto los compuestos que no pueden descomponerse por fotólisis directa como los productos intermedios resultantes de este proceso.

Aparte de las lámparas UV utilizadas, las cuales tienen una vida útil estimada de unas 8.000 horas, el proceso no genera residuos. El consumo energético se sitúa en el rango de 0,3–1,5 kWh por cada 1.000 Nm³ tratados.

La fotooxidación es especialmente adecuada para procesos discontinuos con concentraciones de disolventes más bajas, de hasta un máximo de 500 mg/Nm³. Este proceso alcanza su rendimiento de eliminación en estado estacionario casi de

forma inmediata, sin costos adicionales de puesta en marcha ni desventajas frente a la operación continua.

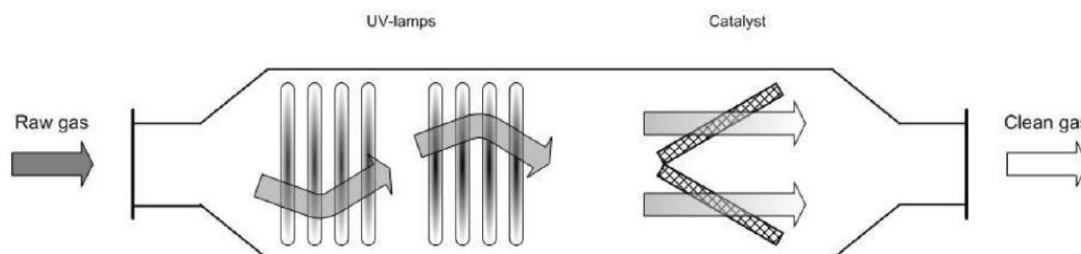


Figura N° 4.8 Oxidación Fotoelectrolítica (UV).

Fuente: (Capelli et al., 2019).

Uno de los equipos que emplea esta tecnología es el sistema JIMCO. El equipo JIMCO utiliza una cámara de reacción donde los gases residuales se irradian con ondas UV, promoviendo la descomposición de compuestos no deseados, tal como se describe en el proceso de fotooxidación. Este sistema es especialmente eficiente en aplicaciones donde se manejan concentraciones moderadas de contaminantes y donde la operación discontinuada es común.

Tabla N° 4.7. Características equipo JIMCO.

País	Dinamarca
Representante en Chile	Sí (PROSEIN) ¹¹
Eficiencia (%)	80 – 98
Caudal (m ³ /s)	0,56 - 16

¹¹ Empresa enfocada en innovación en tecnologías medioambientales. <https://www.prosein.cl/>

Concentración de olor (OU_E/m³)	500 – 10.000
Temperatura (°C)	< 60
Peso (Kg)	13.200

Fuente: Elaboración propia con información extraída de (GEMAT, n.d.).

4.2.2.1 Tecnología 2: Ionización (Plasma No Térmico)

La ionización o plasma frío directo es una tecnología en la que el aire o gas entrante se introduce en una cámara de reacción, donde se somete a un campo eléctrico muy fuerte (20–30 kV) generado por electrodos. Este campo provoca la formación de iones, electrones libres, radicales y otras partículas altamente reactivas, sin que se produzca un aumento significativo de la temperatura. Las partículas más activas en este proceso son los radicales de nitrógeno (N), oxígeno (O) y los radicales hidroxilos (OH), que se generan a partir del nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y agua (H₂O) presentes en el aire.

Estos compuestos reactivos desencadenan la descomposición y oxidación parcial de los contaminantes presentes en el gas, incluyendo sustancias químicas orgánicas. En aplicaciones específicas, como la inyección de aire ionizado, también se produce una modificación de las moléculas de olor, logrando una eliminación parcial de la carga orgánica en el flujo de gas tratado.

La descomposición de los compuestos orgánicos volátiles (COV) mediante ionización puede generar subproductos como CO₂, H₂O₂, CO, NO_x, entre otros.

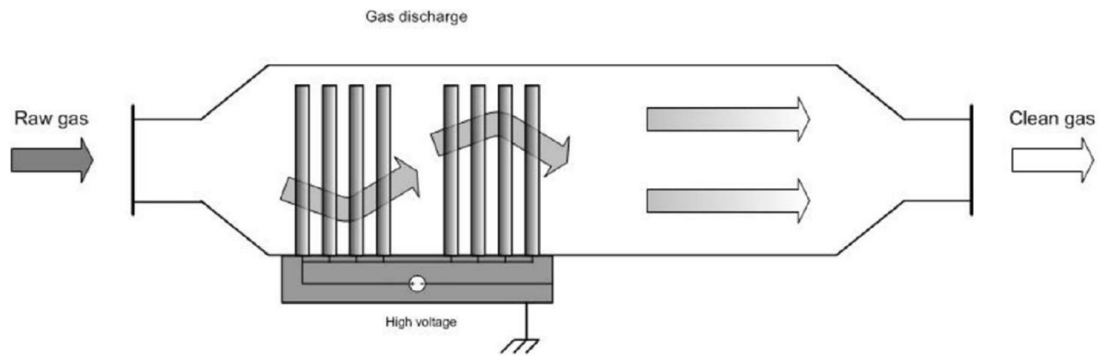


Figura N° 4.9 Ionización (Plasma No Térmico).

Fuente: (Capelli et al., 2019)

Uno de los equipos que utiliza esta tecnología es el sistema AEROX, diseñado específicamente para la eliminación de contaminantes gaseosos mediante ionización. Este equipo es particularmente útil en procesos industriales donde se generan flujos de gases residuales que necesitan ser purificados de manera efectiva y sin aumentar excesivamente la temperatura.

Tabla N° 4.8. Características equipo AEROX.

País	Países Bajos
Representante en Chile	No
Eficiencia (%)	80 – 98
Caudal (m³/s)	0,005 - 55
Concentración de olor (OU_E/m³)	5.000 – 100.000
Temperatura (°C)	20 - 80
Peso (Kg)	2.820

Fuente: Elaboración propia con información extraída de (AEROX Leading in Odour Control)

4.3 Objetivo específico N°3: Selección de tecnología para el control de olores

En la siguiente tabla se realiza una comparación entre ambas tecnologías, para seleccionar la tecnología adecuada para reducir las emisiones odorantes de la planta.

Tabla N° 4.9. Comparación de tecnologías.

Equipo	JIMCO	AEROX
Pais	Dinamarca	Países Bajos
Representante en Chile	Sí (PROSEIN) ¹²	No

¹² Empresa enfocada en innovación en tecnologías medioambientales. <https://www.prosein.cl/>

Eficiencia (%)	80 – 98	80 – 98
Caudal (m³/s)	0,56 - 16	0,005 - 55
Concentración de olor (OU_E/m³)	500 – 10.000	5.000 – 100.000
Temperatura (°C)	< 60	20 - 80
Peso (Kg)	13.200	2.820

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los 3 criterios utilizados para la selección de tecnologías, se determina que:

1.- No se identifican diferencias significativas en los porcentajes de eficiencia entre los equipos evaluados, ya que ambos poseen el mismo rendimiento en la eliminación de olores.

2.- Con respecto a la compatibilidad con el proceso, el equipo AEROX demuestra una mayor flexibilidad y menores limitaciones en comparación con el equipo JIMCO. Esto se refleja en varios aspectos operativos:

- El rango de caudal de gas procesable por el AEROX es considerablemente más amplio, variando de 0,005 a 55 m³/s, mientras que el JIMCO maneja un rango más limitado de 0,56 a 16 m³/s.
- En cuanto a la concentración de olor, el AEROX puede tratar un rango de 5.000 a 100.000 OU_E/m³, superando significativamente al JIMCO, que abarca concentraciones de 500 a 10.000 OU_E/m³.

- El peso del equipo AEROX es notablemente menor al del JIMCO, lo que no solo facilita su transporte e instalación, sino que también lo convierte en una opción más versátil y adecuada para instalaciones con restricciones de espacio.

En conclusión, aunque ambos equipos ofrecen una eficiencia similar en la reducción de olores, el equipo **AEROX** se destaca por su mayor compatibilidad con diferentes procesos y su capacidad para manejar flujos y concentraciones de olor más amplias, con ventajas adicionales como un diseño más liviano y flexible.

4.4 Objetivo específico N°4: Evaluar la efectividad de la tecnología seleccionada

El equipo seleccionado para este estudio es el AEROX, que emplea la tecnología de Ionización o Plasma No Térmico. Esta tecnología cuenta con una eficiencia que oscila entre el 80% y el 98% en la reducción de olores. No obstante, para el análisis se consideró la condición más desfavorable, asumiendo una eficiencia del 80%.

La efectividad de la tecnología seleccionada se evaluará mediante dos escenarios futuros, aplicándola en las fuentes críticas, de acuerdo con el análisis de sensibilidad descrito en el punto 4.2.1.

El primer escenario considera aplicar la tecnología exclusivamente en el Scrubber Enfriador Molino, mientras que el segundo escenario considera reducir las emisiones tanto del Scrubber Enfriador Molino, como de las Celosías.

4.4.1 Escenario Futuro 1

En este escenario se aplica el equipo AEROX en la salida del Scrubber Enfriador Molino, de la siguiente manera:

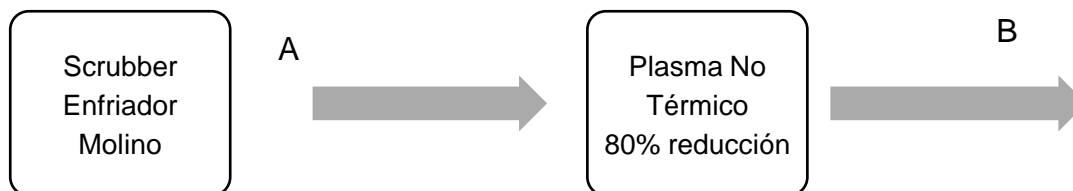


Figura N° 4.10 Esquema Escenario Futuro 1.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se puede observar las características del gas antes y después de la tecnología seleccionada.

Tabla N° 4.10. Balance de gases – Escenario Futuro 1.

Parámetro	A	B
Concentración (OU _E /m ³)	14.298	2.860
Flujo (m ³ /s)	8,3	8,3
Emisión (OU _E /s)	118.673	23.735
Temperatura (°C)	27	27

Fuente: Elaboración propia con información extraída de los Estudios de Impacto Odorante base.

Con la tecnología del Plasma No Térmico la emisión del Scrubber Enfriador Molino reduce de 118.673 a 23.735 OU_E/s. En la siguiente tabla y figura, se presentan las tasas de emisión para el Escenario Futuro 1 comparándolas con el Escenario Actual.

Tabla N° 4.11. Tasas de emisión – Escenario Futuro 1.

Fuente	Escenario Actual (OUÉ/s)	Escenario Futuro 1 (OUÉ/s)
Scrubber Enfriador Molino	118.676	-
Plasma No Térmico	-	23.735
Celosías	81.798	81.798
Otras fuentes	21.054	21.054
TEO_{TOTAL}	221.528	126.587

Fuente: Elaboración propia con información extraída de los Estudios de Impacto Odorante base.

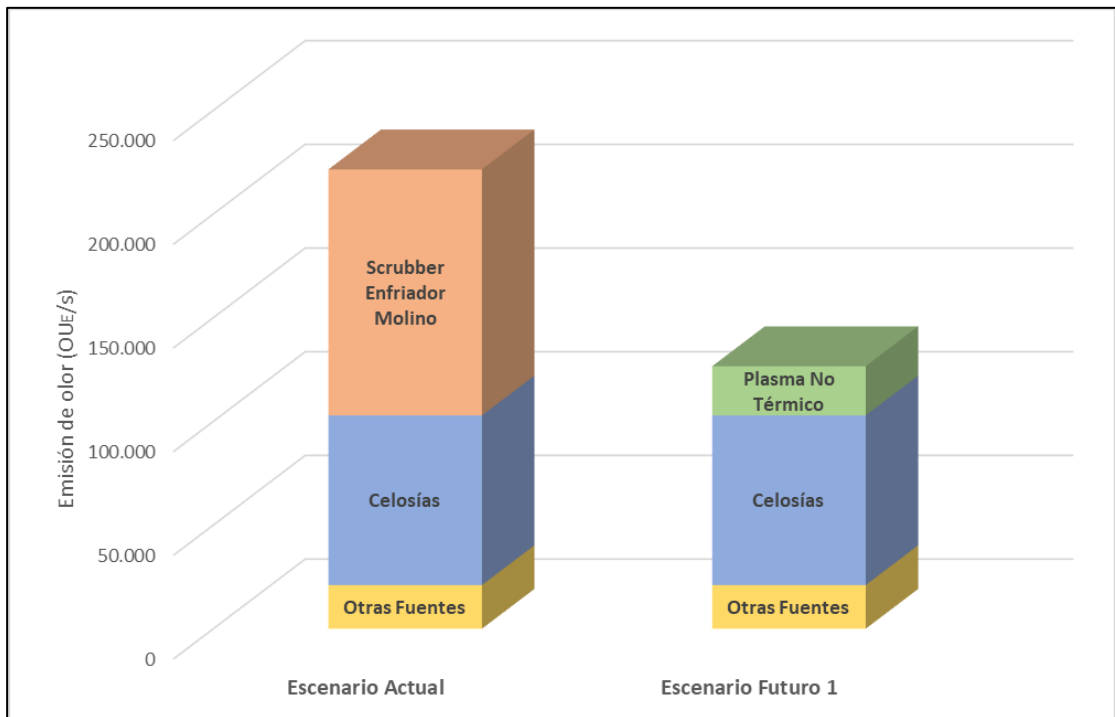


Figura N° 4.11 Tasas de emisión – Escenario Futuro 1.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar la TEO_{TOTAL} , para el Escenario Futuro 1, reduce de 221.528 a 126.587 OU_E/s , lo que equivale a un 43% de reducción. Es decir, la planta no cumple con la reducción del 70% establecido en la futura norma de emisión. Por lo anterior, se realizará una modelación para el Escenario Futuro 1, para evaluar la concentración de inmisión de olor en los receptores considerados.

En la siguiente figura, se muestra la dispersión de emisiones odorantes con la tecnología de reducción implementada, es decir, todas las fuentes consideradas en el escenario actual, anulando la emisión de la Salida Enfriador Scrubber e incorporando la emisión de la Salida del Plasma No Térmico (23.735 OU_E/s).

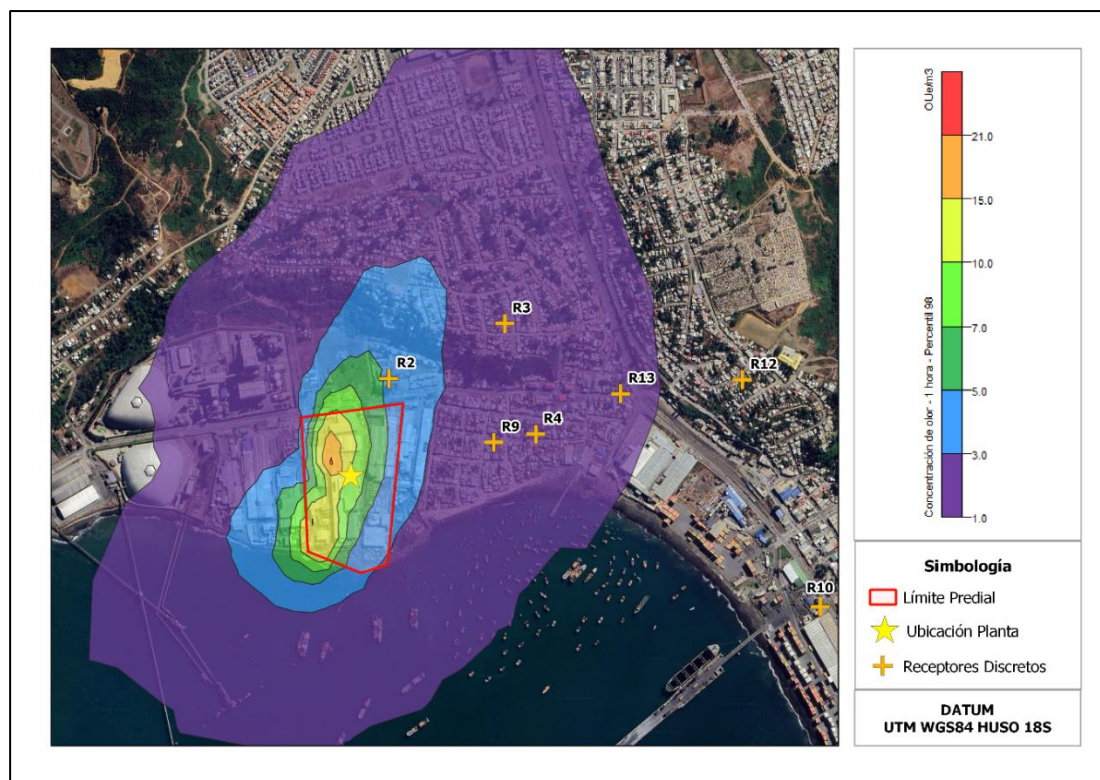


Figura N° 4.12 Mapa de concentración de olor – Escenario Futuro 1.

Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior, se puede observar que las isodoras pueden alcanzar valores entre 1 a 21 OU_E/m^3 . Fuera de los límites de la planta, las isodoras trazan valores entre 1 a 10 OU_E/m^3 .

En la siguiente tabla se puede observar la concentración de inmisión de olor para cada uno de los receptores considerados, además, estos valores se truncan, tal como lo establece la futura norma de emisión.

Tabla N° 4.12. Resultados receptores discretos – Escenario Futuro 1.

Receptor	Concentración de inmisión (OU_E/m^3)	Concentración de inmisión truncada (OU_E/m^3)
R1	0,27	0
R2	4,62	4
R3	2,10	2
R4	1,63	1
R5	0,20	0
R6	0,34	0
R7	0,31	0
R8	0,19	0
R9	2,02	2
R10	0,42	0
R11	0,21	0
R12	0,65	0
R13	1,19	1

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar los receptores con mayor impacto corresponden al R2 (4 OU_E/m^3), R3 (2 OU_E/m^3) y R9 (2 OU_E/m^3), de los cuales ninguno se encuentra superando el límite 5 OU_E/m^3 establecido por la futura norma de emisión para el sector pesquero para eximirse de la reducción de olor en un 70%. Es decir, aplicando la tecnología del Plasma No Térmico en la Salida del Scrubber Enfriador Molino la planta se eximiría de reducir su $\text{TEO}_{\text{TOTAL}}$ en un 70%.

4.4.2 Escenario Futuro 2

En este escenario se aplica el equipo AEROX en la Salida del Scrubber Enfriador Molino y de las Celosías.

Las Celosías del Galpón de Harina son una fuente de volumen¹³, por lo que se necesitaría canalizar sus emisiones hacia un único ducto para su adecuada captación. Por ello, la solución propuesta implica recolectar las emisiones directamente desde las fuentes ubicadas dentro del galpón.

De acuerdo con los estudios de impacto odorante base, en el interior del galpón se identifican 10 fuentes emisoras, como trómeles internos, pozos, cocedores, prensas, secadores, entre otros. Para capturar eficientemente las emisiones de estas fuentes, se pueden emplear campanas industriales, diseñadas para dirigir los

¹³ Las fuentes de volumen tienen dos dimensiones (horizontal) y la vertical, que de ninguna manera es insignificante. Usualmente corresponden a edificaciones o a complejos de edificios dentro de los que se liberan olores. Estos olores son eliminados posteriormente al medio ambiente a través de orificios, ventanas, puertas, aberturas en el techo, etc., a diferentes alturas y en diferentes lugares.

gases hacia un único ducto que los conduzca hasta la salida del Scrubber Enfriador Molino.

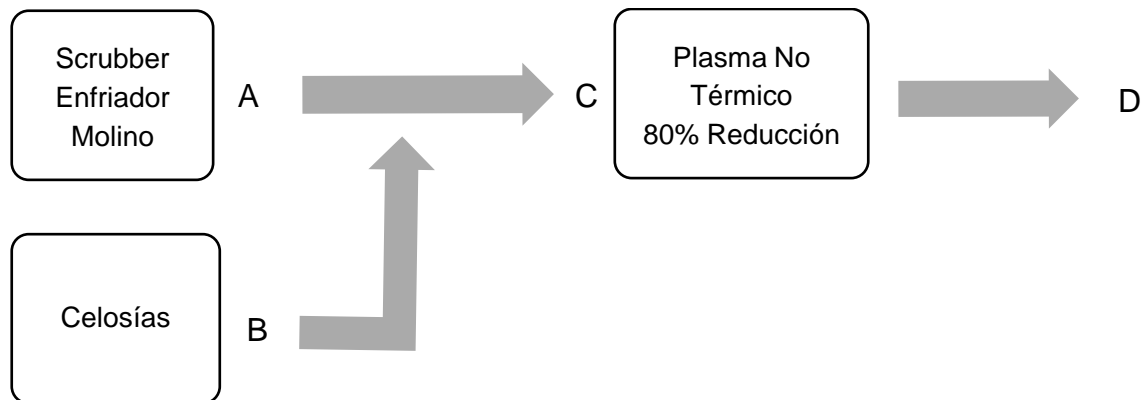


Figura N° 4.13 Esquema Escenario Futuro 2.

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se puede observar las características del gas antes y después de la tecnología seleccionada.

Tabla N° 4.13. Balance de gases – Escenario Futuro 2.

Parámetro	A	B	C	D
Concentración (OU _E /m ³)	14.298	11.053	-	-
Flujo (m ³ /s)	8,3	12,4	20,7	20,7
Emisión (OU _E /s)	118.676	81.798	200.474	40.095
Temperatura (°C)	27	50	-	-

Con la tecnología del Plasma No Térmico las emisiones del Scrubber Enfriador Molino y Celosías reducen de 200.474 a 40.095 OUE/s. En la siguiente tabla y figura, se presentan las tasas de emisión para el Escenario Futuro 2 comparándolas con el Escenario Actual.

Tabla N° 4.14. Tasas de emisión – Escenario Futuro 2.

Fuente	Escenario Actual (OUE/s)	Escenario Futuro 2 (OUE/s)
Scrubber Enfriador Molino	118.676	-
Plasma No Térmico	-	40.095
Celosías	81.798	-
Otras fuentes	21.054	21.054
TEO_{TOTAL}	221.528	61.149

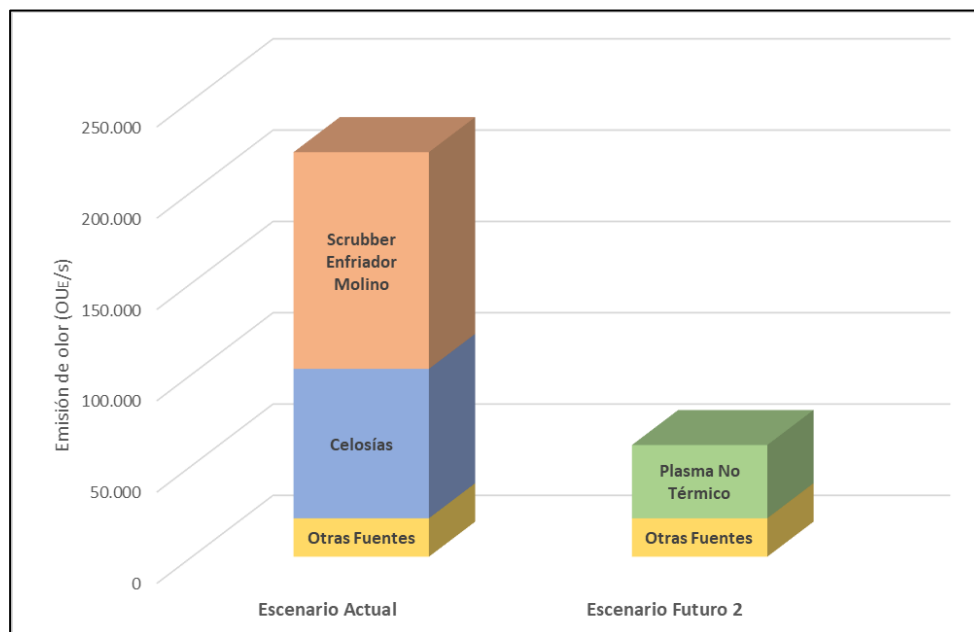


Figura N° 4.14 Tasas de emisión – Escenario Futuro 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar la TEO_{TOTAL} , para el Escenario Futuro 2, reduce de 221.528 a 61.149 OU_E/s , lo que equivale a un 72% de reducción. Es decir, la planta cumple con la reducción del 70% establecido en la futura norma de emisión. Sin embargo, de igual manera se realizará una modelación para el Escenario Futuro 2, para evaluar la concentración de inmisión de olor en los receptores considerados.

En la siguiente figura, se muestra la dispersión de emisiones odorantes con la tecnología de reducción implementada, es decir, todas las fuentes consideradas en el escenario actual, anulando la emisión de la Salida Enfriador Scrubber y las Celosías e incorporando la emisión de la Salida del Plasma No Térmico (40.095 OU_E/s).

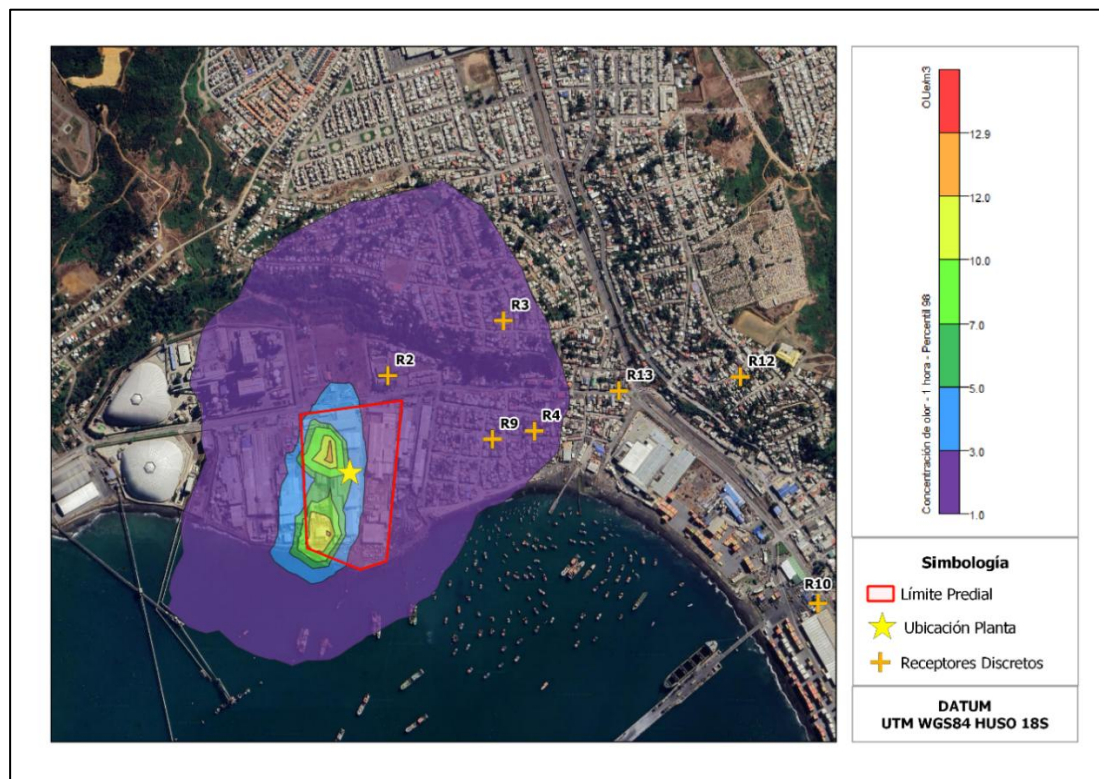


Figura N° 4.15 Mapa de concentración de olor – Escenario Futuro 2.

Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior, se puede observar que las isodoras pueden alcanzar valores entre 1 a 12,9 OU_E/m^3 . Fuera de los límites de la planta, las isodoras trazan valores entre 1 a 7 OU_E/m^3 .

En la siguiente tabla se puede observar la concentración de inmisión de olor para cada uno de los receptores considerados, además, estos valores se truncan, tal como lo establece la futura norma de emisión.

Tabla N° 4.15. Resultados receptores discretos – Escenario Futuro 2.

Receptor	Concentración de inmisión (OU_E/m^3)	Concentración de inmisión truncada (OU_E/m^3)
R1	0,17	0
R2	2,45	2
R3	1,23	1
R4	1,14	1
R5	0,11	0
R6	0,18	0
R7	0,17	0
R8	0,10	0
R9	1,40	1
R10	0,23	0
R11	0,11	0
R12	0,35	0
R13	0,72	0

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar los receptores con mayor impacto corresponden al R2 (2 OU_E/m^3), R3 (1 OU_E/m^3) y R9 (1 OU_E/m^3), de los cuales ninguno se encuentra superando el límite 5 OU_E/m^3 establecido por la futura norma de emisión para el sector pesquero para eximirse de la reducción de olor en un 70%. Es decir, aplicando la tecnología del Plasma No Térmico en la Salida Enfriador Molino y Celosías, la planta se eximiría de reducir su $\text{TEO}_{\text{TOTAL}}$ en un 70%.

4.4.3 Comparación escenarios de Modelación

A continuación, en la siguiente tabla y figura se puede observar la disminución de emisiones en ambos escenarios y sus porcentajes de reducción.

Tabla N° 4.16. Emisión - Comparación de escenarios.

Fuente	Escenario Actual	Escenario Futuro 1	Escenario Futuro 2
TEO_{TOTAL} (OU_E/s)	221.528	126.587	61.149
% Reducción	-	43%	72%

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla anterior se puede observar que para el Escenario Futuro 1 hubo un 43% de reducción en la TEO_{TOTAL}, mientras que para el Escenario Futuro 2 fue de 72%.

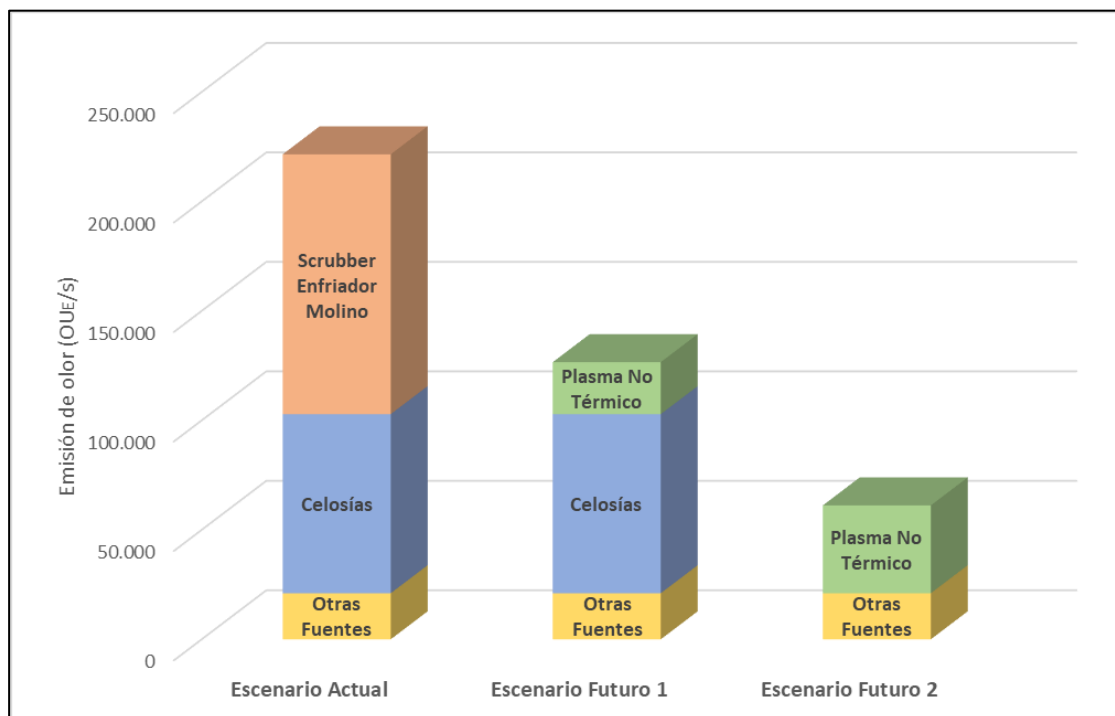


Figura N° 4.16 Comparación tasas de emisión – Escenario de modelación.

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se puede observar cómo disminuyó la concentración de inmisión de olor en los receptores críticos.

Tabla N° 4.17. Concentración truncada receptores críticos - Comparación Escenarios.

Fuente	Escenario Actual	Escenario Futuro 1	Escenario Futuro 2
R2	6	4	2
R3	2	2	1
R9	2	2	1

Fuente: Elaboración Propia.

El receptor R2 que estaba superando el límite establecido en la futura norma de emisión, disminuyó de 6 OUE/m³ a 4 OUE/m³ para el Escenario Futuro 1 y a 2 OUE/m³ para el Escenario Futuro 2.

4.5 Discusión

Los resultados de este estudio de investigación sobre la evaluación de las emisiones de olor en la planta procesadora de harina y aceite de pescado muestran hallazgos importantes que deben analizarse en relación con la futura norma de emisión y las tecnologías de control disponibles.

En primer lugar, se observó que las emisiones de olor de la planta superan los límites establecidos en el anteproyecto de norma de emisión para el sector pesquero, lo que es preocupante, ya que indica que la operación actual de la planta no solo afecta la calidad del aire, sino que también puede tener repercusiones en

la salud y bienestar de las comunidades aledañas, lo que subraya la necesidad de implementar medidas de control efectivas y urgentes.

La evaluación de las tecnologías de control de olores evidenció la existencia de diversas alternativas potencialmente aplicables en la planta. Equipos como los scrubbers, sistemas de ionización, oxidación química, tratamiento con radiación UV, entre otros, presentan resultados prometedores en términos de reducción de emisiones odorantes. No obstante, la selección de la tecnología más adecuada debe basarse no solo en su eficiencia de abatimiento, sino también en aspectos clave como la compatibilidad con las condiciones del proceso (caudal, concentración, temperatura, espacio disponible), el impacto ambiental secundario, la facilidad de operación y mantenimiento, así como los costos asociados, tanto de implementación como de operación.

Además, la modelación de dispersión de olores en ambos escenarios permitió visualizar el impacto potencial de la implementación de tecnologías de control. Los resultados mostraron que, con la aplicación de dichas tecnologías, es posible lograr una disminución significativa en las concentraciones de olor en los receptores más cercanos. Este efecto no solo facilitaría el cumplimiento de los límites establecidos por la futura normativa, sino que también representaría una mejora tangible en la calidad de vida de las comunidades aledañas.

En relación con la futura norma de emisión, si bien, es importante destacar que es un paso importante a nivel nacional para la regulación de olores en el sector pesquero, hay aspectos que podrían mejorarse. La norma indica que las plantas

deben reducir en un 70% la tasa de emisión total (TEO_{TOTAL}) en un plazo de 4 años, sin embargo, el artículo 6 de la norma permite eximirse de este porcentaje acreditando un impacto odorante máximo igual o inferior a $5 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ en sus receptores. Esto puede llevar a que las plantas prioricen reducir sus emisiones únicamente hasta cumplir con el límite de $5 \text{ OU}_E/\text{m}^3$, dejando de lado la meta más ambiciosa del 70%. Por ejemplo, en el Escenario Futuro 1, una reducción del 43% permitió que la planta disminuyera su concentración de inmisión en sus receptores de 6 a $4 \text{ OU}_E/\text{m}^3$, cumpliendo con lo establecido en la norma, incluso sin alcanzar el porcentaje de reducción inicialmente planteado. Es más, es razonable esperar que reducciones menores, del 30% o 35%, podrían ser suficientes para cumplir con este límite. Adicionalmente, la norma, en su artículo 3 letra f, menciona que los valores de impacto odorante máximo serán truncados, lo que implica que una planta podría reportar concentraciones de hasta $5,9 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ en sus receptores y seguir cumpliendo con la normativa. Esto flexibiliza aún más los requisitos, facilitando el cumplimiento normativo para las plantas del sector.

Comparando la norma internacionalmente, el límite de $5 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ es alto. Países como Colombia, España y Panamá han adoptado límites de $3 \text{ OU}_E/\text{m}^3$, evidenciando que la norma chilena es menos estricta. Esta falta de rigurosidad podría ir en desmedro del objetivo inicial de la norma, el cual es, proteger la salud de la población y mejorar su calidad de vida, especialmente en zonas críticas.

Otro aspecto relevante es la ausencia de consideraciones sobre impactos sinérgicos en áreas donde se concentran varias plantas del sector pesquero, como

es el caso de la comuna de Coronel. En estas zonas, las emisiones de varias plantas se suman, generando un impacto odorante significativamente mayor sobre la población cercana. Al evaluar a cada planta de manera individual, la norma no refleja el impacto real acumulado en estas comunidades. Esto contradice el objetivo de la norma mencionado en el artículo 1 de proteger la salud de la población y mejorar su calidad de vida, ya que ignora condiciones específicas de alta vulnerabilidad. Por lo anterior, sería interesante realizar un estudio que contemple las emisiones conjuntas de todas las plantas emisoras de olor ubicadas en un mismo sector. Esto permitiría evaluar el efecto sinérgico que dichas emisiones generan sobre el entorno y comunidades cercanas.

En conclusión, los resultados de este estudio destacan la necesidad urgente de regular las emisiones de olores en el sector pesquero, y la importancia de adoptar tecnologías de control efectivas. La implementación de la futura norma de emisión representa un avance significativo a nivel nacional, aunque hay aspectos que podrían mejorarse.

5 CONCLUSIONES

1. La tasa de emisión de olor total (TEO_{TOTAL}) de la planta equivale a 221.528 OU_E/s , es decir, para que la planta pueda cumplir con lo establecido en la futura norma de emisión para el sector pesquero, esta debe reducir en un 70% su TEO_{TOTAL} , lo que equivale a reducir a 66.458 OU_E/s .
2. De la Modelación de dispersión de olores para el “Escenario Actual”, el receptor con mayor impacto odorante posee una concentración de inmisión de 6 OU_E/m^3 , lo que quiere decir que supera el límite de 5 OU_E/m^3 establecido en la futura norma de emisión para el sector pesquero.
3. Del análisis de sensibilidad, se determina que las fuentes críticas corresponden al Scrubber Enfriador Molino y las Celosías.
4. La tecnología seleccionada corresponde al equipo AEROX que emplea la tecnología de Ionización o Plasma No Térmico.
5. Para el Escenario Futuro 1, la planta reduciría su TEO_{TOTAL} en un 43%, logrando disminuir la concentración de inmisión de olor en el receptor con mayor impacto odorante a 4 OU_E/m^3 .
6. Para el Escenario Futuro 2, la planta reduciría su TEO_{TOTAL} en un 72%, logrando disminuir la concentración de inmisión de olor en el receptor con mayor impacto odorante a 2 OU_E/m^3 .

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROX *Leading in odour control*. (n.d.). <https://aerox.nl/es/tecnologia/>

Bokowa, A., Diaz, C., Koziel, J. A., McGinley, M., Barclay, J., Schauburger, G., Guillot, J., Sneath, R., Capelli, L., Zorich, V., Izquierdo, C., Bilsen, I., Romain, A., Cabeza, M., Liu, D., Both, R., Van Belois, H., Higuchi, T., & Wahe, L. (2021). Summary and overview of the odour regulations worldwide. *Atmosphere*, 12(2), 206.

Capelli, L., Bax, C., Diaz, C., Izquierdo, C., Arias, R., & Salas Seoane, N. (2019). *Review on odour pollution, odour measurement, abatement techniques*.

Departamento de Ruido, Lumínica y Olores (2022). *1º Reunión Comité Operativo Ampliado Proceso Elaboración Norma de Emisión de Olor en Plantas de Harina y Aceite de Pescado, y de Plantas de Alimentos para Peces*. https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2023/proyectos/14.PPT_1er_COA_26.04.22_folio_672-681.pdf

Díaz C., Núñez F., & Baena G. (2013). *Autorizaciones Ambientales Integradas, Límites de Emisión de Olores en Actividades con un Historial de Conflicto por Olores*.

Dictuc S.A. (2021). *Antecedentes para la elaboración del análisis económico de la norma de emisión de olores para sector de procesamiento de recursos hidrobiológicos*. https://pras.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/12/IF_ANTECEDENTES-PARA-LA-ELABORACION-DE-ANALISIS-ECONOMICO-DE-LA-NE-DE-OLORES-PARA-SECTOR-DE-PROCESAMIENTO-RECURSOS-HIDROBIOLOGICOS.pdf

Fortt Zunzunegui, M. A. (2012). *Olores molestos y sus efectos en la salud de la población*. <https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Olores-molestos-y-sus-efectos-en-la-Salud-de-la-poblacion.pdf>

GEMAT. (n.d.). <https://www.gemat.cl/control-de-olores-y-desinfeccion-de-ambientes-equipos-jimco-equipos-flo.php>

- Guo, H., Jacobson, L. D., Schmidt, D. R., & Nicolai, R. E. (2001). CALIBRATING INPUFF-2 MODEL BY RESIDENT-PANELISTS FOR LONG-DISTANCE ODOR DISPERSION FROM ANIMAL PRODUCTION SITES. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(6), 859–868.
- Herr, C. E., Zur Nieden, A., Kopka, I., Rethage, T., Gieler, U., Eikmann, T. F., & Stilianakis, N. I. (2009). Assessment of somatic complaints in environmental health. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212(1), 27–36.
- Iglesias, A. R., Segarra, M., Veza, E., Hernaiz, G., Pertejo, L., & Urtiaga, A. (2012). Contaminación odorífera. Estrategias de análisis de olores. *Vida Científica 100cias@Uned*, 5, 92–100.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2017). *Estrategia para la gestión de olores en Chile*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (n.d.). *Antecedentes normativa internacional*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Informe del Estado del Medio Ambiente / Capítulo 13 / Olores*. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/13-olores.pdf>
- Ministry for the Environment for New Zealand. (2016). *Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour*.
- Schiffman, S. S., & Williams, C. M. (2005). Science of odor as a potential health issue. *Journal of Environmental Quality*, 34(1), 129–138.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). *Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA*. Ministerio del Medio Ambiente. https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/12/04/guia_pye_i mpactos_por_olor_190807.pdf
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2023). *Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA. b*.

Van Harreveld, A. P., Heeres, P., & Harssema, H. (1999). A review of 20 years of standardization of odor concentration measurement by dynamic olfactometry in Europe. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49(6), 705–715.

7 GLOSARIO

Concentración de olor: Número de unidades de olor europeas en un metro cúbico de gas en condiciones normales.

Fuentes Difusas: Fuentes con dimensiones definidas (mayoritariamente fuentes superficiales) que no tienen un flujo de gas residual definido.

Fuente Puntual: Fuente estacionaria discreta, de emisión de gases a la atmósfera a través de conductos, de dimensiones y caudal de aire definidos.

Inmisión de olor: Es el impacto de olor en el ser humano (olores en el aire ambiente). Ellos pueden ser descritos en términos de frecuencia, duración, calidad (tipo), intensidad y disgusto subjetivo (efecto hedónico) de las concentraciones de olores por encima del umbral de olor.

Olfatometría: Medición de la respuesta de los panelistas a estímulos olfativos.

Olfatometría Dinámica: Olfatometría que usa un olfatómetro dinámico.

Olor: Propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias volátiles.

MTD (Mejores Técnicas Disponibles): Conjunto de tecnologías y prácticas recomendadas que garantizan niveles óptimos de control de emisiones con el menor impacto ambiental, promoviendo la sostenibilidad industrial.

Eficiencia de Reducción de Olores: Porcentaje que expresa la capacidad de una tecnología para disminuir la concentración de emisiones olorosas respecto a la situación inicial, usualmente expresada en porcentajes o en niveles residuales de OU_E/m^3 .

8 Anexos

8.1 Parámetros de modelación

8.1.1 Fuentes

En la siguiente tabla, se presenta información de las fuentes ingresadas al modelo.

Tabla N° 8.1. Parámetros de las fuentes modeladas.

Fuente	Temperatura (K)	Altura efectiva (m)	Diámetro (m)	Superficie (m ²)	Tapa Gorro	Sigma Z (m)	Velocidad (m/s)
Chimenea Caldera N°1	494,15	14,2	1,25	1,2	Sí	-	16,0
Chimenea Caldera N°2	494,15	13,0	0,95	0,7	Sí	-	16,0
Chimenea Caldera N°3	494,15	13,0	0,92	0,7	Sí	-	16,0
Chimenea Caldera N°4	494,15	13,4	0,90	0,6	Sí	-	16,0
Scrubber Enfriador Molino	300,15	7,0	0,62	0,3	Sí	-	15,5

Celosías	288,15	15,0	-	81,6	-	1,0	0,95
Trómeles Externos	288,15	1,9	-	8,8	-	1,0	0,4
Piscina Bajo Trómeles	288,15	1,0	-	55,2	-	1,0	0,0083
Pozo Recepción Pesca	288,15	1,0	-	22,0	-	1,0	0,0083
Galpón DAF	288,15	3,0	-	29	-	1,0	0,2
Trómel Línea Conserva	288,15	9,0	-	2,0	-	1,0	0,17
Trómel Línea Harina	288,15	9,0	-	2,0	-	1,0	0,14
Contenedor de Lodos	288,15	2,0	-	4,8	-	1,0	0,0083
Contenedor de Escamas	288,15	2,0	-	4,8	-	1,0	0,0083

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante Base.

8.1.2 Edificios

La dispersión de emisiones descargadas por chimeneas puede ser afectada por la presencia de edificios cercanos que representan obstáculos a la circulación del aire.

En la siguiente figura se presentan las edificaciones de la planta, consideradas para evaluar su efecto sobre la dispersión de las emisiones de olores. En las tablas a continuación se adjuntan las alturas y dimensiones de las edificaciones.

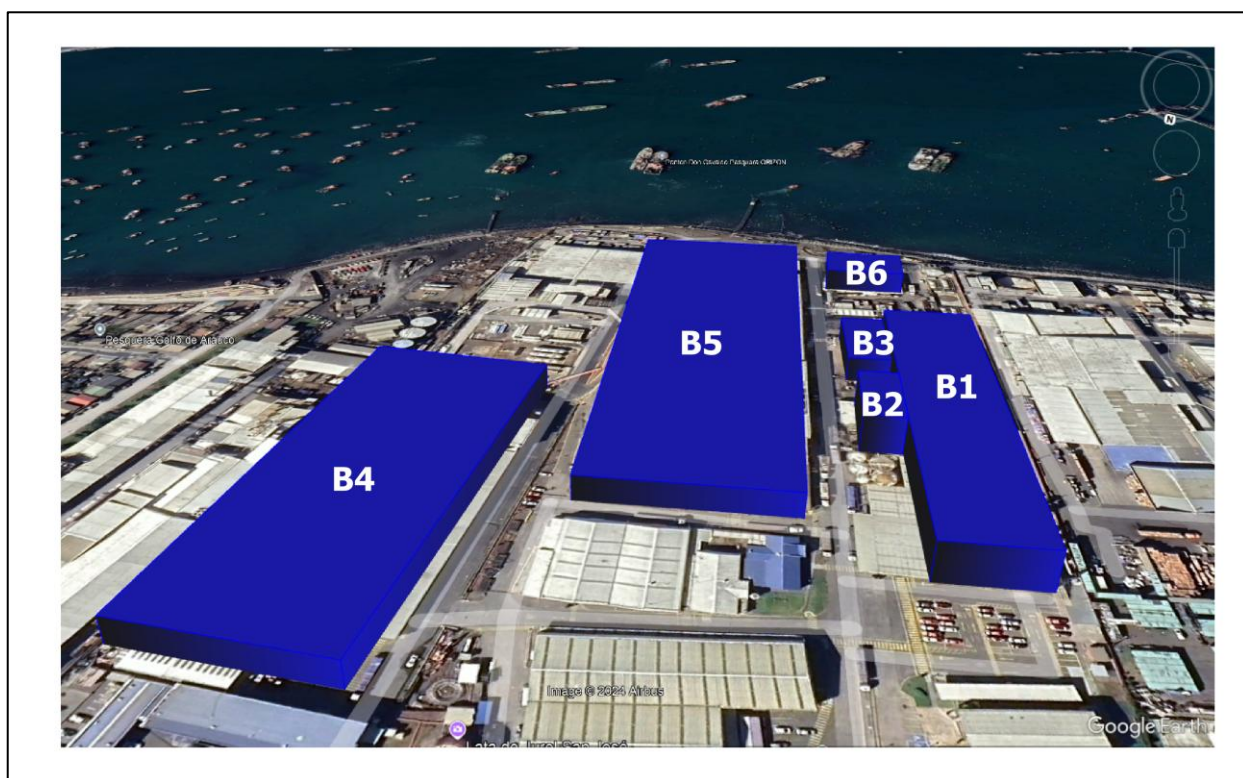


Figura N° 8.1. Edificios considerados en la modelación.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Olorante Base.

Tabla N° 8.2. Edificios considerados en la modelación.

Edificio	Longitud X (m)	Longitud Y (m)	Altura (m)
B1	35	170	15,00
B2	15	35	16,64
B3	17	40	16,16
B4	70	174	17,06
B5	75	233	15,77
B6	35	25	15,56

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante Base.

8.2 Archivo Meteorológico

En las siguientes figuras, se observa la rosa de los vientos y frecuencia de distribución de vientos del archivo meteorológico utilizado.

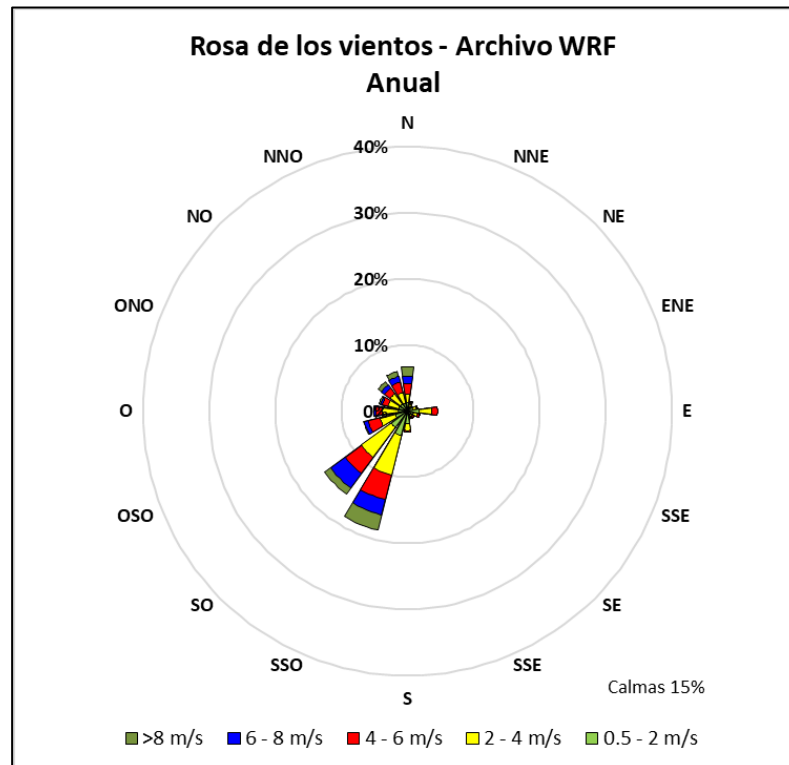


Figura N° 8.2. Rosa de los vientos – Archivo Meteorológico.

Fuente: Elaboración Propia con datos extraídos del archivo meteorológico.

De la rosa de los vientos se puede concluir que los vientos provienen principalmente desde el Sur-suroeste y Suroeste, con velocidad que en algunos casos superan los 8 m/s.

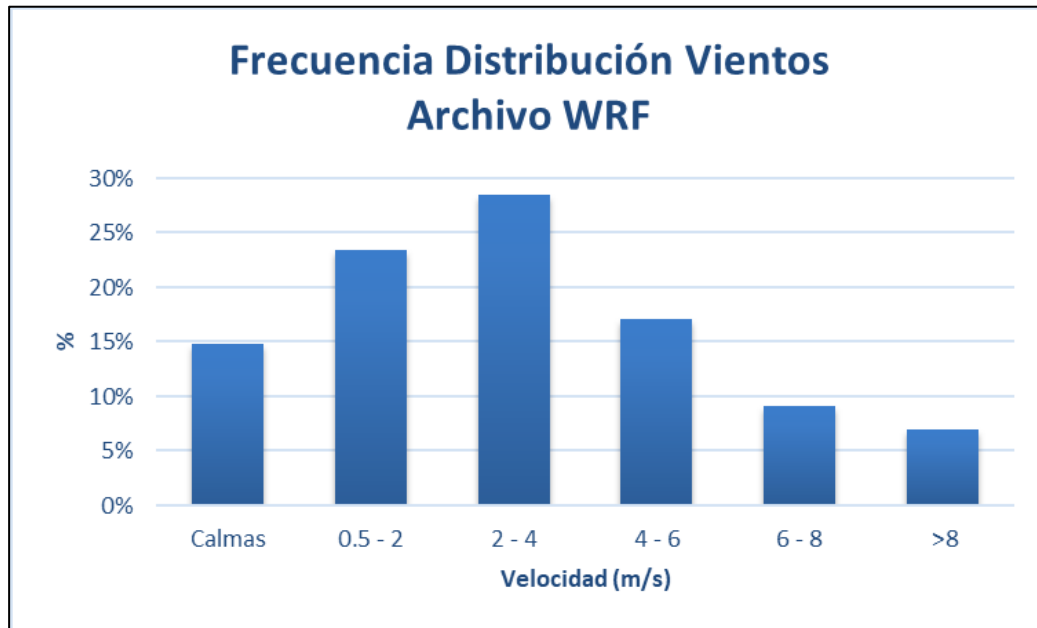


Figura N° 8.3. Frecuencia de distribución de vientos – Archivo Meteorológico.

Fuente: Elaboración Propia con datos extraídos del archivo meteorológico.

De la frecuencia de distribución de vientos se puede observar que predominan los vientos entre 2 a 4 m/s con un 29% de frecuencia, seguido por los vientos de 0,5 a 2 m/s con un 23%.

8.3 Régimen de emisión

A continuación, en las siguientes tablas se puede observar el régimen de operación de la planta de harina y de tratamiento de RILes.

Tabla N° 8.3. Horas de operación – Planta de Harina.

Mes	Día del Mes																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Ene	0	23	22	21	12	9	21	20	12	12	22	9	7	0	5	8	9	7	9	0	0	8	8	7	0	9	8	9	10	12	0
Feb	10	11	8	12	8	8	0	7	8	7	8	9	8	0	8	10	8	8	8	10	0	8	8	9	8	8	7	0	-	-	-
Mar	21	20	23	21	19	12	0	18	19	21	0	20	24	0	24	24	24	24	24	24	0	24	24	24	24	24	24	0	24	24	21
Abr	24	24	8	0	22	21	20	22	21	20	0	20	22	21	20	18	15	0	10	23	22	23	20	20	0	0	20	15	14	22	-
May	19	17	6	0	17	20	16	17	16	16	10	16	17	16	16	14	12	15	8	18	17	18	16	16	12	0	16	12	11	17	8
Jun	11	20	3	0	10	12	9	10	9	9	6	9	10	9	9	8	7	9	4	10	10	10	9	9	7	0	9	7	6	10	-
Jul	4	12	5	0	6	6	5	6	7	6	0	0	12	10	0	11	0	12	0	8	9	0	12	0	11	0	11	0	2	4	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov	12	15	8	0	12	15	9	12	15	0	0	18	16	14	8	22	21	20	8	0	15	16	12	10	8	0	0	15	12	14	-
Dic	14	21	10	0	15	18	11	15	18	3	0	18	22	19	11	24	21	24	8	4	19	16	18	10	13	0	5	15	13	16	8

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante Base.

Tabla N° 8.4. Horas de operación – Planta de Tratamiento de RILes.

Mes	Día del Mes																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Ene	24	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Feb	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	-	-	-
Mar	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Abr	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	-
May	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Jun	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	0	-
Jul	24	24	24	24	0	24	24	0	24	24	24	24	0	0	0	0	24	0	0	24	0	0	24	0	24	0	0	0	0	24	0	0
Ago	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	
Sep	0	0	0	0	0	0	0	24	24	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nov	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	-	
Dic	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	

Fuente: Elaboración propia con información extraída de Estudios de Impacto Odorante Base.

8.4 Contribución a los ODS

Este estudio contribuye significativamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los que se destaca el ODS N°3, 11 Y 12.

ODS N°3: Este objetivo se centra en garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos. Al abordar el control y reducción de malos olores en una planta procesadora de harina y aceite de pescado, este estudio contribuye a mejorar la calidad del aire y a disminuir los riesgos para la salud de las comunidades cercanas, ya que no solo identifica y analiza el problema de las emisiones de olores, sino que también propone soluciones concretas que pueden llevar a una reducción de la contaminación del aire.

La exposición prolongada a altas concentraciones de olores puede generar graves problemas de salud, e incluso, en casos extremos, provocar la muerte. Por ello, este estudio contribuye directamente a la meta 3.9 del ODS N°3: “reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo”.

ODS N°11: Este objetivo tiene como propósito lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. En este contexto, este estudio destaca la importancia de integrar prácticas industriales responsables en entornos urbanos. La implementación de tecnologías de control de olores no solo contribuirá a crear un ambiente más saludable y habitable para

los residentes, sino que también fomentará la sostenibilidad urbana y mejorará la calidad de vida.

Además, este estudio se alinea con la meta 11.6, que propone reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire y a la gestión de desechos municipales e industriales. Al abordar el control de emisiones de olores, este estudio promueve la adopción de tecnologías que disminuyan la contaminación, ayudando a construir ciudades más limpias y sostenibles.

ODS N°12: Este objetivo busca fomentar modalidades de consumo y producción sostenibles, incentivando a las empresas a adoptar prácticas que reduzcan su impacto ambiental y promuevan el bienestar social. En este marco, la implementación de soluciones tecnológicas para disminuir las emisiones de olores en una planta procesadora de harina y aceite de pescado representa un paso significativo hacia una industria más responsable y comprometida con el medio ambiente. Estas medidas no solo mejoran la calidad del aire, sino que también refuerzan la convivencia armónica entre las actividades productivas y las comunidades cercanas.

Asimismo, este estudio se alinea con la meta 12.6, que propone alentar a las empresas a incorporar prácticas sostenibles en sus procesos. Al evaluar y proponer tecnologías innovadoras que mitiguen los efectos negativos de las emisiones industriales, se promueve un modelo de gestión que prioriza la sostenibilidad ambiental, la eficiencia operativa y la mejora de la calidad de vida. Este enfoque

integral no solo beneficia a las comunidades locales, sino que también contribuye a la construcción de un sistema productivo más resiliente y sostenible, cumpliendo con los principios del ODS 12 y avanzando hacia un desarrollo equilibrado y responsable.