

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**APLICACIÓN DEL MODELO ISC- AERMOD PARA LA ESTIMACIÓN DE
DISPERSIÓN DE OLORES. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS SERVIDAS LA FARFANA**

MARITZA CAROLINA BARRERA CURIHUENTRO

SANTIAGO, CHILE

2010

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**APLICACIÓN DEL MODELO ISC- AERMOD PARA LA ESTIMACIÓN DE
DISPERSIÓN DE OLORES. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS SERVIDAS LA FARFANA**

**APPLICATION OF THE MODEL ISC- AEROMOD TO CALCULATE ODOUR
DISPERSION. STUDY CASE: LA FARFANA'S WASTE WATER TREATMENT
PLANT**

MARITZA CAROLINA BARRERA CURIHUENTRO

SANTIAGO, CHILE

2010

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**APLICACIÓN DEL MODELO ISC- AERMOD PARA LA ESTIMACIÓN DE
DISPERSIÓN DE OLORES. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS SERVIDAS LA FARFANA**

Memoria para optar al Título Profesional de
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

MARITZA CAROLINA BARRERA CURIHUENTRO

PROFESOR GUÍA	CALIFICACIONES
Sr. Luis Morales S. Físico Ph. D.	7,0
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Diego Díaz M. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables	6,5
Sr. Ramón Valderas O. Ingeniero Civil Químico	6,8
COLABORADOR	
Sr. Juan José Morales Químico Ambiental	

Santiago, Chile

2010

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

En primer lugar debo agradecer a la Universidad de Chile por todos los años de formación académica otorgada y especial al cuerpo docente que compone la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables por haberme brindado los conocimientos y las herramientas necesarias para poder llevar a cabo este proyecto.

Dentro de este cuerpo docente agradezco al señor Luis Morales por haber aceptado trabajar en este proyecto y por haberme brindado todo su apoyo y sabiduría.

Por otro lado, agradecer la confianza impuesta a mi persona por parte de la empresa Aguas Andinas S.A., por entregarme las herramientas e información necesaria para llevar a cabo este proyecto. Destacando la buena disposición y participación de todas las personas que trabajan en la Gerencia de Saneamiento y subgerencia de Medio Ambiente, en especial al señor Juan José Morales por su constante apoyo en la elaboración de esta memoria.

Quisiera ampliar mis agradecimientos a mis queridos amigos y amigas, por brindarme sabios consejos y alentarme en todo momento.

Por último, y no menos importante agradezco todo el cariño y apoyo de mi querida familia, quien con su ejemplo de sacrificio, perseverancia y esfuerzo se han convertido en un pilar fundamental en mi vida. Gracias mis queridos papá, mamá y hermanas, los amo enormemente.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	6
1. ABSTRACT.....	7
2. INTRODUCCIÓN	8
2.1. Objetivo general	10
2.2. Objetivos específicos	11
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana	12
3.1.1. Antecedentes generales	12
3.1.2. Línea de Procesos Planta Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana.....	13
3.2. Compuestos responsables de olores en Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas	17
3.3. Olor	20
3.3.1. Características de los olores	21
3.3.2. Métodos de medición del olor.....	24
3.3.3. Unidad de Olor.....	27
3.3.4. Legislación	29
3.4. Aplicación de los modelos de dispersión en los estudios de impacto de olores	37
3.5. ISC – AERMOD: Modelo de dispersión gaussiano.....	38
3.5.1. Supuestos del Modelo	40
3.5.2. Limitaciones del Modelo.....	41
4 MATERIALES Y MÉTODOS	42
4.1. Materiales	43
4.2 Método	44
4.2.1. Características de las fuentes de emisión	45
4.2.2. Cálculo de emisiones de olor por cada fuente.....	46
4.2.3. Modelización de la dispersión de olores	50
4.2.4. Campañas de tipo sensorial.....	61
4.2.5. Valores de límites de inmisión de concentración de olor	64
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
5.1 Resultados de emisiones medias de olor a través de la técnica de Olfatometría Dinámica	66
5.2 Variables meteorológicas	67
5.3. Escenarios de la modelación de dispersión de olores	76
5.3.1. Máximo impacto horario-anual.....	77
5.3.2. Modelación del Percentil 98	78
5.4. Monitoreos de tipo sensorial	80
5.4.1. Resultados de Paneles de Olor y comparación con simulación de olores.....	80
5.4.2. Resultados Monitoreo Continuo de Olor y comparación simulación de olores	85

5.5. Evaluación de niveles de concentración con criterios normativos y/o estándares internacionales de calidad de aire para el tema olores	89
6. CONCLUSIONES	94
7. BIBLIOGRAFÍA	97
APENDICE I: Características de las fuentes	101
APENDICE II: Meteorología.....	107
ANEXO I: Emisiones de olores calculadas por medio de olfatometría dinámica	113

1. RESUMEN

El funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) provoca la emisión a la atmósfera de gases odorantes, que podrían afectar a las comunidades vecinas a éstas.

Por ello, en el presente estudio se aplicó el modelo gaussiano de dispersión atmosférica ISC AERMOD para la simulación de olores, en base a las unidades de olor europeas definidas en la Norma Europea EN 13725:2003, a fin de evaluar eventos de olores en comunidades cercanas a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana. Se trabajó con datos meteorológicos como dirección y velocidad de vientos, radiación global, temperatura, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, cobertura y altura de nubes. Además, de características topográficas representado por un Modelo Digital de Elevación de la zona y las características de las fuentes. En tanto, la cuantificación de las tasas emisiones de olor de las fuentes fue estimada a través de la técnica de olfatometría dinámica.

Los resultados del modelo fueron comparados con mediciones en terreno de tipo sensorial (paneles de olor y monitoreo continuo). Estas simulaciones concordaron con ambas mediciones en terreno, generando mapas de olores entre las concentraciones de olores y los principales puntos receptores. Del mismo modo, la modelación se comparó con normativa internacional de países como Holanda, Alemania, Bélgica, España, entre otros; debido a la ausencia de normativa en Chile. Finalmente, se concluyó que la medición de emisiones de olor a través de olfatometría dinámica y el posterior uso de modelos de dispersión para la medición de la concentración del olor son herramientas eficaces para la realización de un estudio de olores en una zona en particular.

Palabras Claves: Modelo gaussiano, AERMOD, olor, olfatometría dinámica, paneles de olor.

1. ABSTRACT

Wastewater treatment plants (PTWW) emit to the atmosphere, odorant gases that could affect the communities near them.

This study was carried out to see how wastewater treatment plants affect the communities applying the Gaussian atmospheric dispersion modelling ISC AEROMOD for odour simulation, based on European odour units defined in the European norm EN 13725:2003 to evaluate odour situations in the communities near La Farfana wastewater treatment plant. The data considered for this study case was: meteorological weather such as wind speed and wind direction, global radiation, temperature, relative humidity, precipitation, atmospheric pressure, cloud cover and cloud height. Besides topographic characteristics represented by the Digital Elevation Model of the area and the characteristics of the sources. On the other hand, the quantification of the odour emission sources was calculated through the dynamic olfactometry technique.

The results of the model were compared with measurements of sensorial type in the field (odour panels and continuous monitoring). These simulations agreed with both measurements in field, generating odour maps between odour concentration and the main receptive points. In the same way, the model was compared with the international norm in countries like Holland, Germany, Belgium, and Spain among others due to the lack of an odour norm in Chile.

Finally, it was concluded that the measurement of odour emission through the dynamic olfactometry technique and later use of dispersion models to measure the concentration of odour are effective tools to carry out a research on odour in a particular area.

Key words: Gaussian model, AERMOD, odour, dynamic olfactometry, odour panels.

2. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de ciertas actividades industriales, como el tratamiento de residuos urbanos (aguas servidas y rellenos sanitarios), ha generado ciertos conflictos, entre las zonas residenciales y este tipo de actividad. En el caso de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) el funcionamiento de sus unidades de procesos emite a la atmósfera gases odorantes, que podrían afectar a las comunidades vecinas a éstas. Estos eventos de olores están directamente relacionados tanto con el tipo de emisión como con las condiciones meteorológicas y topográficas de la zona.

Históricamente la problemática de contaminación atmosférica por olores ha seguido una curva ascendente y paralela al desarrollo industrial de un país y al aumento en la calidad de vida del mismo. Es por esto que varios países, especialmente aquellos más desarrollados como Alemania, España, Japón, Holanda y Estados Unidos, han implementado normativas para el tema de emisiones de olores, cada uno con diferentes enfoques regulatorios.

En el ámbito nacional, Chile carece de un cuerpo normativo que regule el tema en forma general. En el año 1999, debido a la problemática de la producción de celulosa, fue pronunciada la única regulación específica, el D.S. N° 167 “Norma de Emisión para Olores Molestos (Compuestos Sulfuro de Hidrogeno y Mercaptanos: Gases TRS) asociados a la fabricación de Pulpa Sulfatada” del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Esta norma regula la emisión de sustancias que causan malos olores derivados del proceso Kraft o al sulfato. Actualmente, se encuentra en proceso de consulta pública la Norma Chilena NCh 3190 “Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica”.

En el caso internacional, a partir de los años 80’ Holanda inicia la definición de una normativa técnica en la materia, ésta sirve como base para que en 1990 la Unión Europea

decida la elaboración de una norma para la determinación de la concentración de olor. La norma europea, EN 13.725:2003, se basa en la determinación de la concentración de olor mediante el método de olfatometría dinámica, en base a Unidades de Olor¹ (UO_E).

Existen variadas herramientas de medición de olores, las cuales se dividen en dos métodos: analíticos y sensoriales. Dentro de los métodos analíticos se puede mencionar la Cromatografía de gases, Sensores Piezoeléctricos (Narices Electrónicas), Tubos Colorimétricos y sensores electroquímicos, entre otros. Entre los métodos sensoriales, los principales a señalar son la psicometría, inspecciones de campo, olfatometría de campo y la olfatometría dinámica (Gutiérrez, 2008).

La olfatometría se ha convertido en uno de los métodos más utilizados y confiables para la realización de un estudio de olfatométrico, se distinguen cinco fases (Canales *et al*, 2007):

FASE I: determinación de las fuentes relevantes de olor y toma de muestras representativas de las mismas.

FASE II: análisis de las muestras.

FASE III: cálculo de las emisiones de olor de cada fuente (Unidades olor/m² hr).

FASE IV: cálculo de los niveles de inmisión en los alrededores (simulación por medio de modelos dispersión de contaminantes).

FASE V: determinación de posibles medidas a adoptar.

Dentro de las herramientas existentes para la evaluación espacial, se encuentran los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Estos modelos se han convertido en la herramienta más recurrente y eficaz para la predicción de dispersión de olores en un periodo de tiempo y superficie determinada, es decir, entrega los niveles de inmisión entorno a una zona.

¹ Se define como la cantidad de sustancias odoríficas que, cuando se evaporan en un metro cúbico de gas neutro en condiciones normales origina una respuesta fisiológica de un panel (umbral de detección) que evalúa la sustancia en conformidad cuando el 50% de los miembros la percibe; y tiene por definición, una concentración de 1 UO_E/m³ (UNE-EN 13725, 2004).

El presente estudio se basa en la aplicación de un modelo, de tipo Gaussiano, utilizando el software ISC - AERMOD VIEW, recomendado por la EPA (Environmental Protection Agency) para predecir la dispersión de olores, en este caso los emitidos en las unidades de procesos de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) La Farfana.

La Planta La Farfana es la segunda en operar (octubre del 2003) dentro del Plan de Saneamiento de la cuenca de Santiago. Este Plan contempla la construcción de tres grandes PTAS en Santiago y 13 Plantas de localidades ubicadas en la periferia de la Región Metropolitana. La PTAS La Farfana está ubicada en la comuna de Maipú, fue diseñada para una capacidad media de $8,8 \text{ m}^3/\text{s}$ y trata un caudal actual de $7,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (EMOS, 2000). Por lo demás contempla la tecnología de Lodos Activados Convencionales (LAC).

En este contexto, la iniciativa de implementar modelos de dispersión de contaminantes en Chile, se presenta como un importante método que está basado en la legislación internacional para medir los alcances del impacto de olores, a través de la implementación de la Unidad de Olor.

2.1. Objetivo general

Implementar un sistema de modelación de dispersión de olores, utilizando como base de entrada las Unidades de Olor Europeas (UO_E), para evaluar eventos de olores en comunidades cercanas a las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

2.2. Objetivos específicos

1. Estimar las emisiones de olor en las unidades de procesos de la PTAS La Farfana en UOE.
2. Aplicar un modelo de dispersión Gaussiano, a través del software ISC - AERMOD View, para modelar olores.
3. Comparar los resultados del modelo con mediciones en terreno de campañas anteriores, del tipo sensorial (paneles de olor y sistemas de monitoreo continuo).
4. Evaluar los niveles de inmisión arrojados por el modelo, en base a criterios normativos y/o estándares internacionales de calidad de aire para el tema olores.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana

3.1.1. Antecedentes generales

El Plan de Saneamiento de la cuenca de Santiago contempla la operación de tres grandes PTAS en Santiago y 13 Plantas de localidades en la periferia de la Región Metropolitana. Actualmente operan dos PTAS El Trebal y La Farfana que contemplan el saneamiento del 72% de las aguas del Gran Santiago, y para el 2010 con la puesta en marcha de la tercera Planta Mapocho se completará el 100% de saneamiento de la cuenca de Santiago (Aguas Andinas, 2009).

La planta La Farfana se encuentra ubicada en la comuna de Maipú, fue diseñada para una capacidad media de 8,8 m³/s y trata un caudal actual de 7,3 m³/s, actualmente trata el 50% del total de las aguas servidas del Gran Santiago convirtiéndose en la más grande del Plan de Saneamiento (Aguas Andinas, 2009)

El área total de emplazamiento de la planta es de 130 hectáreas. En el sector aledaño a la planta se encuentran diversos poblados, como por ejemplo a 1.4 km noreste el sector de Casas Viejas, a 1.7 km suroeste se encuentra el pueblito la Farfana, a 2.5 km zona residencial de Maipú y a 2.53 km Nornoroeste Alto Jahuel II, entre otros. En la Figura 1, se aprecia la ubicación de la Planta y zonas aledañas.



Figura 1: Ubicación PTAS La Farfana

3.1.2. Línea de Procesos Planta Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana

La planta utiliza la tecnología de Lodos Activados Convencionales (LAC) generando tres etapas: una línea de aguas, otra de lodos y por último una línea de biogás; en la Figura 2 se exhiben las unidades de la planta. A continuación se menciona en términos generales las unidades de procesos.

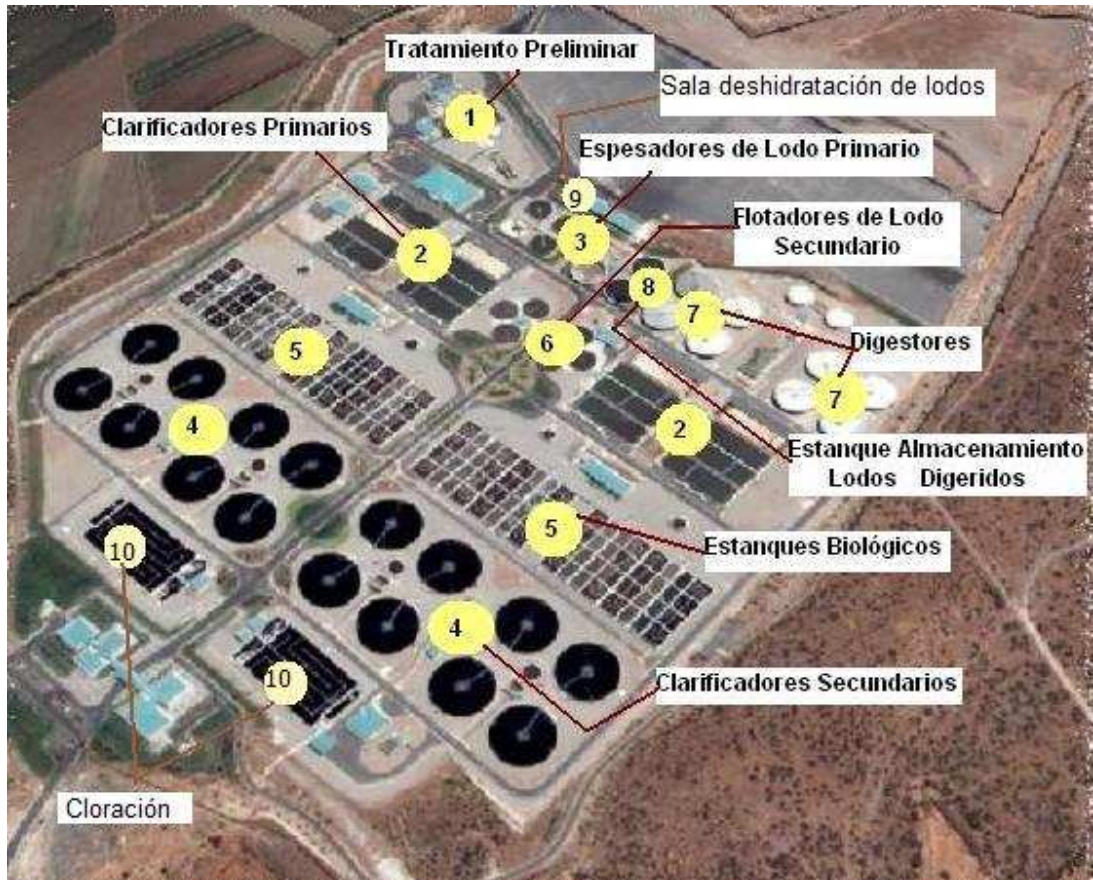


Figura 2: Unidades de Proceso PTAS La Farfana

3.1.2.1. Línea de aguas

a. Tratamiento preliminar:

El objetivo de esta etapa es eliminar los residuos y preparar el agua para los tratamientos que siguen. Primeramente ingresa el agua servida cruda pasando por rejillas de distintas dimensiones que poseen un sistema mecanizado para la remoción del material retenido, el que será lavado, compactado y depositado en contenedores cubiertos. Por consiguiente, se compone de tres partes:

- El cribado: eliminación de grandes, medianos y pequeños residuos.
- El desarenador: eliminación de gravas, arenas y las partículas minerales que no pueden ser tratadas por tratamiento biológico.

- El desengrasador: eliminación de flotantes y grasas que pueden disminuir la eficiencia del tratamiento biológico

b. Tratamiento Primario:

Después del tratamiento preliminar quedan presentes en el agua la fracción de suspensión y la fracción de soluble, las aguas entran a una batería de sedimentadores que cuenta con equipos barredores de lodos y de espumas superficiales. Los barredores conducen los lodos a través del fondo inclinado a una tolva central, desde donde son bombeados directamente al espesamiento antes del proceso de digestión anaeróbica de lodos. Existe una remoción mínima de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) del 25% y una remoción mínima de sólidos suspendidos totales (SST) de 50%.

c. Tratamiento secundario:

Este proceso funciona a través de la tecnología de lodos activados la cual consiste en poner en contacto el agua a depurar con las bacterias en un estanque aireado o llamado también reactor biológico. El efluente de estos reactores es conducido a los sedimentadores secundarios. Una fracción del lodo producido en la sedimentación secundaria es recirculado mediante bombas centrífugas hacia los reactores biológicos. El exceso de lodos producido en la sedimentación secundaria es conducido al edificio de procesamiento de lodos, donde es sometido a espesamiento y, luego, se mezcla con el lodo primario espesado a digestión anaeróbica.

d. Desinfección:

El efluente de los clarificadores secundarios es desinfectado en estanques que permiten el contacto entre el cloro gaseoso y el agua durante un tiempo apropiado para provocar la muerte de las bacterias. Esta operación genera una tasa de eliminación de las bacterias del 99,7%.

3.1.2.2. Línea de lodos

a. Espesadores:

Los lodos primarios y secundarios son dirigidos hacia una etapa de tamizado y espesamiento. El líquido drenado en este proceso será retornado a la entrada de la planta y mezclado para su tratamiento con el afluente a la planta. El lodo secundario, espesado hasta un 3-5% aproximadamente, será bombeado a los digestores anaeróbicos, donde se combinará con los lodos primarios, para una estabilización conjunta.

b. Digestión Anaeróbica:

Los lodos primarios, las espumas y material flotante removido de los sedimentadores primarios, y los lodos secundarios, son bombeados a los digestores anaeróbicos para su estabilización y reducción de volumen. En consecuencia, estabiliza cerca del 50% de la materia orgánica presente en los lodos, gracias a la actividad de microorganismos anaeróbicos. Durante este proceso las bacterias involucradas degradan los lodos produciendo un gas llamado biogás que es una mezcla de metano y de dióxido de carbono.

c. Deshidratación:

Esta unidad de tratamiento deshidrata los lodos que vienen de la digestión, utiliza una técnica de centrifugación con inyección previa de polímeros que obtiene una sequedad del 25% después de la deshidratación.

d. Alternativas de disposición final

Una fracción del lodo deshidratado es cargada en camiones de 25 toneladas para su transporte a un Relleno Sanitario y la otra fracción se utiliza para valorización agrícola.

3.1.2.3. Línea de Biogás

a. Lavado del Biogás:

De la digestión se produce biogás el cual debe ser “lavado”, es decir, se separan los elementos aprovechables de las impurezas. El biogás producido por la digestión contiene principalmente: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), vapor de agua (H_2O). El metano es aquel que aporta la valorización del biogás porque tiene gran poder calorífico. El objetivo de esta etapa es de disminuir la concentración en H_2S del biogás de 3500 ppm a menos 300 ppm.

3.2. Compuestos responsables de olores en Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas

Los olores (definido en la *sección 3.3*) emitidos por las PTAS tienen su origen por la mezcla de gases y vapores emitidos por ciertos productos contenidos en las aguas residuales y por los compuestos químicos secundarios que se forman durante el proceso de depuración.

El olor más característico de las aguas residuales es por la presencia del sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios (Metcalf & Eddy, 1995). Los compuestos químicos productores de mal olor pueden ser agrupados en tres grupos (Iglesias, 1998):

1. Compuestos de azufre (sulfuro de hidrogeno, sulfuros orgánicos, mercaptanos): Los sulfuros se forman a partir de reacciones biológicas de descomposición de compuestos orgánicos que contienen azufre.

Cuando se alcanza la septicidad del agua residual fresca o del depósito orgánico, las bacterias anaerobias reducen a los compuestos de azufre con un número de

oxidación más elevado. Como es el caso de sulfatos (+6), sulfitos (+4) y determinados aminoácidos. Los compuestos resultantes son principalmente sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptanos y sulfuros orgánicos. El H_2S es el compuesto con mayor impacto oloroso, a ello contribuye su temperatura de ebullición, $0,62^{\circ}C$ a la presión atmosférica, y su bajo umbral de detección de $0,0001 \text{ mg/m}^3$, si bien no lo identifica el olfato hasta $0,03 \text{ mg/m}^3$ (umbral de identificación).

2. Compuestos nitrogenados (amoníaco, aminas): Principalmente de amoníaco, de olor picante y lacrimógeno; aminas con olor intenso a pescado; diaminas con olor a descomposición orgánica (de cadáver); y en menor medida indol y escatol con olor fecal. El amoníaco puede formarse por hidrólisis de los compuestos orgánicos nitrogenados, cuando los tiempos de permanencia son largos. Su umbral de detección fluctúa entre 0,5 a $37 \text{ (mg/m}^3\text{)}$. De la familia de las aminas están presentes en baja concentración en la orina, generalmente son un subproducto del metabolismo bacteriano de aminoácidos.
3. Compuestos oxigenados (Ácidos grasos orgánicos volátiles, aldehídos, alcoholes o cetonas): Estos compuestos son subproductos de la fermentación bacteriana de hidratos de carbono transformados primero en ácidos, provocando un olor avinagrado y progresivamente rancio a medida que la cadena carbonada aumenta de tamaño. En tanto, los Aldehídos desarrollan progresivamente olores irritantes y lacrimógenos, más intensos a medida que aumenta el peso molecular y la cadena carbonada se alarga.

En la Cuadro 1 se recogen los principales compuestos responsables de la aparición de olores en las PTAS.

Cuadro 1: Características de compuestos responsables de olores en PTAS

Clase Compuesto	Compuesto químico	Fórmula química	Carácter del olor	Umbral olfativo mg/Nm ³
Sulfurados	Sulfuro de Hidrogeno	H ₂ S	Huevo podrido	0.0001 a 0.03
	Metilmercaptano	CH ₂ SH	Ajo	0.0005 a 0.08
	Etilmercaptano	C ₂ H ₅ SH	Verdura descompuesta	0.0001 a 0.03
	Dimetilsulfuro	(CH ₂) ₂ S	Legumbre descompuesta	0.0025 a 0.65
	Dietilsulfuro	(C ₂ H ₅) ₂ S	Éter	0.0045 a 0.31
	Dimetildisulfuro	(CH ₂) ₂ S ₂	Pútrido	0.003 a 0.014
	Amoniac	NH ₃	Picante e irritante	0.5 a 37
Nitrogenados	Metilamina	CH ₂ NH ₂	Pescado descompuesto	0.021
	Etilamina	C ₂ H ₅ NH ₂	Picante amoniacal	0.05 a 0.83
	Dimetilamina	(CH ₂) ₂ NH	Pescado	0.047 a 0.16
	Comp. Cíclicos	C ₈ H ₆ NH	Fecal	0.0006
Ácidos Grasos	Nitrogenados	C ₉ H ₈ NH	Fecal	0.0008 a 0.10
	Ac. acético	CH ₂ COOH	Vinagre	0.025 a 6.5
	Ac. butírico	C ₃ H ₇ COOH	Mantequilla Desc.	0.0004 a 3
Aldehídos y Cetonas	Ac. valérico	C ₄ H ₉ COOH	Sudor	0.008 a 1.3
	Formaldehído	HCHO	Agrio, sofocante	0.033 a 12
	Acetilaldehído	CH ₂ CHO	Manzanas	0.04 a 1.8
	Butiraldehído	C ₃ H ₇ CHO	Rancio	0.013 a 15
	Isovaleraldehído	(CH ₂)CHC H ₂ CHO	Manzanas	0.072
	Acetona	CH ₂ COCH ₂	Fruta dulce	1.1 a 240

Fuente: Battle *et al.*, 1996

3.3. Olor

Según la Norma Española UNE-EN 13725, el término olor se define como la “propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias volátiles”.

El ser humano percibe los olores por la mezcla de dos sensaciones: una olfativa y otra irritante. La sensación olfativa está localizada en una pequeña área de la cavidad nasal, afectada por un gran número de sustancias (aprox. 500.000) de las cuales 4000 pueden ser diferenciadas por las células olfativas. La sensación irritante, que depende de las terminaciones nerviosas libres del nervio trigémino, se extiende por todas las membranas mucosas y se manifiesta, también, frente a un gran número de sustancias (aprox. 100.000) generando sensaciones pungentes que se describen como picor, irritación, quemazón, frescor, molestia, etc. Cuando las moléculas olorosas se inhalan, se unen a proteínas receptoras específicas que se extienden desde los cilios de las neuronas sensoriales en el epitelio olfativo, en la zona superior de la nariz (Figura 3). Esta unión molécula-receptor ocasiona una señal eléctrica hacia el cerebro, donde se transforma en una sensación olorosa (Calvet, 2007).

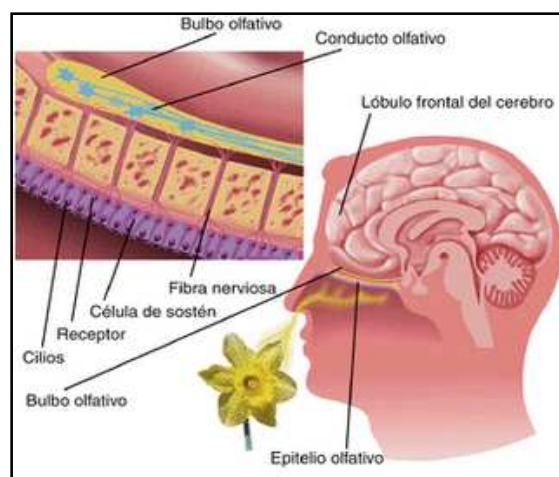


Figura 3: Sistema Olfativo

3.3.1. Características de los olores

3.3.1.1. Concentración

Según la norma europea, UNE EN 13725:2004, la concentración de olor se define como “el número de unidades de olor europeas por metro cúbico en condiciones normales”. La concentración de olor se mide en unidades de olor europeas por metro cúbico (UO_E / m^3). Se calcula a partir del número de veces que hay que diluir un gas para que pueda ser detectado por el 50% de un grupo de personas entrenadas para ello, a este grupo se le denomina panel (Olores, 2009).

3.3.1.2. Intensidad

Es la medida de la fuerza de la sensación percibida, varía según una función exponencial que depende de la concentración (C) en aire del compuesto(s) que lo origina. La ecuación 1 desarrollada por Stevens define la siguiente relación, donde k es una constante y n es el exponente.

$$I_{percibida} = K \cdot C^n \quad (\text{Ecuación 1})$$

Ó también, (ecuación 2)

$$\text{Log}I = \text{log}K + n \cdot \text{log}C \quad (\text{Ecuación 2})$$

Éstas formulas se conocen como la ley de Stevens. Para olores, n varía entre aproximadamente 0.2 y 0.8, dependiendo de la sustancia olorosa.

En un laboratorio, en el contexto de una presentación olfatométrica, un panel es expuesto a un estímulo controlado en términos de intensidad y duración. El nivel de agrado o desagrado en este caso es determinado siempre dependiendo de las experiencias personales y asociaciones emocionales de cada miembro del panel (Olores, 2009).

3.3.1.3. Calidad

Característica que permite describir y diferenciar cualitativamente los distintos olores, la cual puede resultar muy objetiva. Son ejemplos como términos y expresiones tales como rancio, perfumado, olor a sudor, a alcantarilla, a nuez, ha podrido, a quemado, etc. (Berenguer, s.a.)

En el caso de que se presenten simultáneamente dos olores, si la calidad u olor característico de cada uno de ellos es lo suficientemente diferente, podrán distinguirse separadamente. En el otro caso se puede caer en fracasos que se obtienen al intentar enmascarar un olor con otro en teoría agradable (Toro, 2005)

3.3.1.4. Tono Hedónico

Es la propiedad de un olor relativo al grado de gusto o disgusto de una sensación de olor. El grado de agrado o desagrado en este caso es determinado siempre dependiendo de las experiencias personales y asociaciones emocionales de cada miembro del panel (Olores, 2009).

En un ambiente interior suele ser una característica poco significativa ya que la percepción de un olor basada en una combinación entre la frecuencia de aparición, su calidad y su intensidad, incluso olores aceptados con agrado tales como perfumes, comida, café, etc. pueden ser molestos según el momento en que se manifiesten o si se prolongan en el tiempo. Además, una exposición continua y prolongada a ciertos olores puede causar una disminución en la habilidad para percibirlos al desarrollarse una adaptación olfatoria (Toro, 2005).

3.3.1.5. Umbral de olor

Es la mínima concentración de olor percibida por al menos el 50% de la población o de los miembros de un panel de expertos; está representado por un valor estadístico, Existen muchos estudios sobre umbrales de olor y por ende variados rangos de valores de umbrales para compuestos químicos en particular, esto se debe, a la diferencia individual en la

sensibilidad olfativa y de la forma en que se realizan los experimentos detectores de olores (diferentes edades de los miembros del panel, entrenamiento, dilución, etc.).

Se identifican tres términos de Umbral:

- *Umbral de detección o de olor:* Concentración mínima de un estímulo odorífero capaz de provocar una respuesta en el 50% de los miembros de un panel de olores.
- *Umbral de reconocimiento:* Concentración mínima a la que el 50% de los miembros de un panel es capaz de describir el olor de un compuesto.
- *Umbral de molestia:* Concentración a la que sólo una pequeña porción de la población (<5%) manifiesta molestias durante un pequeño transcurso de tiempo (<2%). (Candenas, 2007)

El umbral de detección está relacionado a la intensidad, el de reconocimiento con la calidad y el de molestia con el tono hedónico.

3.3.2. Métodos de medición del olor

Existen dos métodos para caracterizar los olores: métodos analíticos y sensoriales.

3.3.2.1. Métodos Analíticos

Son utilizados para medir la concentración de compuestos químicos específicos presentes en un olor. Estos métodos son adecuados cuando se conoce cuál es el compuesto que genera los olores. Las técnicas más utilizadas son:

a. Cromatografía de gases

Es una técnica de separación de compuestos orgánicos e inorgánicos térmicamente estables y volátiles. Para ello utiliza un Cromatógrafo de gases acoplado con un detector de masas (CG/MS), el cual es un dispositivo de laboratorio, no obstante existen algunas unidades

portátiles para medidas en campo. El CG/MS puede ser usado tanto para identificar como para medir la concentración de un gas. El funcionamiento es el siguiente, muestras de aire muy pequeñas se inyectan en una corriente de gas portador (nitrógeno o helio) que pasa a través de la columna de GC/MS. La columna adsorbe los compuestos químicos en el aire a diferentes velocidades para separarlos. A continuación, el gas portador junto con los compuestos químicos separados pasa por el detector. La señal de salida del detector identifica el compuesto químico y la concentración de éste en la muestra (Análisis Físico - Químico, 2009).

b. Sensores piezoelectricos (narices electrónicas)

Esta tecnología consta de unos dispositivos en los cuales una serie de sensores, de óxido de metal u otros y provisto de un software para reconocer la secuencia de las señales de los sensores; responden a diferentes componentes de una muestra de olor y se obtiene lo que se llama “huella de olor”.

El funcionamiento está basado en una serie de sensores que se usa para medir un gas específico o mezcla de gases. La respuesta de los sensores se compara con las señales de los sensores medidas antes y clasificadas usando técnicas de reconocimiento de patrones (Narices electrónicas, 2009).

c. Tubos colorimétricos

Este método identifica de manera cuantitativa la presencia de un gas. Los tubos colorimétricos son tubos de vidrio con ambos extremos cerrados. Para su funcionamiento, se rompen las puntas de ambos extremos y el tubo se acopla en una bomba de mano. La bomba hace pasar a través del tubo un volumen de gas oloroso conocido. El medio reacciona en el tubo y cambia de color según el tipo de gas que haya en la muestra. Para medir la cantidad de medio que reacciona con el gas se usa una escala, la cual indica la concentración del gas detectado (Análisis Físico Químico, 2009)

d. Sensores Electroquímicos

Los sensores electroquímicos son utilizados en equipos portátiles de monitoreos de gases y es posible medir hasta tres gases en paralelo. Dentro de los gases odorantes que son posibles de medir están el Amoniaco, Sulfuro de Hidrógeno y Mercaptanos.

El aire monitoreado por estos equipos difunde a través de una membrana al electrolito líquido contenido al interior del sensor. Este electrolito contiene un electrodo sensible, un electrodo de cuenta y un electrodo de referencia. El flujo de electrones producidos a partir de la reacción química entre el gas monitoreado y el electrolito, reacciona electroquímicamente con el electrodo de cuenta generando una medida de concentración de dicho gas (Gutiérrez, 2008).

3.3.2.2. Métodos sensoriales

Estos métodos utilizan asesores humanos para medir el olor, la técnica más usada es la olfatometría, entre otras como:

a.- Psicometría

Es la evaluación de las molestias causadas a los pobladores mediante el reparto de cuestionarios a la población afectada aledaña. Se realiza mediante un análisis estadístico el cual detecta las zonas más afectadas cercanas a la actividad o industria emisora de olores.

b.- Inspecciones de Campo

El objetivo es registrar los olores que son inmediatamente reconocibles bajo condiciones reales de campo, para estimar el grado de molestia en una determinada área mediante el uso de las capacidades olfatorias de un grupo de personas (panel de olor) entrenadas para ello, en la Figura 4 se presenta un ejemplo de panel de olor.



Figura 4: Panel de olor

c.- Olfatometría

Es la medida de la respuesta de un panel de evaluadores a estímulos olfativos. Para la medición se utiliza un aparato llamado olfatómetro en el cual una muestra de gas oloroso se diluye con gas neutro en una proporción definida y se presenta a los evaluadores (UNE EN 13725, 2004). Se destacan dos métodos la Olfatometría Dinámica y la Olfatometría de Campo.

En la olfatometría dinámica el proceso de muestreo consiste en almacenar aire contaminado dentro de bolsas Tedlar, para ser transportado al laboratorio para su análisis en un tiempo que no puede exceder las 30 horas (UNE EN 13725, 2004). El análisis se realiza mediante un instrumento llamado olfatómetro el cual funciona de la siguiente forma: la muestra es continuamente diluida con otra corriente de aire libre de olor usando un dispositivo de dilución adecuada controlada por un caudalímetro. El aire oloroso se presenta a un grupo de personas que conforman un panel de olor (normalmente 6). El operador del Olfatómetro presenta al panel diferentes diluciones de aire olorosas o libres de olor y cada panelista debe señalar en qué momento detecta un olor. La unidad de medida es la Unidad de Olor.

La Olfatometría de campo se define como la combinación de las inspecciones de campo con el uso de un olfatómetro de campo. Un olfatómetro de campo permite crear una serie calibrada de diluciones discretas mediante la mezcla del olor ambiental con aire libre de olor. La olfatometría de campo define cada nivel discreto de dilución como el cociente “Dilución hasta el Umbral” el cual determina la dilución necesaria para que el olor ambiental no se detecte (Olor, 2009).

3.3.3. Unidad de Olor

El término Unidad de Olor se origina de la norma Europea EN 13725:2003. Esta norma se basa en una metodología sensorial en la que el sensor es un panel humano, técnica que es llamada olfatometría dinámica. El método mide la concentración de olor por medio de unidades de olor. De la norma surgen los siguientes conceptos:

Masa de olor de Referencia Europea (MORE): valor de referencia aceptado para la unidad de olor europea, equivalente a 123 µg de n-butanol, que, evaporado en 1 m³ de gas neutro, da lugar a una concentración de 0,040 mmol / mol.

Unidad de olor europea (OU_E): cantidad de sustancias odoríferas que, cuando se evaporan en 1 m³ de un gas neutro en condiciones normales, originan una respuesta fisiológica de un panel equivalente a la que origina una Masa de Olor de Referencia Europea (MORE) evaporada en 1 m³ de un gas neutro en condiciones normales. Es decir, existe una relación sólo a nivel de respuesta fisiológica (umbral de detección), donde:

$$1 \text{ MORE} = 123 \mu\text{g nbutanol} = 1 \text{ UO}_E \text{ para la mezcla de sustancias olorosas} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Esta equivalencia es la base de la trazabilidad de las unidades de olor para cualquier sustancia olorosa a la de la sustancia olorosa de referencia. Expresa efectivamente las concentraciones de olor en términos de “equivalentes máxicos de n-butanol” (EN 13725,

2004). La concentración de olor se mide por medio de su umbral olfativo, en base a los siguientes pasos (Candenas, 2007):

1. Selección y calibración del panel de olores
2. Panel de 4 a 6 personas se reparten una muestra olorosa la que es diluida con aire limpio a 20°C.
3. Se cuenta el número de veces que debe diluirse la muestra para que al menos el 50% del panel pueda distinguir la diferencia entre el aire limpio y la muestra.
4. El número de diluciones es equivalente a las unidades de olor por m³ de aire a 20°C.

En el Cuadro 2 se indica las ventajas y desventajas que se originan al realizar mediciones a través de Unidades de Olor.

Cuadro 2: Ventajas y desventajas al realizar mediciones en base a Unidades de Olor.

Ventajas	Desventajas
- Índice de medición generalizado (idioma común)	- No distingue tipo de olor
- Cuantifica el impacto del olor	- Debido a la variabilidad de personas que sirven de Panel de olor, los datos varían de laboratorio a laboratorio

3.3.4. Legislación

Una legislación por contaminación de olores aún no existe, actualmente sólo existen normas y estándares sobre medición de olores. Los países desarrollados y con una población superior a Chile son los que tienen una legislación elaborada. Esto es porque la principal fuente de quejas proviene de los habitantes de áreas residenciales, que se acercan a áreas industriales por la falta de terreno urbano y por el precio más económico de estas zonas. En tanto, en Chile actualmente está en consulta pública la próxima Norma de calidad de aire Nch 3190 “Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica”.

3.3.4.1. Legislación Internacional

En la Cuadro 3 se presenta un resumen de la situación internacional aplicada en países generalmente con un desarrollo industrial más avanzado, es decir, que han abordado la problemática con criterios mayormente elaborados en el tiempo. Es posible que estos criterios pudieran ser aplicados para Chile (Consulta Pública la Norma Chilena Nch 3190).

Cuadro 3: Resumen Normativo Internacional para olores

Criterio	Objetivo	Países
Establecimiento de un marco legal basado en leyes que eviten molestias	Protección de la calidad de vida	EE.UU., Canadá
Establecimiento de valores límite de concentración y emisión para compuestos químicos.	Regulan H ₂ S, NH ₃ , ácidos orgánicos, hidrocarburos aromáticos, etc.	EE.UU., Japón, Corea
Establecimiento de valores límite de concentración de olor en inmisión.	Basado en la Olfatometría Dinámica	Holanda, Dinamarca, Irlanda, Austria, Reino Unido, EE.UU., Canadá, Corea, Taiwán, Nueva Zelanda, Australia, etc.
Establecimiento de frecuencia y duración de los episodios problemáticos.	Regulación de los periodos de contaminación.	Alemania
Establecimiento de distancias mínimas de separación.	Distancias fijas de separación, distancias mínimas variables	Europa, Australia
Establecimiento de una escala de graduación de olor	-----	Alemania, Suiza, Australia.

(Continúa)

Cuadro 3: Resumen Normativo Internacional para olores (continuación)

Criterio	Objetivo	Países
Establecimiento del índice de olor	Determinación del índice de olor	Japón
Establecimiento del registro de quejas.	Determinación del umbral de quejas.	EE.UU., Nueva Gales del Sur, etc.
Establecimiento de criterios cuantitativo de emisión	Olor y compuestos químicos	EE.UU., Dinamarca, Alemania, Holanda, etc.

Fuente: LABAQUA, 2009

a. Unión Europea y España

Se comienza a abordar la problemática de olores en Europa en 1970, pero toma mayor relevancia con la presentación en 1995 de una normativa técnica sobre la medición de olores por métodos olfatométricos, EN 13.725 aprobada en el 2003.

Esta norma define un método para la determinación objetiva de la concentración de olor de una muestra gaseosa usando olfatometría dinámica con evaluadores humanos y de la velocidad de emisión de olores que emanan variadas fuentes (UNE-EN13725,2004). Utiliza como base de medida las unidades de olor europeas (UO_E).

En tanto, la legislación española como primera referencia de importancia está en la Ley 38/1972 de protección del ambiente atmosférico, que exige la adopción de medidas para mantener la calidad y pureza del aire, determinando los niveles de inmisión, entendiéndose como tales los límites máximos tolerables de presencia en la atmósfera de cada contaminante, aisladamente o asociado con otros.

b. Holanda

La experiencia en el tema de olores comenzó en los años 80' y tomó mayor fuerza a mediados de los 90'. El protocolo consistió fundamentalmente en recopilar la información

básica necesaria de cada una de las quejas por malos olores recibidas en los ayuntamientos (situación del vecino que se queja, hora del día, duración de la molestia, tipo de olor, etc.). A partir de estos cuestionarios y con los datos de los mapas de olores existentes en la zona, se establecieron los valores máximos de concentración en inmisión, dando como resultado la elaboración del mencionado método NVN 2.820. Los niveles máximos se establecen en UO/m³ y percentiles. Esto fue el resultado de los estudios realizados sobre quejas de la población, en los que se demostró que los principales factores responsables de las quejas eran la concentración de olor y el tiempo de exposición. Sin embargo, en 1994 el Parlamento decidió abandonar los valores propuestos en esta guía. El principal argumento era que los límites anteriormente mencionados eran considerados excesivamente estrictos y, sobre todo, porque no tenían en cuenta el tipo de olor emitido y su carácter hedónico (que define el mayor o menor rechazo a un determinado olor), ni la concentración de olor de fondo de una determinada zona. La nueva política concede mayores responsabilidades a las autoridades municipales. El ministro notificó en 1995, la nueva política holandesa sobre malos olores. Este documento es actualmente la guía de referencia para todos los ayuntamientos en Holanda (Martínez *et al*, 2003).

c. Estados Unidos

En EE.UU. la regulación de olores es de responsabilidad estatal y local. En este país existen tres tipos básicos de regulaciones para los olores en base a molestias, a quejas y a normas ambientales (Toro, 2005).

- Regulación basada en Ley de Molestia: Esta ley, expone que si una queja de olor es recibida en la agencia correspondiente, un inspector investiga la molestia en relación con la intensidad, carácter y frecuencia de la percepción de la sensación de olor. A menudo se dificultan las acciones que se deben seguir ya que no existe la definición del punto final del problema, el que en general es de carácter subjetivo

- Regulación basada en Quejas: En EE.UU. este tipo de regulación varía para cada municipio. Estas pueden ser activadas por el número total de quejas, el número total de quejas recibidas en un periodo determinado y el porcentaje de residentes que consideran un olor inaceptable.
- Regulación basada en Normas Ambientales: La norma ambiental define un olor molesto como el número de diluciones necesarias para hacer que un olor no sea detectable. La guía de calidad del aire utiliza las emisiones límites en conjunto con modelos de dispersión.

d. Japón

Para la regulación de olores Japón se rige en base a La Ley de Control de olores ofensivos que fue promulgada en 1971 y actualizada en 1995 y 1997. Esta ley identifica a 22 compuestos como substancias olorosas ofensivas y establece valores límites a cada uno de ellos, dentro de estos se pueden mencionar el Amoniaco, Mercaptano del Metilo, Sulfuro de Hidrogeno, Dimetilsulfuro, Disulfuro de Dimetilo, Trimetilamina, Acetaldehído, Estireno, Ácido Propionico, Ácido n-butirico, Ácido n-valerico, Ácido isovalerico, entre otros (Gutiérrez, 2008).

Los valores de umbrales de olor, contenidos en la ley de control de olores ofensivos, son determinados por un panel entrenado (seis panelistas), en una habitación libre de olor. Este panel huele las muestras directamente y entrega sus respuestas de intensidad de olor (Toro, 2005). La regulación de los gases ofensivos se define en la ley según tres criterios:

1. Olor ofensivo proveniente de la superficie de la tierra con límite de propiedad.
2. Olores ofensivos descargados desde chimeneas u otra emisión desde una fábrica.
3. Olor ofensivo proveniente de las aguas servidas descargadas fuera del límite de la propiedad.

La evaluación de la intensidad de olor, es según los puntos señalados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Escala de intensidad de olor, según Japón

Escala	Intensidad de Olor
0	Sin olor
1	Apenas Perceptible (umbral de detección)
2	Débil, pro identificable (Umbral de reconocimiento)
3	Fácilmente perceptible
4	Fuerte
5	Repulsivo

Fuente: Ley N°91, 1971.

e. Alemania

El instrumento de regulación de olores en Alemania es la Guía sobre el Olor al Aire Ambiente de 1999, que corresponde a la versión de la Directiva de olores de 1994 (Gutiérrez, 2008). En esta Guía se señalan dos métodos básicos para determinar la frecuencia de olor. Primero, las medidas de campo con paneles y segundo, el uso de modelos de dispersión. La Guía Alemana VDI 3940, establece los lineamientos y estándares para la determinación de olores en el medio ambiente utilizando paneles (miembros). El parámetro de medición introducido es el “porcentaje de tiempo de olor”, el cual representa cuan frecuente los odorantes en el aire ambiente exceden un umbral de reconocimiento de manera que se hace definitivamente identificable por el observador. (VDI 3940, 1993).

3.3.4.2. Legislación Nacional

El problema de la contaminación odorífica es que aún no ha sido abordado completamente, y actualmente existen dos proyectos de ley, para los cuales ya finalizó la consulta pública.

El ministerio de Salud en 1961 dicta el decreto 144 que establece normas para evitar emanaciones o contaminantes de cualquier naturaleza. En su artículo 1° dispone que “Los

gases, vapores, humos, polvo, emanaciones o contaminantes de cualquier naturaleza, producidos en cualquier establecimiento fabril o lugar de trabajo, deberán captarse o eliminarse en forma tal que no causen peligros, daños o molestias al vecindario” (D.S. N° 144, 1961), no obstante no indica valores de emisión o inmisión de aquellas emanaciones. Además de esta norma, existen diversas ordenanzas municipales que tratan la contaminación por olores de manera muy genérica, dentro de las que se pueden mencionar (Gutiérrez, 2008):

- Ordenanza N° 5 de la Municipalidad de La Florida.
- Ordenanza N° 10 de la Municipalidad de Ñuñoa.
- Ordenanza N° 5 de la Municipalidad de Coyhaique.
- Ordenanza N° 2 de la Municipalidad de lo Barnechea.

La única norma que expresa concretamente el tema de olores es la norma de emisión dictada en 1999, se trata del D.S. N°167 que establece Norma de Emisión para Olores Molestos (Compuestos Sulfuro de Hidrógeno y Mercaptanos: Gases TRS) Asociados a la fabricación de Pulpa Sulfatada del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Esta norma fue generada a causa de los malos olores producidos por la creciente actividad industrial relacionada a la producción de celulosa que realizan un proceso denominado Kraft o al sulfato, que afecta principalmente a las Regiones VII del Maule, VIII del Bío Bío y IX de La Araucanía. Tal Decreto tiene como objetivo prevenir y regular la emisión de olores molestos mediante el control de la emisión de gases TRS, provenientes de la fabricación de la celulosa. Establece las cantidades máximas de gases TRS permitidos en el efluente; la metodología de medición y control, plazos y niveles programados de cumplimiento de la norma. La fiscalización corresponde a los Servicios de Salud donde se encuentren emplazados los establecimientos regulados por el decreto (Canales *et al*, 2007).

Actualmente, han sido presentados dos proyectos que modifican la Ley N° 19.300, en relación con la contaminación olfativa, en términos generales son:

- Boletín 4846-12, inició su tramitación el 23 de Enero de 2007. En este momento, el proyecto se encuentra en consulta pública a la espera de la expedición del primer informe de la Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente.

El proyecto establece considerar como olores molestos aquellos que son detectables luego de diluir 7 veces o más con aire libre de olor, utilizando un olfatómetro Nasal Ranger o cualquier otro instrumento que realice series discretas (Gutiérrez, 2008). Además, pretende introducir controles, e incluso sanciones, como cierres o ceses de actividad a quienes infrinjan la regulación relativa a contaminación olfativa, con el objeto de garantizar la calidad de vida de las personas y el Derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación mediante la regulación de los olores molestos (Ferrada, 2008).

- Boletín 4982-12, inicio tramitación el 12 de abril de 2007, se encuentra en el mismo estado de tramitación que el anterior nombrado.

Éste propone implementar la unidad europea de olor (UO_E), estableciendo como contaminación olfativa cuando la concentración de olor es superior a 10 unidades de olor (Gutiérrez, 2008). En caso que una unidad productiva infrinja el máximo de emisión definido en el proyecto, el servicio de Salud Pública Provincial respectivo procederá a cursar una multa y suspender sus actividades (Ferrada, 2008).

3.4. Aplicación de los modelos de dispersión en los estudios de impacto de olores

Actualmente, para la cuantificación de las concentraciones de olor en entorno de la(s) fuente(s) emisora(s) en países como Holanda, Inglaterra, España, entre otros, utilizan la aplicación de modelos matemáticos de dispersión de contaminantes.

La ecuación básica de dispersión gaussiana ha sido aplicada para la modelización práctica de múltiples fuentes y los receptores de olor. Los modelos más complejos permiten la aplicación tanto para fuentes puntuales como de área, también cuenta con factores como la topografía, meteorología y los efectos de turbulencia del sitio en cuestión (Stuetz, R. y Frechen, F., 2001).

Los modelos de dispersión más recurrentemente aplicados para la dispersión de olores para Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas se indican en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Lista de Modelos de dispersión recurrentemente usados para modelar olores en Plantas de Tratamientos.

Modelos	Desarrollador	Tipo
ISC	USEPA	Modelo pluma Gaussiana
AERMOD	Sociedad Americana de Meteorología y	Estado continuo penacho
	USEPA	modelo Gaussiano
SCREEN	USEPA	Estado continuo penacho modelo Gaussiano
ADMS	Consultores de investigaciones Ambientales de Cambridge	Tipo Gaussiano avanzado

Fuente: Stuetz y Frechen, 2001

Generalmente, las simulaciones se realizan a percentil 98 y/o 99, dependiendo de la normalización de cada país.

3.5. ISC – AERMOD: Modelo de dispersión gaussiano

El programa ISC - AERMOD® (AERMOD VIEW 6.0, AERMIC (American Meteorological Society (AMS)/United States Environmental Protection Agency (EPA) Regulatory Model Improvement Committee), USA) está avalado por la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA) para estimar los impactos en la calidad del aire debido a una o más fuentes de contaminación. El modelo calcula la dispersión de un contaminante en estado permanente, suponiendo que éste se dispersa obedeciendo a una ecuación de tipo Gaussiano. Los modelos Gaussianos se caracterizan por:

- Emisiones continuas de partículas y gases
- No existen reacciones químicas
- Condiciones estacionarias
- El viento es uniforme en todo el dominio

En el Cuadro 6 se indican las ventajas y desventajas de la aplicación de estos modelos.

Cuadro 6: Ventajas y desventajas de los modelos Gaussianos

Ventajas	Desventajas
- Simples de usar	- Sólo simulan trayectorias rectilíneas.
- Requieren poca información meteorológica	- Campo de vientos homogéneo
- Pueden simular impactos en condiciones extremas	- Problemas con velocidades muy bajas (calmas)
- Utilización de distintos tipos de fuentes: puntuales, lineales y areales.	

Fuente: Elaboración propia

AERMOD es un sistema de modelación de emisiones que simula procesos atmosféricos físicos y provee estimaciones de concentración sobre un amplio rango de condiciones

meteorológicas y escenarios de modelación. Es aplicable tanto a áreas rurales como a urbanas, terrenos planos y complejos, y a variados tipos de fuente como puntuales, lineales, areales y volumétricas. AERMOD incluye dos pre-procesadores de datos AERMET y AERMAP.

AERMET es un pre-procesador meteorológico, que simula procesos en la capa límite y calcula otros parámetros necesarios para el funcionamiento de AERMOD, aceptando datos de fuentes ubicadas tanto en el sitio como fuera de él. En la capa límite estable asume que la distribución horizontal de las concentraciones es Gaussiana tanto para el eje x como el eje y, pero la distribución vertical es descrita mediante una función de Densidad de Probabilidad Bi-Gaussiana. En consecuencia, AERMET crea dos archivos: un archivo de datos de superficie y un archivo de datos de viento (Gestión Ambiental Consultores, 2007).

Los datos de entrada necesarios para AERMET son:

- Velocidad y dirección de viento
- Temperatura
- Humedad Relativa
- Presión atmosférica
- Altura y cobertura de nubes
- Radiación Solar
- Precipitaciones

Cabe destacar que los datos de Presión atmosférica, Precipitaciones y Radiación global son opcionales, es decir, el modelo permite no ingresarlos y considerar la peor condición atmosférica entre las combinaciones predefinidas.

AERMAP es un pre-procesador de topografía, usa los datos del terreno para calcular una altura de influencia representativa del terreno, también referida como escala de altura del terreno. Este pre-procesador es usado también para crear grillas de receptores (Gestión

Ambiental Consultores, 2007). Además, define elevaciones de Terreno automáticamente (en soporte DEM, NTF, DTM, CDED, GTOPO30 & XYZ).

Los factores topográficos son la orografía del terreno, rugosidad de la superficie, el albedo y razón de Bowen.

La rugosidad superficial está asociada a cuan áspero es la superficie de un cuerpo, puede producir una reducción en la velocidad del viento en las capas atmosféricas cercanas a la superficie terrestre, en caso de suelos con alta rugosidad.

Se define albedo (α) como la fracción de la radiación solar incidente que es reflejada. Varía desde 0,95 sobre la nieve fresca hasta 0,05 para suelos mojados oscuros (Garreaud, 2005).

La razón de Bowen (β) se define como la razón entre el flujo de calor sensible y el flujo de calor latente sobre una superficie. β es más pequeño para superficies húmedas, donde hay mayor energía para la evaporación, y más grande para superficies secas. Típicamente tiene valores de 5 para regiones semiáridas, 0,5 para prado y bosques, 0,2 sobre zonas de riego y 0,1 sobre el océano (Garreaud, 2005).

3.5.1. Supuestos del Modelo

Como numerosos tipos de modelos, AERMOD se basa en una serie de supuestos para simular la dispersión de los contaminantes. Los principales son:

- Fuente de emisión constante
- Existencia de un flujo y condiciones meteorológicas constantes
- Conservación de la masa al interior de la pluma
- Transporte constante en dirección horizontal
- Se ignoran los cambios de la velocidad del viento con la altura

3.5.2. Limitaciones del Modelo

Las principales limitaciones que presenta el modelo son:

- Asume que los contaminantes son transportados en línea recta hacia el receptor
- “Fallan” cuando ocurren condiciones de baja velocidad del viento o condiciones de calmas
- No considera las transformaciones químicas para los contaminantes

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo de estimación de dispersión de olores que se elaboró en esta memoria, fue implementado en Chile, específicamente en la Región Metropolitana. El área de estudio se encuentra emplazada en la Planta de Tratamiento de Agua Servida La Farfana ubicada en la comuna de Maipú.

Características generales de la zona de estudio

La comuna de Maipú pertenece administrativamente a la Provincia de Santiago, Región Metropolitana. Se encuentra al sur poniente del Área Metropolitana de Santiago. La altura promedio aproximada de la zona son 480 msnm, con planicies generalmente planas. En tanto, al clima, la zona presenta el tipo templado cálido, con una estación seca prolongada de 6 a 8 meses al año, la temperatura media anual es de 14°C, el mes más cálido corresponde al mes de Enero, y el mes más frío corresponde al mes de Julio. Las precipitaciones decrecen de la costa hacia la depresión intermedia, para aumentar nuevamente en la cordillera de Los Andes, alcanzando promedios anuales de 360 mm. (Aguas Andinas, 2000).

4.1. Materiales

- Software ISC-AERMOD View
- Monitoreos de gases odorantes en PTAS La Farfana años 2006, 2007 y 2008:
 - Amoniac (NH₃)
 - Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)
 - Dimetil Sulfuro (DMS)
- Base de datos desde 2006 hasta 2008 de Estación Meteorológica de la PTAS La Farfana, mediciones los 365 días del año las 24 horas cada 15 minutos, tales como:
 - Velocidad del viento
 - Dirección del viento
 - Humedad Relativa
 - Temperatura
 - Radiación Solar
- Base de datos Paneles de olor años 2008 - 2009
- Base de datos Monitoreo Continuo de olores (caminantes)
- Norma UNE – EN 13725, Guía Alemana VDI 3940
- Modelo Digital de Elevación (DEM) de la zona a modelar, otorgado por el área de SIG de la empresa
- Modelación de gases odorantes campañas anteriores (2006 – 2008)
- Mediciones de olor, a través de Olfatometría Dinámica año 2009
- Bibliografía existente relacionada al tema a investigar.

4.2. Método

El método utilizado se diseño de acuerdo a los objetivos propuestos y a las etapas que exige la entrada de datos del programa ISC- AERMOD. Este programa es aplicado para calcular la concentración de olor resultante en un determinado punto (x,y,z) como consecuencia de la emisión ejercida por la o las fuentes en cuestión. En la Figura 5 se resume en un diagrama la metodología utilizada en la aplicación del modelo.

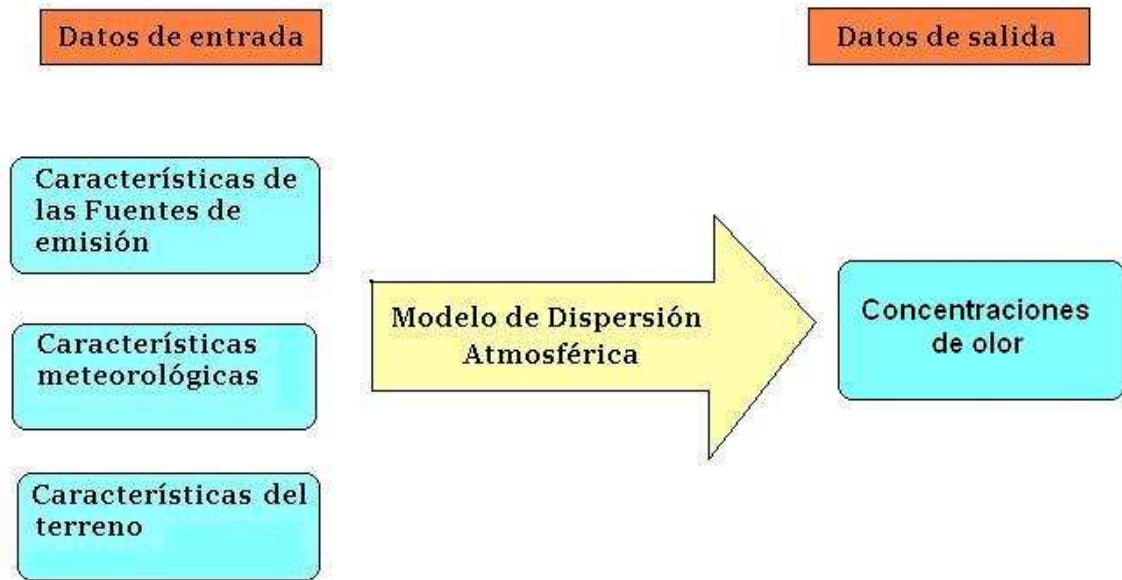


Figura 5: Diagrama de aplicación del modelo AERMOD para cálculo de olores.

(Fuente: Elaboración propia)

La primera etapa fue la cuantificación de la tasa de emisión de olor ($UO_E/m^2 \text{ hr}$) en base a las mediciones de gases odorantes ($mg/m^2 \text{ hr}$) de campañas de años anteriores y por medio de la técnica de olfatometría dinámica.

Se procedió con la aplicación del modelo, el cual posee dos procesadores: AERMET para los datos meteorológicos; y AERMAP para los datos topográficos. Los datos meteorológicos requeridos por el módulo AERMET son los siguientes: dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, cobertura nubosa, radiación, altura de nubes y precipitación. Algunos de ellos fueron proporcionados por la Estación Meteorológica La Farfana, en el apartado 4.3.1. *Variables meteorológicas* se explica en detalle la obtención de cada una de estas variables.

Se continuó con el procesamiento de datos topográficos, en base a la información proporcionada por el SIG de la empresa para el uso del modelo de elevación de la zona estudio. Para finalizar la aplicación del software se procedió a la simulación de la pluma de olor, la cual entrega como resultado los niveles de concentración de olor (UO_E/m^3), a través de un radio de alcance de olores (pluma de olor).

A continuación, se comparan los resultados arrojados por el modelo con el actual sistema de control y monitoreo realizado por la empresa, a través de mediciones de terreno de tipo sensorial como son los Paneles de Olor y Sistemas de Monitoreos Continuos.

Para ultimar el estudio se realizó un análisis de los límites de inmisión regulados actualmente en el tema de olores. Debido a la ausencia de normativa en Chile los resultados fueron comparados con Normativa Internacional.

4.2.1. Características de las fuentes de emisión

Las unidades de procesos a monitorear pertenecen tanto a la línea de agua como a la de lodos y fueron escogidas debido a que son las fuentes que presentan mayor cantidad de compuestos que generan eventos de olores, son enumeradas en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Fuentes emisoras muestreadas

	ID	Nombre Unidad	Tipo de Superficie
Línea de aguas	100	Pozos Gruesos ²	SL*
	600	Clarificador primario	SL
	800	Estanques Aeróbicos	SLA**
Línea de lodos	1000	Clarificador secundario	SL
	1500	Flotadores de lodo	SL
	1600	Espesadores de lodo	SL

Fuente: Elaboración propia

*Superficie Liquida

**Superficie Aireada

El detalle de las dimensiones de cada unidad en metros se encuentra en el *Apéndice I apartado B*.

4.2.2. Cálculo de emisiones de olor por cada fuente

El cálculo se llevó a cabo por medio del método sensorial de olfatometría dinámica.

Inicialmente se determinaron las fuentes a evaluar, siendo aquellas que presentan las mayores áreas descubiertas para la posible emisión de olores, posteriormente el número de muestras a evaluar para cada unidad. Se presenta el programa de muestreo en el Cuadro 8. Además, en el *apéndice I apartado A* se detalla ejemplos descriptivos de ciertas unidades con sus respectivos puntos de muestreo.

² Proceso perteneciente a la Unidad de Tratamiento Preliminar. Agua cruda con alta concentración de olor.

Cuadro 8: Programa de muestreo de olores

	Unidad	Tipo de Superficie	Puntos de muestreo	N° de muestras por punto de muestreo	Total de muestras
Línea de aguas	Tratamiento Preliminar	SLNA	1	3	3
	Clarificador Primario	SLNA	2	2	4
	Clarificador Secundario	SLNA	2	2	4
	Tanques Biológicos	SLA	2	2	4
Línea de lodos	Flotadores lodo secundario	SLNA	2	2	4
	Espesador de lodos	SLNA	2	2	4
				TOTAL	23

Fuente: Elaboración propia

Todas estas unidades son superficies líquidas, las cuales fueron clasificadas en dos grupos: superficies líquidas aireadas (SLA) y superficies líquidas no aireadas (SLNA).

Para las SLNA se utilizó para la medición una Cámara de flujo dinámica o Túnel de viento, es decir, funciona como una cúpula estática cerrada (Figura 6). Esta cámara permite cuantificar el flujo de emisión de los olores emitidos por la superficie sin perturbar su emisión natural. Además, para generar un flujo de aire en condiciones normales dentro de la cámara, esta es alimentada por aire puro a través de un ventilador. La muestra es succionada por un extractor de aire, que funciona con el mismo caudal que el alimentador.

En tanto, para las SLA se utilizó una Campana - chimenea la cual funciona como una cúpula estática abierta (Figura 7). Se utilizó esta campana debido al efecto que genera el flujo de aire inyectado desde el fondo de los estanques, el cual ingresa a la cámara por el sistema de chimenea abierta, que permite liberar la carga dinámica adicional desde el

interior de la campana. Un ducto cilíndrico “chimenea” esta adherido a la parte superior de la campana, dentro del cual se introduce por la parte superior, una sonda que transporta el flujo de aire hasta el equipo de toma de muestra.



Figura 6: Túnel de viento

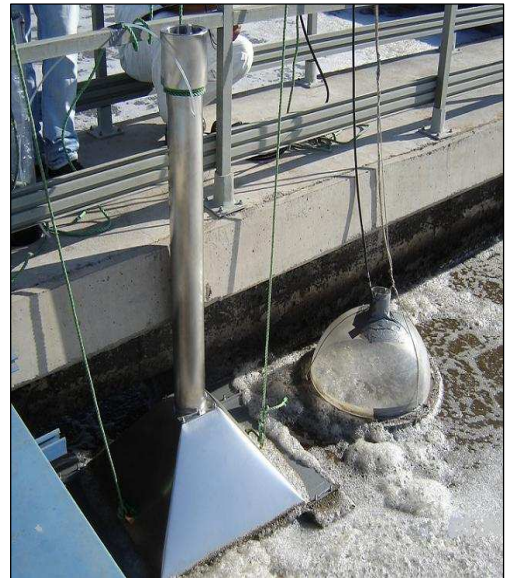


Figura 7: Campana - chimenea

Las muestras de aire “contaminado” son almacenadas en bolsas de tedlar (Figura 8), un material especial que no absorbe el olor, resistente a la impregnación del gas asegurando la integridad de la muestra. En seguida con un equipo de toma de muestra estándar, formado por una cámara de vacío (Figura 9) que creó la fuerza necesaria para succionar la muestra (muestreo triplicado en terreno) y aire sintético para diluir la muestra.



Figura 8: Bolsa Tedlar



Figura 9: Cámara de vacío

El análisis olfatométrico se realizó dentro de las 30 horas, como indica la norma española UNE EN 13725:2004, después de haber tomado la muestra para evitar degradaciones.

El análisis olfatométrico se efectúa mediante un olfatómetro³ el cual utiliza el olfato humano como detector de olores. Primeramente se selecciona un panel de personas que utilizando un gas de calibración, el n-butanol, para seleccionar candidatos con umbrales muy parecidos; que actuarán como evaluadores de olor de las muestras tomadas en las unidades de proceso. El panel está formado por un mínimo de 4 personas previamente entrenadas conforme a la norma UNE EN 13725:2004, la cual indica los requisitos y comportamientos para los evaluadores y miembros del panel.

Las muestras fueron dispuestas al panel a través de un olfatómetro (Figura 10), que es un sistema de dilución que mezcla aire puro con la muestra de aire contaminado. Por medio de una boquilla se le ofrece al panelista la muestra diluida y otra muestra de aire puro, de forma aleatoria. Las respuestas (SI / NO) que cada uno de los evaluadores emite, son recogidas y procesadas por un sistema informático, el cual calcula estadísticamente a partir

³ Equipo dilutor que permite obtener diluciones conocidas de una muestra

de los umbrales de olor obtenidos para cada uno de los panelistas, la concentración de olor de la muestra. Los resultados se expresan en unidades de olor europeas por metro cúbico (UO_E/m^3).

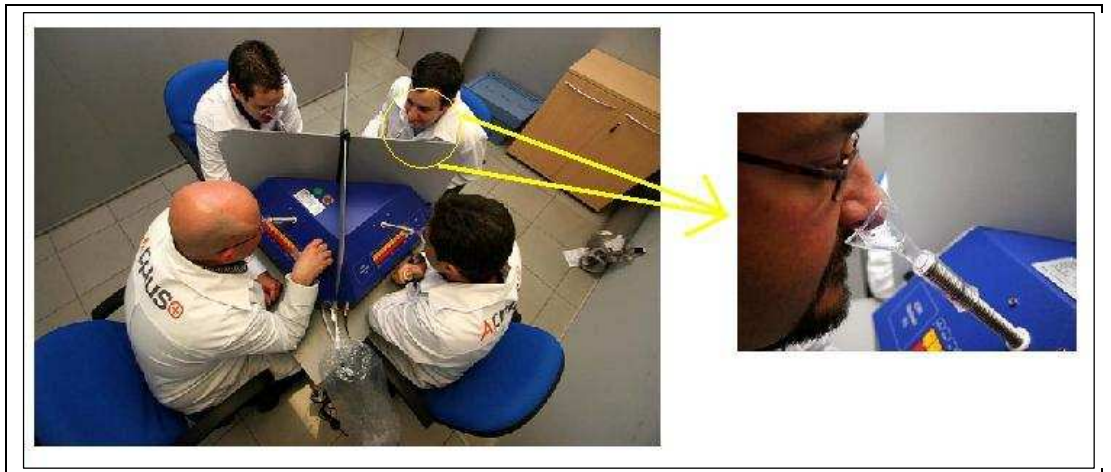


Figura 10: Olfatómetro

4.2.3. Modelización de la dispersión de olores

Las concentraciones de inmisión entorno a la PTAS La Farfana fueron estimadas por medio del modelo de dispersión atmosférica, ISC – AERMOD, el cual permite establecer cómo se propagan los olores producidos por las unidades de proceso de la Planta, con el objetivo de determinar el grado de molestia que puede ser esperado en el entorno de la misma.

Primeramente se trabajó con el preprocesador AERMET, el cual prepara los datos de superficie horarios y datos de meteorología en altura. Los parámetros del terreno fueron trabajados en términos anuales, además el sistema entrega valores automáticamente según el tipo de uso de suelo, como es para la rugosidad del terreno, albedo y razón de Bowen. Para este estudio se utilizó la opción de zonas cultivadas debido a que el sector además de ser clasificado como rural, el uso predominante del suelo es agrícola.

4.2.3.1. Variables Meteorológicas

Aguas Andinas cuenta con una estación meteorológica en cada PTAS, para este caso se tomaron los datos de la Estación La Farfana, que realiza mediciones todo el año, las 24 horas cada 15 minutos, arrojando resultados de temperatura, velocidad y dirección del viento; y Humedad Relativa. El modelo, además de estas variables trabaja con Radiación Solar, Presión Atmosférica, Cobertura Nubosa, Altura de Nubes y Precipitación. Por consiguiente, estos últimos datos fueron determinados en forma independiente debido que no son proporcionados por la Estación meteorológica de la Planta.

La ordenación y obtención de las variables meteorológicas fueron trabajadas en planillas de cálculo, y luego importadas al preprocesador AERMET.

La Estación Meteorológica La Farfana se encuentra a una elevación de 481 m.s.n.m, la altura de anemómetro es 10 metros y su ubicación geográfica es: 33° 28' 33'' (Latitud Sur) y 70° 47' 26'' (Longitud Oeste).

Los parámetros de la superficie detallados en el Cuadro 9, fueron desarrollados para suelos cultivados, debido que el uso de suelo que predomina en la zona estudio es el uso agrícola.

Cuadro 9: Parámetros estándares de superficie para suelos cultivados entregados por el modelo

Albedo	0.28
Razón de Bowen	0.75
Rugosidad de Superficie	0.0725

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo AERMOD

Para los resultados de pluma de olor generados por el modelo AERMOD, se consideró tres años de meteorología (2006 – 2008) para obtener condiciones más representativas de la zona.

a. Cobertura Nubosa

La cobertura nubosa corresponde a la cantidad de área de cielo cubierta a causa de la presencia de nubes en la atmósfera, por términos del modelo se calculó en décimos. Al no contar con datos de nubosidad se estimó con la siguiente expresión (Ecuación 4):

$$C = A \left[1 - \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^B \right]$$

(Ecuación 4)

Donde:

R_s : Radiación efectiva incidente, [W/m²].

R_o : Radiación teórica, para cielos despejados, [W/m²].

C : Cobertura nubosa [décimos]

A y B : Factores estimados estadísticamente (ver en sección Resultados)

b. Radiación solar

Los datos de Radiación Solar o Radiación efectiva no son entregados por la Estación Meteorológica La Farfana, no obstante la Radiación Solar es similar para toda la Región, por lo tanto los datos fueron obtenidos de la Estaciones meteorológicas El Trebal y La Platina.

c. Radiación Teórica o Radiación Solar Extraterrestre

La Radiación Solar Extraterrestre (R_E) es aquel flujo de radiación solar que incide sobre un plano horizontal situado en el borde externo de la atmósfera terrestre. La intensidad de R_E que recibe la Tierra por parte del Sol varía de acuerdo a la distribución de la radiación solar en el espacio. Además, existen otros factores que producen variaciones en la cantidad de radiación que recibe la Tierra a lo largo del año, dentro de los cuales se considera la distancia entre el Sol y la Tierra, el grado de inclinación del eje de la Tierra con respecto al Sol, la duración del día y la noche y la ubicación de la superficie que recibe la energía solar

en el exterior de la atmósfera terrestre (Aburto, 2007). Por lo tanto, para calcular la Radiación Solar Extraterrestre se utiliza la siguiente expresión (Ecuación 5):

$$R_o = I_{sc} \cdot E_o \cdot (\sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

R_o : Radiación teórica en el techo de la atmósfera, [$\text{KJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$]

I_{sc} : Constante Solar 1367 [W/m^2]

E_o : Factor de corrección de excentricidad

δ : Declinación Solar, [radianes]

Φ : Latitud geográfica del lugar

ω : Angulo horario

La radiación global (directa + difusa) solar en superficie, corregida por el efecto de la atmósfera es demostrada por la Ecuación 6:

$$Rg = k \cdot R_o \quad (\text{Ecuación 6})$$

Rg : Radiación global, [$\text{KJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$]

k : Coeficiente de transparencia de la atmósfera

R_o : Radiación teórica en el techo de la atmósfera, [$\text{KJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$]

Donde k es el coeficiente de transparencia de la atmósfera dado por la Ecuación 7.

$$k = \frac{Rg}{R_o} = f(c) \quad (\text{Ecuación 7})$$

$f(C)$ es una función que debe ser determinada y depende de la nubosidad C que debe ser expresada en decimos.

Factor de corrección de excentricidad

El factor de corrección para la posición de la Tierra en su órbita determina la distancia entre el Sol y la Tierra, se determina por la ecuación 8.

$$E_o = 1.00011 + 0.034221 \cdot \cos(\Gamma) + 0.00128 \cdot \sin(\Gamma) + 0.000719 \cdot \cos(2\Gamma) + 0.000077 \cdot \sin(2\Gamma) \quad (\text{Ecuación 8})$$

En tanto, la variable Γ es denominada como el día angular en radianes. Donde Γ está dado por la ecuación 9:

$$\Gamma = \frac{2 \cdot \pi \cdot (d_n - 1)}{365} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde d_n representa el día juliano del año, es decir, se trata de una ordenación ordinaria de los días del año asignando como d_n igual a 1 al 1° de Enero, d_n igual a 32 al 1° de Febrero, y así sucesivamente hasta llegar a d_n igual a 365 que corresponde al 31 de Diciembre. En caso de años bisiestos como el año 2008 se consideró un año de 366 días.

Declinación Solar

Es el ángulo que existe entre el plano ecuatorial terrestre y la línea que une los centros del Sol y la Tierra, en otras palabras es la inclinación que presenta el eje en torno al cual gira la Tierra, este ángulo cambia cada día (Iqbal, 1983). Este ángulo varía en un rango de $\pm 23^\circ$ entre los solsticios de verano e invierno. La declinación solar se formula de la siguiente

expresión, medida en grados y multiplicada por el factor $(180/\pi)$ para convertirla en radianes. El ángulo de declinación se mide de acuerdo a la ecuación 10:

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cdot \cos(\Gamma) + 0.070257 \cdot \sin(\Gamma) - 0.006758 \cdot \cos(2\Gamma) + 0.000907 \cdot \sin(2\Gamma) - 0.002697 \cdot \cos(3\Gamma) + 0.00148 \cdot \sin(3\Gamma)) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

(Ecuación 10)

Latitud geográfica

Latitud geográfica corresponde a la posición angular hacia el norte o el sur del ecuador. Este ángulo varía en un rango de 90° entre los polos geográficos norte y sur, siendo positivo en el hemisferio norte, donde va desde los 0° a 90° , y negativo en el hemisferio sur, donde va desde el 0° hasta los -90° . Por lo tanto, la Latitud geográfica utilizada es la ubicada en el punto medio de la PTAS La Farfana que es de -33.5° , para efectos de cálculo esta debe ser convertida a radianes.

Angulo horario

Ángulo horario (ω) corresponde al desplazamiento angular del Sol hacia el este o el oeste del meridiano local debido al movimiento de rotación de la Tierra sobre su propio eje. Este ángulo se mide positivo hacia el oeste, negativo hacia el este, hacia el mediodía tiene un valor de 0° y hacia la medianoche tiene un valor de 180° , de esta manera, el ángulo horario cambia 15° por cada hora que pasa, siendo su valor menor a cero en la mañana y mayor a cero en la tarde (Aburto, 2007). El ángulo horario se calcula de acuerdo a lo señalado en la ecuación 11.

$$\omega = \left| (15 \cdot (12 - hora)) \right|$$

(Ecuación 11)

d. Altura de Nubes

La altura de nubes corresponde a la distancia comprendida entre la superficie terrestre y la base de las nubes, en caso de haber nubosidad. En base a la cobertura nubosa se estima la altura de nubes, expresado en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Variación de la altura de nubes según la cobertura nubosa

Cobertura Nubosa (CN)	Altura de Nubes (AN)
[décimos]	[m]
CN \geq 9	100
9 > CN \geq 5	500
5 > CN \geq 2	1500
2 > CN	3000

Fuente: DICTUC, 2006

La relación entre cobertura de nubes y altura de nubes fue extraída en base a una capacitación sobre el “Desarrollo y uso del Modelo de Dispersión de Contaminantes ISC AERMOD”, realizada en el año 2006, en la cual se determinó por medio de un modelo meteorológico, la correlación de la variable altura de nubes.

e. Precipitación

Los datos de precipitación no son entregados por la Estación Meteorológica La Farfana, por consiguiente fueron obtenidos de las Estación Meteorológicas La Platina y Pudahuel que es representativa de la zona.

f. Presión Atmosférica

La presión atmosférica es el peso del aire por unidad de superficie. A causa que en la estación ubicada en Farfana no se mide presión atmosférica, sin embargo, se recurrió a los datos de la Estación Meteorológica de Montenegro. En el caso de no poder obtener los datos de presión atmosférica, estos pueden ser calculados a través de la Ecuación 12.

$$P(h) = P_0 \cdot e^{\left(-\frac{M \cdot g \cdot h}{R \cdot T_{mar}} \right)} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde,

P_0 : Presión atmosférica a nivel del mar, 101325 [Pa].

M : Peso molecular promedio de la atmósfera, 0.02897 [kg/mol].

h : Altitud de interés, [m].

T_{mar} : Temperatura promedio a nivel del mar, 288 [k].

R : Constante de la ley de los gases, 8.31451 joule/K/mol.

g. Humedad Relativa

Es la relación entre la presión real del vapor de agua contenida en el aire húmedo y la presión del vapor saturado a la misma temperatura. Se mide en porcentaje entre el 0 y 100, siendo 0% aire seco y 100% aire saturado. Este dato se obtuvo de la Estación Meteorológica situada en la planta La Farfana.

h. Dirección de vientos y velocidad del viento

El viento es un movimiento de masas de aire que se produce desde zonas de alta presión hasta zonas de baja presión. La dirección y velocidad del viento, son variables muy relevantes en la modelación de la dispersión de contaminantes. En el caso de AERMOD, tanto la dirección como la velocidad del viento se consideran uniformes en todo el dominio modelado, aproximación que pierde validez mientras mayor es la extensión modelada o mientras más accidentada es la zona. La base de datos de dirección y velocidad del viento fue obtenida de la Estación Meteorológica de La Farfana; monitoreo cada 1 hora utilizando periodos anuales.

4.2.3.2. Datos Topográficos

Modelo Digital de Elevaciones

La topografía es desarrollada por el preprocesador AERMAP, para el cual se debe ingresar un archivo de características topográficas del terreno a modelar. Por este motivo se trabaja con un Modelo Digital de Elevación (MDE), también definido como Digital Elevation Model (DEM), el cual describe la altimetría de una determinada superficie terrestre mediante un conjunto de cotas según Felicísimo (1999, citado por Aburto 2007). Para este caso se trabajó con un DEM definido en coordenadas de terreno X Y Z.

El DEM a utilizar fue construido en base a una ortofotografía digital, de la cual se construyeron puntos equidistantes cada 25 metros. El Datum del terreno está en UTM South American 1969 (SAD 69) latitud 19 Sur, en la Figura 11 se presenta el Modelo de Elevación procesado por AERMAP.

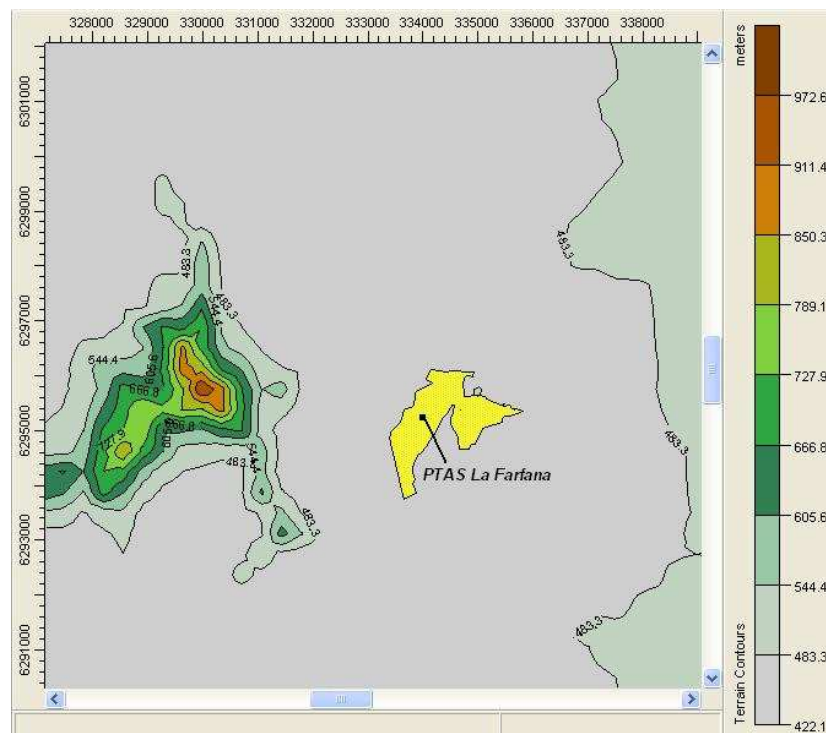


Figura 11: Modelo Digital de Elevación procesado por AERMAP de la zona estudio

4.2.3.4. Tasas de emisiones de olor

Para términos de la modelación se consideró las medias de las emisiones de las unidades de la PTAS La Farfana, es decir, se determinó el promedio de los resultados de cada una de las muestras de las fuentes obtenidas en la medición en base a olfatometría dinámica realizado el primer semestre del 2009. En el Cuadro 10 se define las tasas de emisión consideradas para este estudio; y en el *anexo I cuadro 1* se detalla los resultados de concentración y tasa de emisión de cada una de las fuentes.

Cuadro 10: Tasas de Emisión de las fuentes a considerar en PTAS La Farfana

Nombre	Área	N° Unidades	Superficie	Superficie	Tasa de
			Unitaria	Total	Emisión
			m ²	m ²	UO/m ² seg
Pozos gruesos	100	1	150	150	6.47
Clarificadores primarios	600	16	1322	21152	12.5
Tanque biológicos	800	16	2005	32080	31.53
Clarificadores secundarios	1000	16	1964	31424	2.45
Espesadores de lodo	1600	4	298	1192	8.98
Flotadores de lodo	1500	6	314	1884	10.08

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.5. Receptores

Se realizaron dos grillas de receptores uniformes cartesianas, para tener un enfoque global y otro específico de la Planta. Las grillas se denominaron como REDGLOBAL y otra REDFINA, para esta última se situó la Planta al centro de la grilla. En el Cuadro 11 se detalla las coordenadas (x,y) las que equivale a X (este – oeste) e Y (norte – sur) en la

esquina sur-oeste; le sigue (Px, Py) que representa el número de puntos sobre los ejes X e Y; y por último (Dx, Dy) que indica la distancia entre los receptores de los ejes X e Y. El cálculo es automático por el modelo, desplegando para este caso 1301 receptores para la grilla.

Cuadro 11: Grilla de receptores

	(x,y)	(Px,Py)	(Dx,Dy)
REDGLOBAL	(328911,6289826)	(26,26)	(500,500)
REDFINA	(332304,6292324)	(25,25)	(210,210)

Fuente: Elaboración propia (aplicación modelo AERMOD)

4.2.4. Campañas de tipo sensorial

Las campañas de tipo sensorial son usadas para la determinación de olores en el aire ambiente vía mediciones de campo o terreno. Para términos de comparación de la pluma de olor generada por el modelo, ésta se comparó con los resultados de las campañas anteriores de tipo sensorial (paneles de olor y monitoreo continuo) ambos dan como resultado los llamados mapas de olores. Los mapas de olores son construidos en base a los resultados de las mediciones in situ de tipo sensorial entregando resultados del porcentaje de frecuencia de olor identificado en un tiempo y lugar determinado. Las campañas sensoriales fueron realizadas entre los años 2006 y 2008.

4.2.4.1. Paneles de Olor

Debido a la ausencia de la normativa en Chile, se adoptado la experiencia Europea en el tema, es por ello que la medición sensorial se basó en la Guía Alemana VDI 3940 “Determinación de Odorantes en el aire ambiente mediante evaluaciones de terreno”. Este método se basa en mediciones in situ del testeado de olores en el aire ambiente llevado a cabo por personas entrenadas como evaluadores sensoriales, quienes realizan mediciones vía inhalación de aire durante un tiempo definido. Cada medición tiene un tiempo de duración

de 10 minutos con una frecuencia de 10 segundos para alcanzar al menos una representatividad del 80% de la evaluación.

En base a la Guía VDI 3940 el análisis de los datos agrupa las respuestas con olor y se dividen por el número total de mediciones, lo que entrega la frecuencia de olores por cada emisor o foco. En los puntos en que la sumatoria de respuestas con olor a un foco iguala o supera el 10% se registra como un punto con “Hora de olor” (HO). Según la Norma, anteriormente nombrada, indica límites de 10% para zonas urbanas y 15% para zonas rurales.

El periodo de evaluación total fue entre los meses de julio 2006 y diciembre 2008; utilizando un periodo aleatorio que permitió cubrir todas las horas (mañana, tarde y noche). Las zonas designadas fueron determinadas por la cercanía a la PTAS, creando un radio de influencia que comprende los siguientes cuatro sectores: Santa María - El Rosal, Alto Jahuel II, El Comendador y Lomas de Lo Aguirre; como se indica en la Figura 12. Los sectores se dividieron en 13 cuadrantes delimitándolos con letras desde la A hasta la N.



Figura 12: Ubicación sectores monitoreados aledaños a la PTAS La Farfana

4.2.4.2. Monitoreo Continuo de Olores

El objetivo de este Método es que personas recorren permanentemente las inmediaciones de la planta, 365 días del año las 24 horas del día, por determinados puntos previamente fijados, en la Figura 13 se presenta una imagen indicando los puntos monitoreados. En cada punto estos caminantes aplican la misma metodología utilizada por los paneles de olores basándose en los estándares de la Guía Alemana VDI 3940, con la diferencia que acá es sólo una persona quien realiza la medición. El periodo de medición a analizar es desde enero a noviembre del 2008.

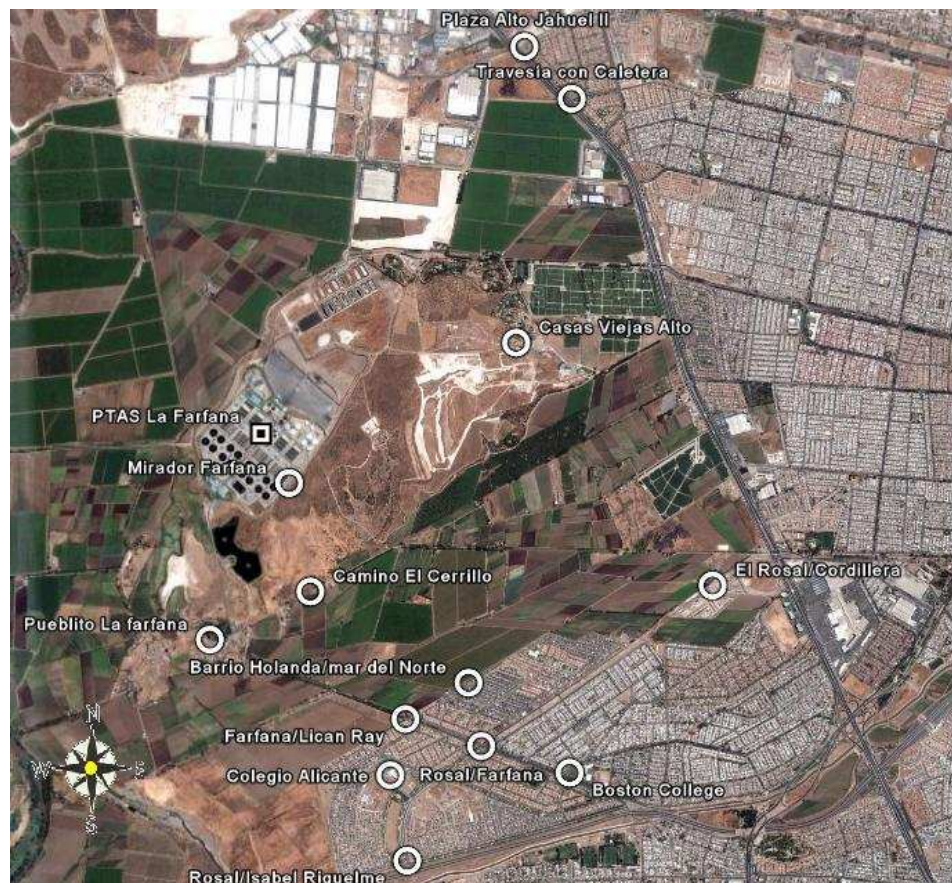


Figura 13: Puntos Caminantes en la PTAS La Farfana

Los puntos monitoreados fueron agrupados en cinco sectores:

- Maipú: incluye los puntos Boston Collage, Rosal - Farfana, Rosal – Isabel Riquelme, Rosal – Cordillera, Colegio Alicante, Farfana – Lican Ray, Barrio Holanda – Mar del Norte.
- Pueblito La Farfana y Camino el Cerrillo
- Mirador la Farfana
- Alto Jahuel II: incluye los puntos Plaza Alto Jahuel y Travesía con caletera.
- Casas Viejas

4.2.5. Valores de límites de inmisi3n de concentraci3n de olor

Existen diferentes enfoques regulatorios que ha adoptado cada pa3s. Dentro de los pa3ses que han implementado la metodolog3a de medir las concentraciones de olor a trav3s de la aplicaci3n de modelos de dispersi3n de contaminantes, utilizando las emisiones medias horarias anuales se mencionan en la Cuadro 12 los valores l3mites de inmisi3n en base al percentil 98.

Cuadro 12: Valores límites de inmisión internacional, en base a percentil 98 de las medias horarias durante un año

País	Valor límite de Inmisión (UO/m ³)	Categoría de la utilización del suelo
Bélgica	0.5	-
Holanda	0.5	Áreas residenciales densamente pobladas
Alemania	1	-
Escocia	1.5	-
Nueva Zelanda	2	-
Massachussets, EEUU	5	-
Anteproyecto de ley de Cataluña	5	-
	10	Molestia con vecinos cercanos
Reino Unido	6	-
	2	Áreas residenciales densamente pobladas
Australia	5	Área rural y urbana
España	10	-
	5	Áreas residenciales
Dinamarca	10	Áreas rurales

Para el caso de Bélgica de 0.5 UO/m³, está establecida específicamente para Plantas de Tratamientos de aguas servidas. En tanto, para Escocia, Holanda, Cataluña, Reino Unido, Australia, España y Dinamarca, son valores generales para instalaciones industriales existentes. Además, en el caso de Dinamarca los valores límites de inmisión fluctúan entre 5 y 10 UO/m³ para áreas residenciales y rurales respectivamente; utilizando las medias cada un minuto en base a percentil 99. Por esta razón, no se incluirá en la comparación del modelo y es nombrada sólo en caso de ejemplo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados de emisiones medias de olor a través de la técnica de Olfatometría Dinámica

La contribución de olor de cada una de las fuentes a la emisión total de olores de la planta, se entiende como el número de unidades de olor por unidad de tiempo que dicha fuente emite. Según los resultados de las máximas Emisiones Estimadas de Olor (EEO) descritas en el Cuadro 13, las mayores tasas de emisión se presentan en aquellas unidades que realizan tratamientos de aguas, justamente estas unidades son las de mayor superficie. El Estanque Aeróbico es el que aporta la mayor cantidad de unidades de olor con una emisión de 1400 millones de UO/hr, consta de una superficie unitaria de 2005 m² y una superficie total de 32080 m² (16 fuentes). La segunda máxima son los Clarificadores Primarios con emisiones de 780 millones de UO/hr y una superficie total de 21152 m² (16 fuentes).

Cuadro 13: Emisión media de olor a través de Olfatometría Dinámica

	Etapa	Superficie total (m²)	Promedio (UO_E/m²hr)	Promedio (UO_E/hr)
Línea de aguas	Pozos Gruesos	1.5E+02	2.3E+04	3.5E+06
	Clarificador Primario	2.1E+04	4.5E+04	9.5E+08
	Estanque aeróbico	3.2E+04	1.1E+05	3.6E+09
	Clarificador Secundario	3.1E+04	8.8E+03	2.8E+08
Línea de lodos	Espesamiento de lodo primario	1.2E+03	3.2E+04	3.9E+07
	Flotadores lodo secundario	1.9E+03	3.6E+04	6.8E+07
	Total	8.8E+04	2.6E+05	5.0E+09

5.2. Variables meteorológicas

Para la modelización se utilizaron datos de tres años meteorológicos (2006 – 2008) de la estación más cercana, en este caso la ubicada en La Planta La Farfana. Incluir más de un año es una buena opción para una mejor caracterización de las variables meteorológicas necesarias para sustentar el modelo. La dirección que toma la dispersión del contaminante, en este caso el olor, está relacionada al comportamiento de los vientos de la zona. En la Figura 14 se presenta las rosas de viento entre los años 2006 y 2007. La Figura 14(a) está representada la rosa de vientos de año 2006, en donde las componentes predominantes son Sur (S), Sursuroeste (SSO), Suroeste (SO), Oestesuroeste (OSO) y Oeste (O); mientras las más débiles son Norte (N), Estenordeste (ENE), Este (E) Estesudeste (ESE) y Sursureste (SSE).

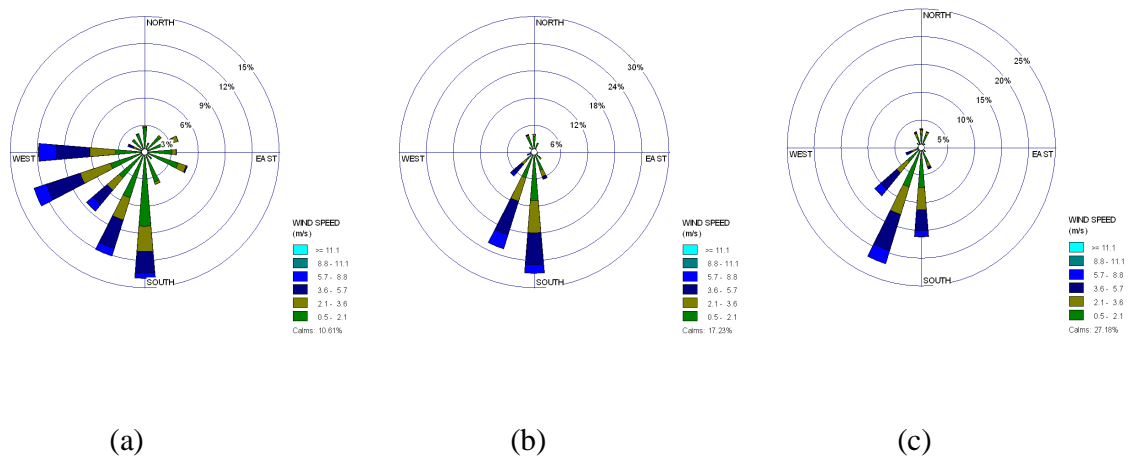


Figura 14: Rosa de Vientos (2006 – 2008) de los datos obtenidos de la Estación Meteorologica La Farfana. (a) Rosa de vientos 2006, (b) Rosa de vientos 2007 y (c) Rosa de vientos 2008.

A su vez, en la Figura 14(b) se presenta la rosa de vientos del año 2007. Para este año en general dominan las componentes S y SSO, y componentes más débiles al N, SO y SSE.

En tanto, para la Rosa de vientos del año 2008, representada por la Figura 14(c) presenta las principales componentes S, SSO y SO, y componentes más débiles como SSE, N y NE.

Luego, las componentes principales entre estos tres años de distribución de dirección de vientos, como indica la rosa de vientos de la Figura 15 S, SSO y SO. Conjuntamente presenta vientos débiles siendo las más notables las componentes OSO, O, SSE, entre otras. Estas variables son las que direccionan la dispersión del olor.

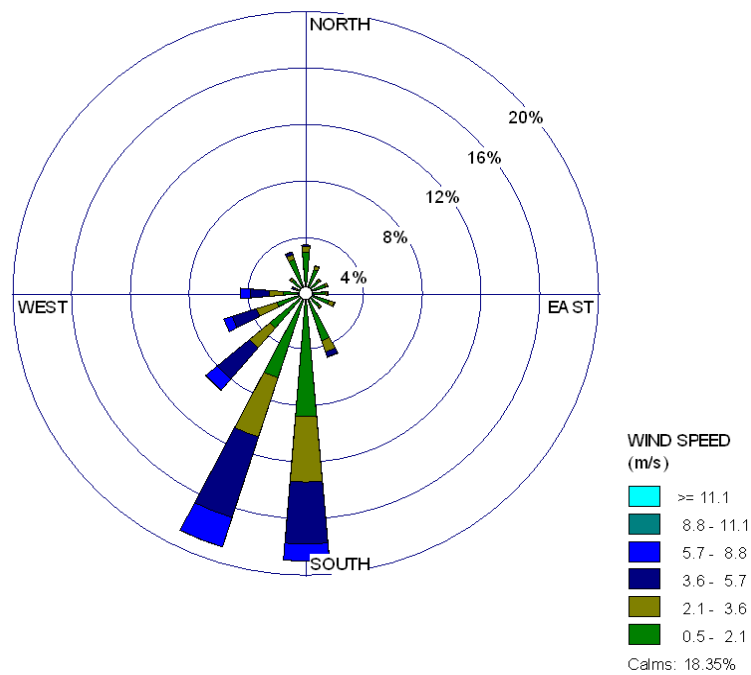


Figura 15: Rosa de vientos años 2006 – 2008

En tanto, las velocidades de viento representadas en las Figuras 16, 17 y 18 expresan la distribución de velocidades entre los años 2006 – 2008 en la zona estudio. La Figura 16 señala que el año 2006 el 50.6% de la frecuencia de las velocidades de viento predominan entre los rangos de 0.5 – 2.1 m/s.

Para el año 2007 la distribución de frecuencia de las velocidades de los vientos del gráfico de la Figura 17 indica que el 40.8% presenta velocidades entre 0.5 – 2.1 m/s.

Para el año 2008 las mayores frecuencias de velocidades de vientos que presenta la Figura 18 son de 35% velocidades entre 0.5 – 2.1 (m/s) y 27.1% menores a 0.5, considerados calmas por el modelo.

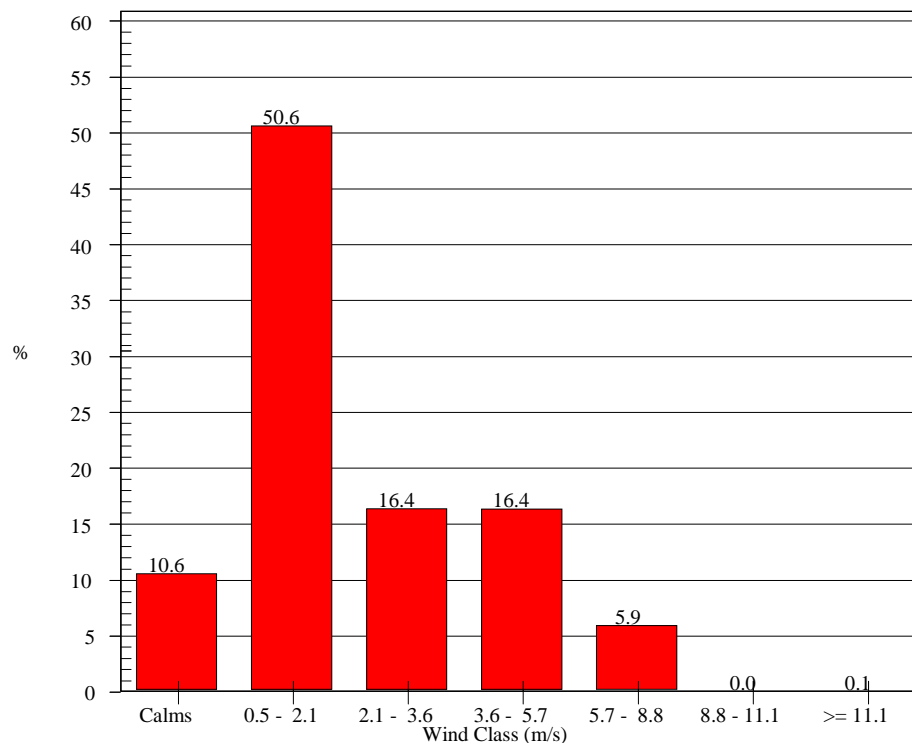


Figura 16: Distribución de velocidades de viento año 2006

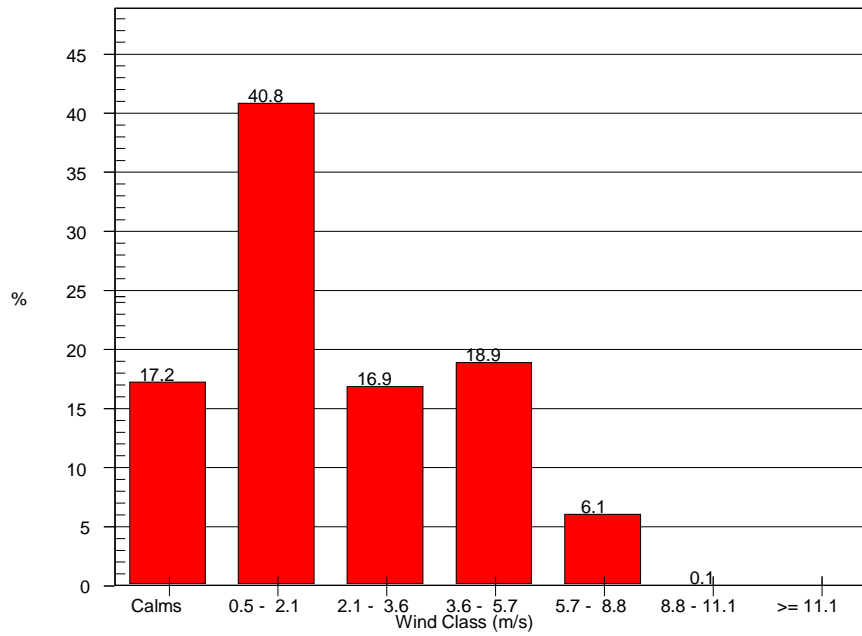


Figura 17: Distribución de velocidades de viento año 2007

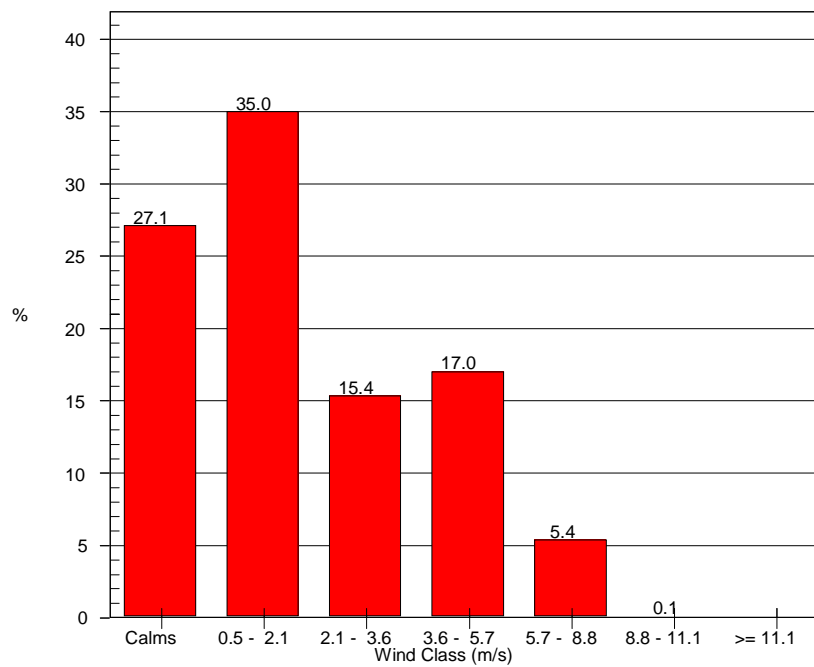


Figura 18: Distribución de velocidades de viento año 2008

En consecuencia, la distribución de los vientos entre los tres años nombrados anteriormente de la zona estudio indica, según la Figura 19 que predominan los vientos entre 0.5 y 2.1 m/s. Al mismo tiempo existe un 18.3 % de calmas y por otra parte presenta un porcentaje muy bajo de vientos mayores a 8.8 m/s (0.1 %).

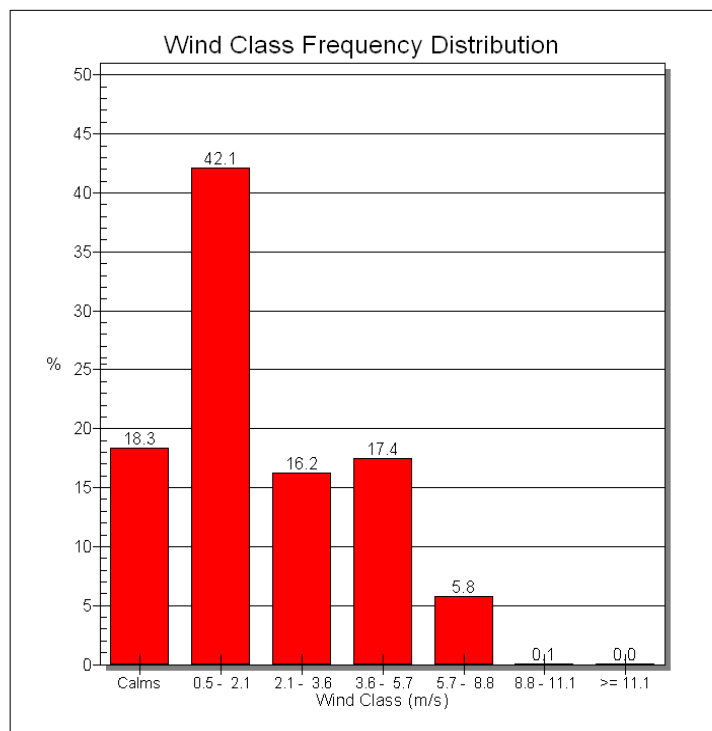


Figura 19: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento años 2006 - 2008

En el caso de las temperaturas, para los tres años de meteorología los puntos más altos se alcanzan en los meses de diciembre, enero y febrero, en tanto los más bajos en los meses de junio, julio y agosto. La temperatura media mensual entre los años 2006 - 2008 es de 15.4°C como lo indica la Figura 20.

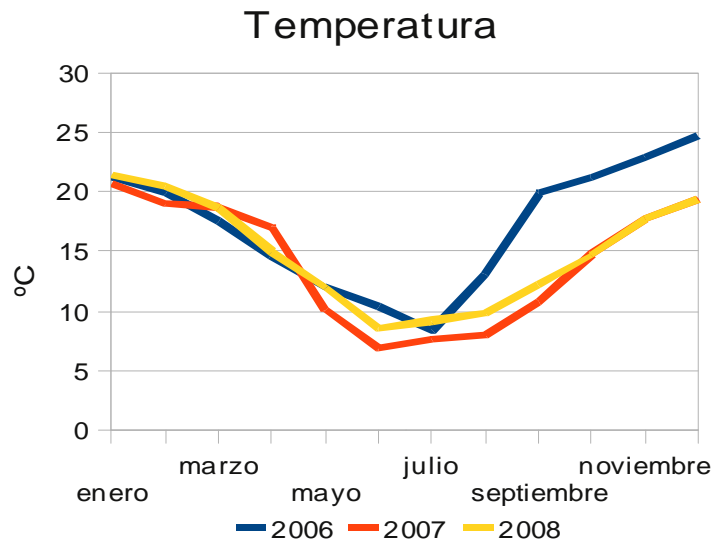


Figura 20: Temperatura media mensual (2006 – 2008)

En la Figura 21 se presentan los datos de Humedad Relativa los indican que los meses que presentan el mayor porcentaje de humedad son junio, julio y agosto.

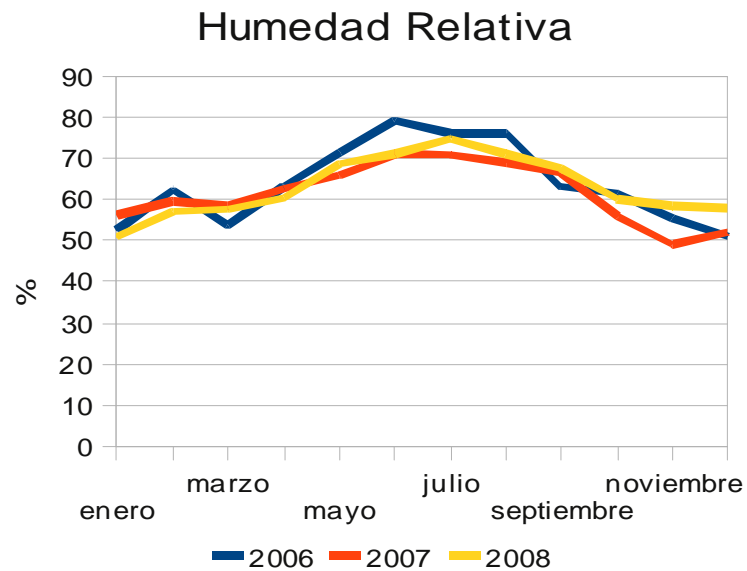


Figura 21: Humedad Relativa media mensual (2006 – 2008)

En la Figura 22 se presentan los datos de presión media mensual los cuales indican que esta variable no presenta considerables variaciones cada mes, salvo el mes de mayo año 2008 presenta una baja.

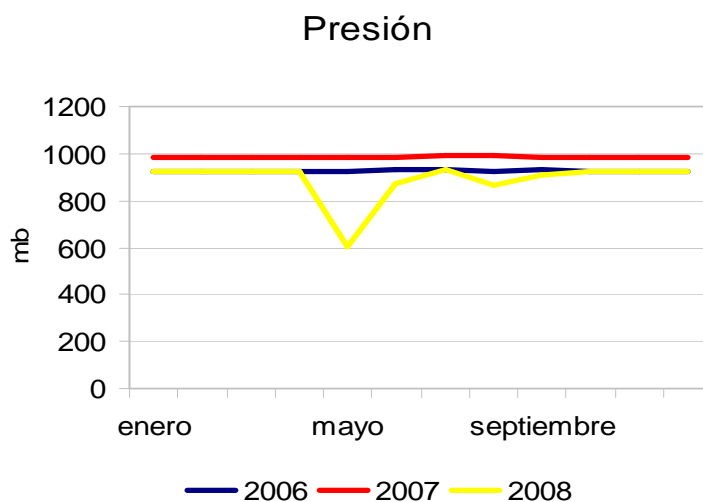


Figura 22: Presión media mensual (2006 – 2008)

Los datos de precipitaciones fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de Pudahuel, cercana y representativa de la zona estudio. Las mayores precipitaciones medias mensuales presentadas en la Figura 23 se encuentran en los meses de junio, julio y agosto; asimismo mayo presenta un peak en el año 2008.

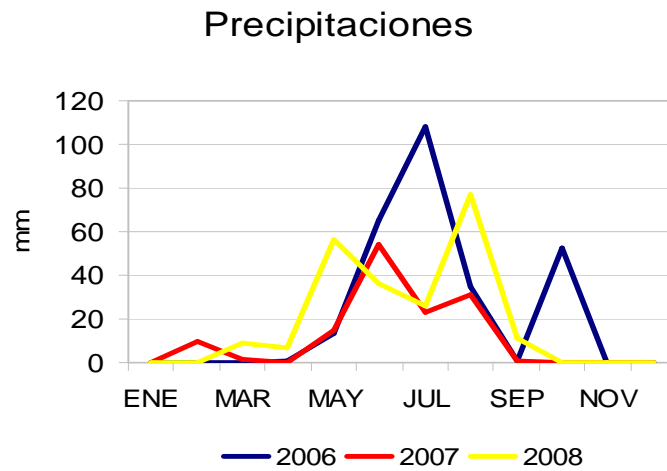


Figura 23: Precipitaciones medias mensual (2006 – 2008)

Los datos de radiación solar (Figura 24) fueron obtenidos de estaciones meteorológicas cercanas, indicadas en el capítulo anterior. La radiación solar tiene sus valores más bajos en los meses de junio y julio, luego comienza a ascender hasta alcanzar sus máximos en los meses de diciembre y enero, para así descender lentamente hasta el mes de junio.

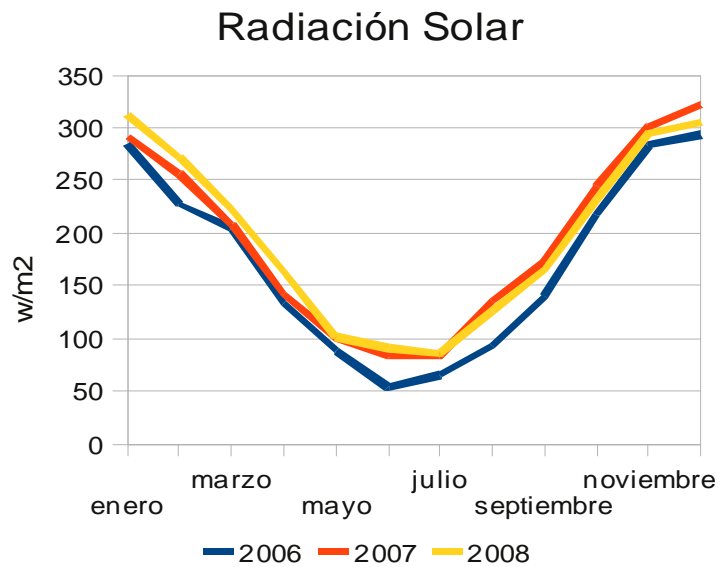


Figura 24: Radiación Solar media mensual (2006 – 2008)

Como se detalló en la sección 4.2.3.1. *Variables Meteorológicas apartado a*, la cobertura nubosa fue calculada independientemente. En consecuencia, la estimación de la cobertura nubosa (ec. 1) da como resultado la siguiente ecuación (Ecuación 13):

$$C = 10 \cdot \left[1.692 \cdot \left(1 - \frac{R_s}{R_o} \right)^{1.9354} \right] \quad (\text{Ecuación 13})$$

El gráfico de cobertura nubosa media mensual de la Figura 25 indica que la máxima cobertura de nubes se presenta en los meses junio, julio y agosto.

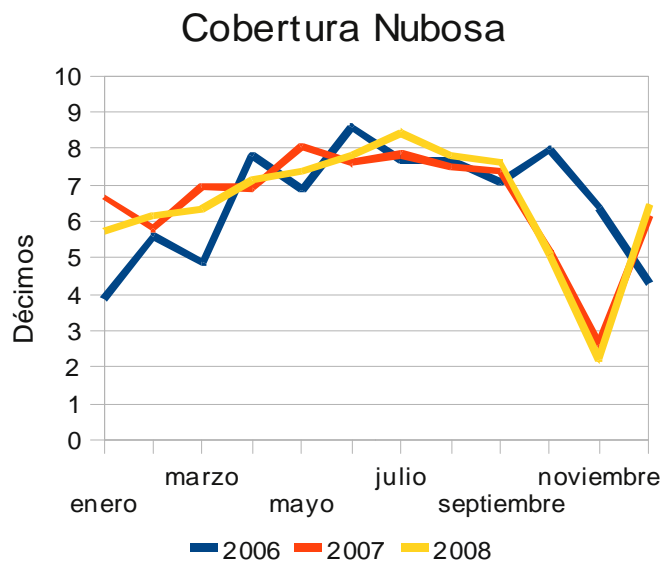


Figura 25: Cobertura Nubosa media mensual (2006 – 2008)

Por último, la altura de nubes es relativa durante cada mes, la Figura 26 indica la altura de nubes media mensual la cual está fuertemente relacionada con la variable cobertura nubosa, por ende genera que en los meses de junio, julio y agosto presente las menores alturas de las nubes. Se presenta en el mes de noviembre para los años 2007 y 2008 las máximas alturas de las nubes.

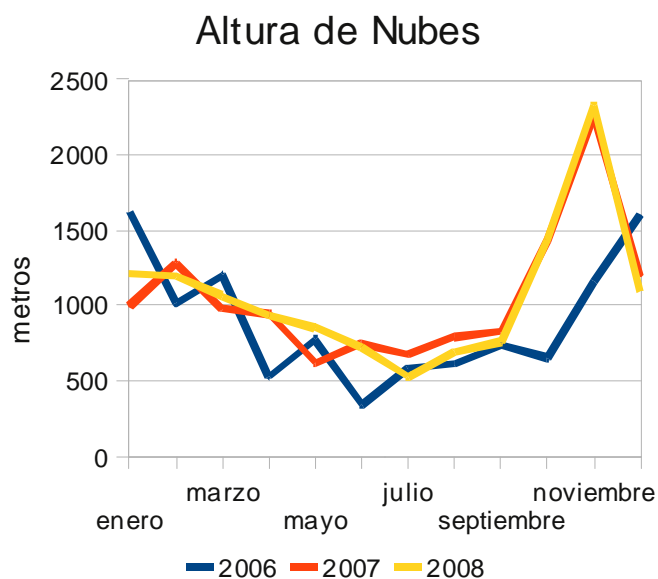


Figura 26: Altura de nubes medias mensuales (2006 – 2008)

5.3. Escenarios de la modelación de dispersión de olores

El modelo determinó las concentraciones de inmisión en el entorno expresadas en UO/m^3 , y los resultados son representados mediante isolíneas o líneas isodoras. Estas líneas se definen como un conjunto de puntos de igual concentración de olor que dan origen a un mapa de olores.

Se simuló las concentraciones medias horarias, partiendo como valor mínimo el umbral de percepción ($1 \text{ UO}_E/\text{m}^3$), continuando con el umbral de reconocimiento ($3 \text{ UO}_E/\text{m}^3$) y umbral de molestia ($10 \text{ UO}_E/\text{m}^3$) hasta la máxima concentración.

Para el caso del valor mínimo el modelo de dispersión no considera ningún valor inferior a 1 indicando que no ha existido ninguna percepción de olor durante esa hora.

5.3.1. Máximo impacto horario-anual

Corresponde al máximo impacto que se produce en la zona estudio con emisiones constantes medias cada una hora, para todas las fuentes. El área de la pluma indica que se supera ampliamente el nivel de molestia (10 UO/m^3), sin embargo hay que considerar que para términos de sobrestimación del modelo y normalización es preferible utilizar los resultados en percentil 98. En la Figura 5.16 se presenta la simulación máximo impacto.

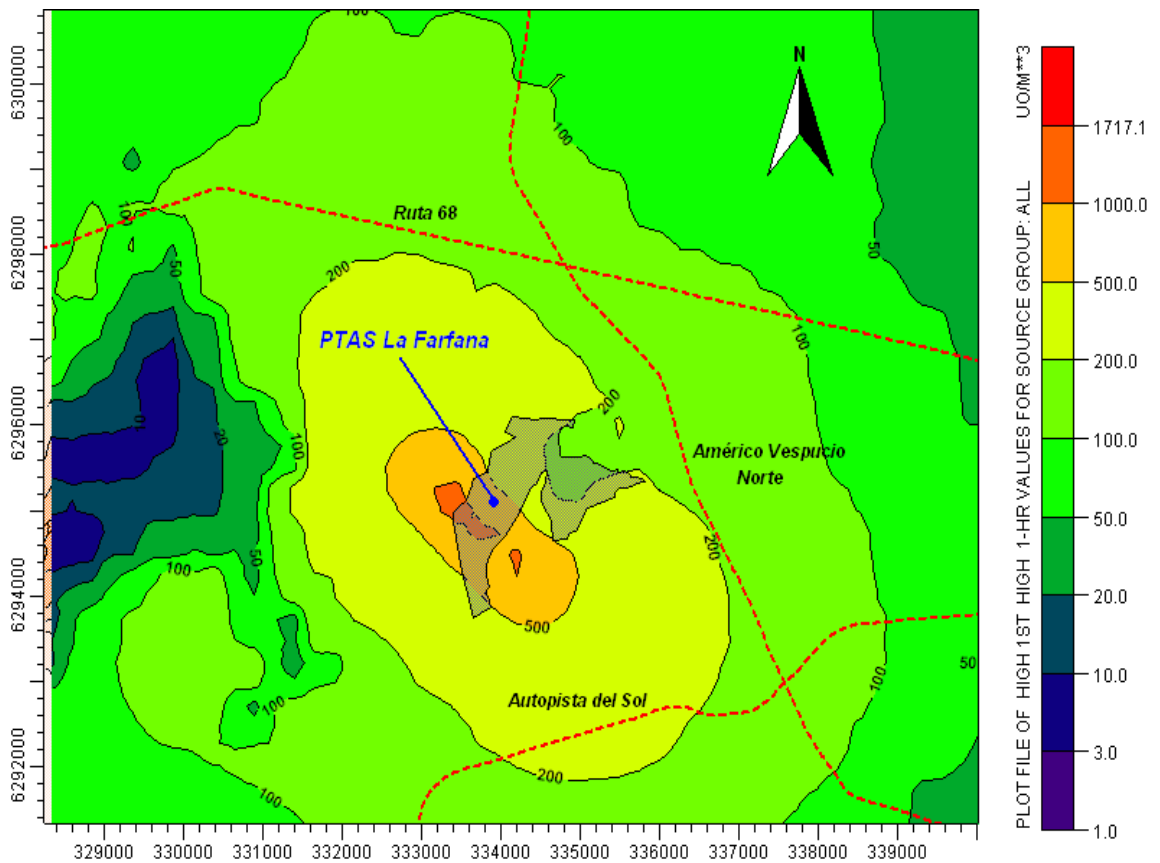


Figura 27: Modelación máximo impacto horaria anual

5.3.2. Modelación del Percentil 98

Se simuló la primera concentración máxima horaria (peor condición de emisión de olor) anual durante el 98% del tiempo. En la Figura 28 se presenta el mapa de olor a percentil 98 y la Figura 29 el mapa de olor desde una visión en 3D. La modelización entrega niveles entre 1 y 988. La zona en donde se emplaza la mayor superficie de la PTAS es por la línea isodora de 50 UO/m^3 la cual encierra en su interior una superficie en donde la concentración esperada es de 50 o más UO/m^3 . El en caso de estar bajo la Normativa Internacional de países como Dinamarca o España que toda aquella población situada en el interior de la línea isodora de 10 UO/m^3 , se verá afectada por malos olores.

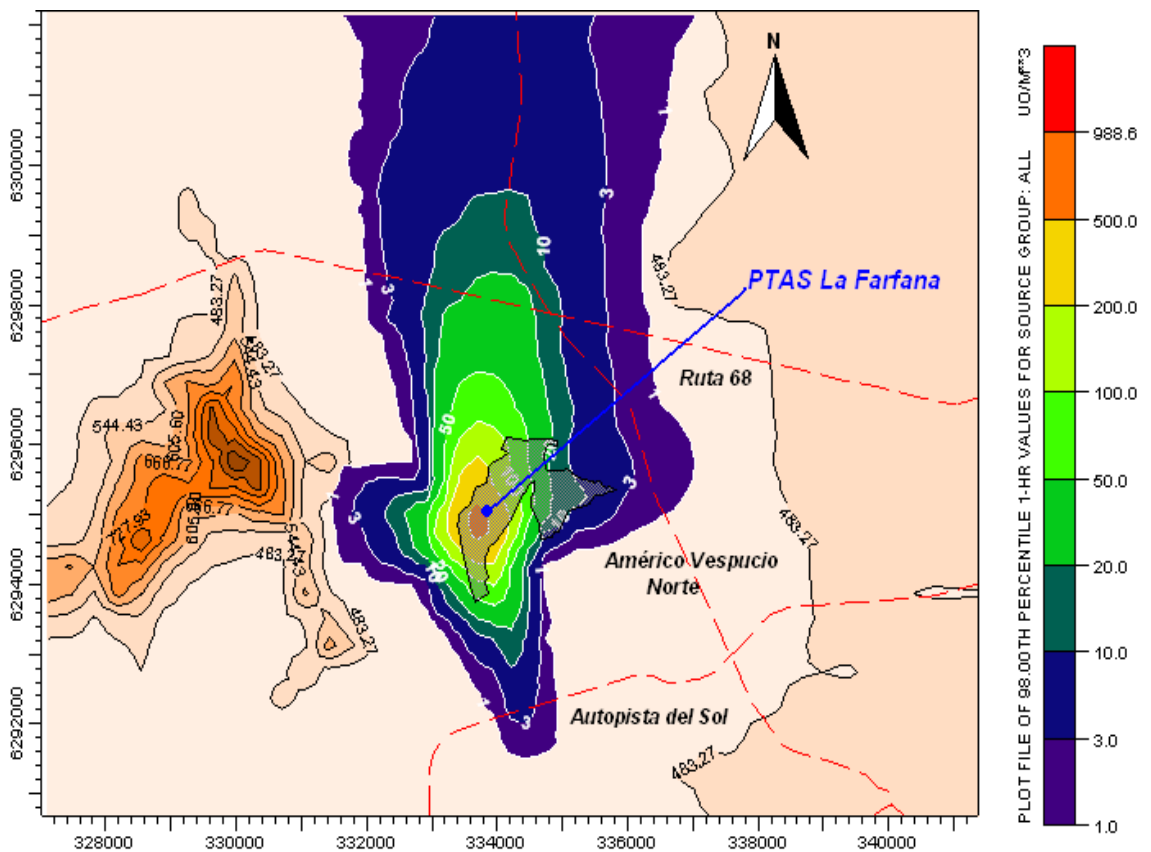


Figura 28: Impacto de la Pluma de Olor a percentil 98

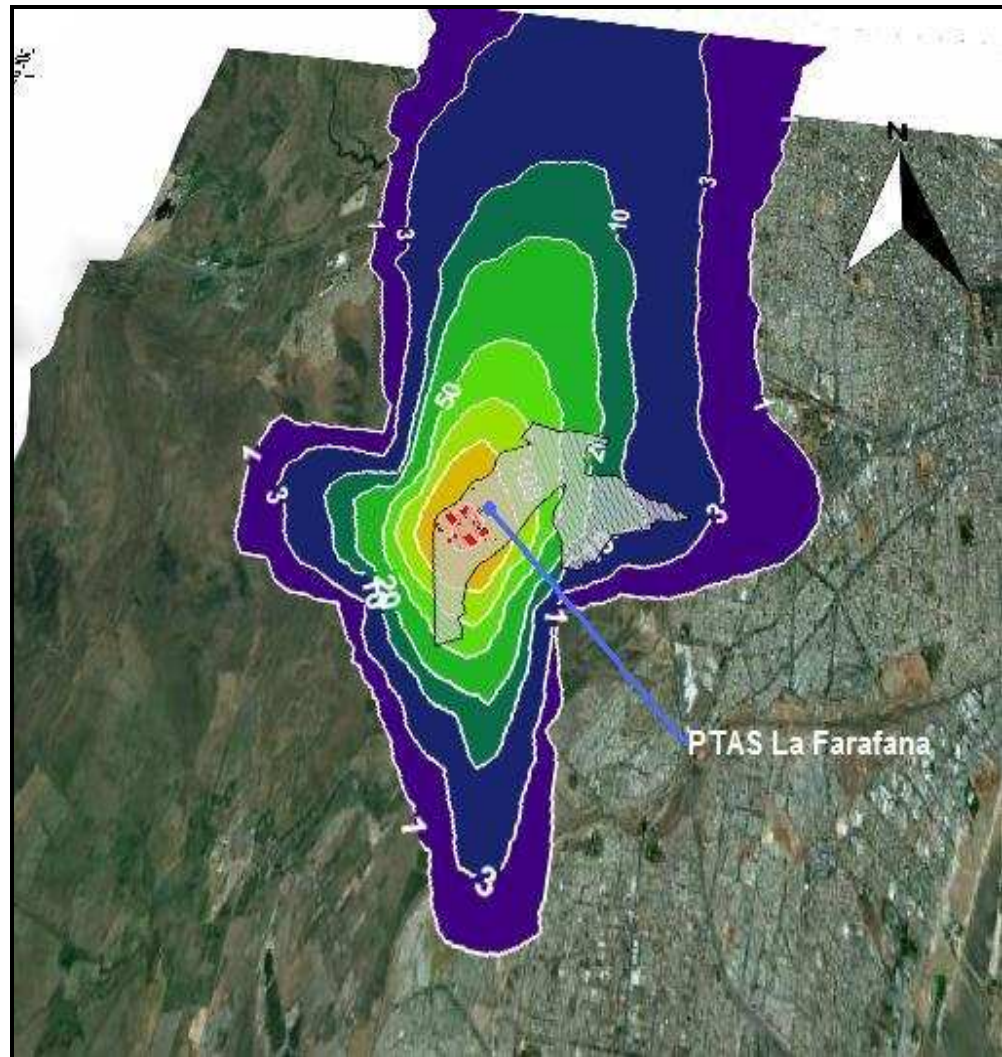


Figura 29: Impacto de la Pluma de Olor a percentil 98 (visión 3D)

A causa, del análisis realizado en terreno por el monitoreo sensorial tanto de paneles de olor como del monitoreo continuo (sección 5.4 *Monitoreo de tipo sensorial*), indican eventos de olores en la dirección sureste de la PTAS. Por lo mencionado, no se descarta que la zona entre Américo Vespucio norte y Autopista de Sol, se generen concentraciones perceptibles de olor, aunque el modelo indique lo contrario. Esta situación puede incitarse en esta zona ya que es posible que se produzcan vientos locales que se originan por el cambio de uso de suelo de rural a urbano y un posible aumento de temperaturas a baja altura causadas por las

viviendas desviando los vientos hacia el este. Como el modelo no simula vientos locales omite este tipo de condiciones.

5.4. Monitoreos de tipo sensorial

5.4.1. Resultados de Paneles de Olor y comparación con simulación de olores

Se realizó el monitoreo de paneles de olor en cuatro sectores aledaños a la Planta: Santa María – El Rosal, Alto Jahuel II, El Comendador y Lomas de lo Aguirre. En la Figura 30 se exhibe el gráfico mensual con el promedio de frecuencias de olor percibidos entre enero de 2006 y diciembre de 2008, los sectores mencionados anteriormente. Los meses con mayores frecuencias de olor se concentran entre julio y diciembre (periodo invierno - primavera).

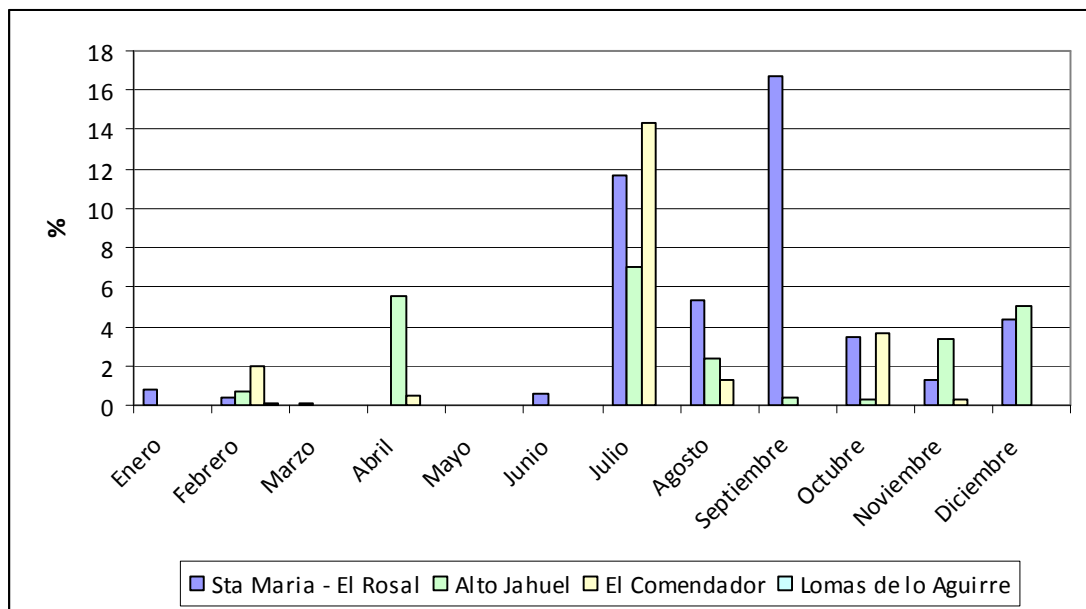


Figura 30: Promedio mensual de Frecuencia de Olor asociado a la PTAS La Farfana

Se debe destacar que entre los años 2006 y 2007, se originaron eventos de olores mayores al límite de 10% para zonas urbanas indicado en la norma Alemana VDI 3940, en el sector de Santa María – El Rosal. Valores que se encubren al evaluar las medias anuales entre estos tres años. Entre estos años se realizó un mayor número de observaciones y se utilizó el término de Olor Ambiente Característico el cual describe cuan a menudo se perciben olores de un determinado foco, además se empleó un factor de corrección de acuerdo al número total de mediciones, para ese caso fueron 52 mediciones y se aplicó para una zona residencial el factor 1.7.

En la Figura 31, se presentan gráficos de frecuencias medias y máximas de olor entre los años 2006 – 2008 atribuibles a la PTAS. El sector de Santa María – El Rosal, es el que presenta mayores porcentajes de tiempo de olor alrededor del 4% y con un máximo del 17%; le sigue Alto Jahuel y el Comendador con 2% y 1.8% respectivamente, es el Comendador donde se presenta la próxima máxima con 14% de tiempo de olor aproximadamente.

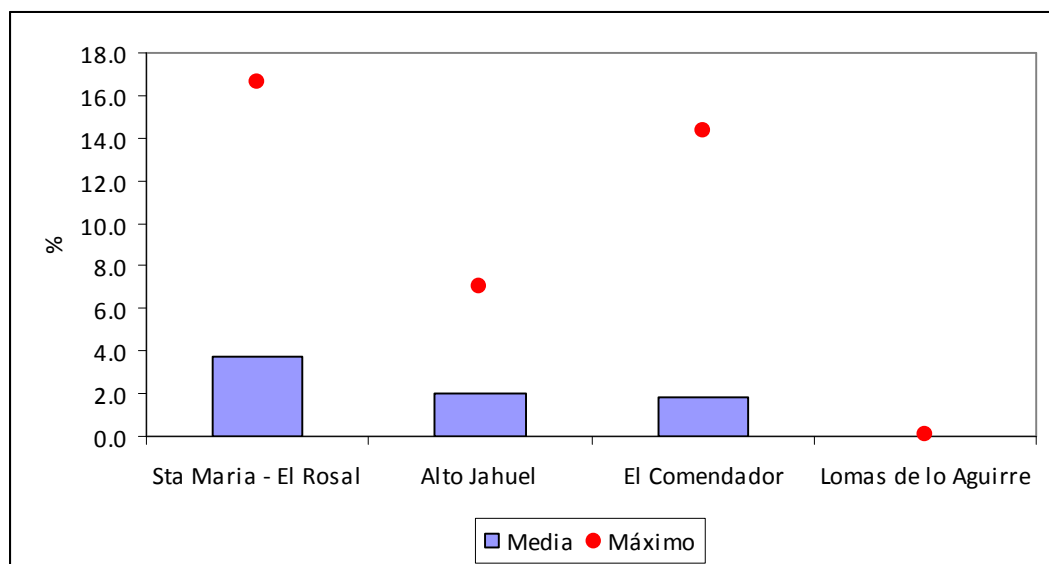


Figura 31: Frecuencia media y máximo de olor atribuibles a la PTAS

Según la Figura 32: Porcentaje de Frecuencia de olor asociado a otros emisores, indica que el punto que sobrepasa el 10% de frecuencia de olor para los tres años son los sectores de Alto Jahuel y el Comendador. En tanto, los máximos se presentan en Alto Jahuel y Lomas de lo Aguirre alrededor de 28% y 26% respectivamente. El origen de los olores fue asociado principalmente a la producción de cecinas, según el detalle de los informes de medición.

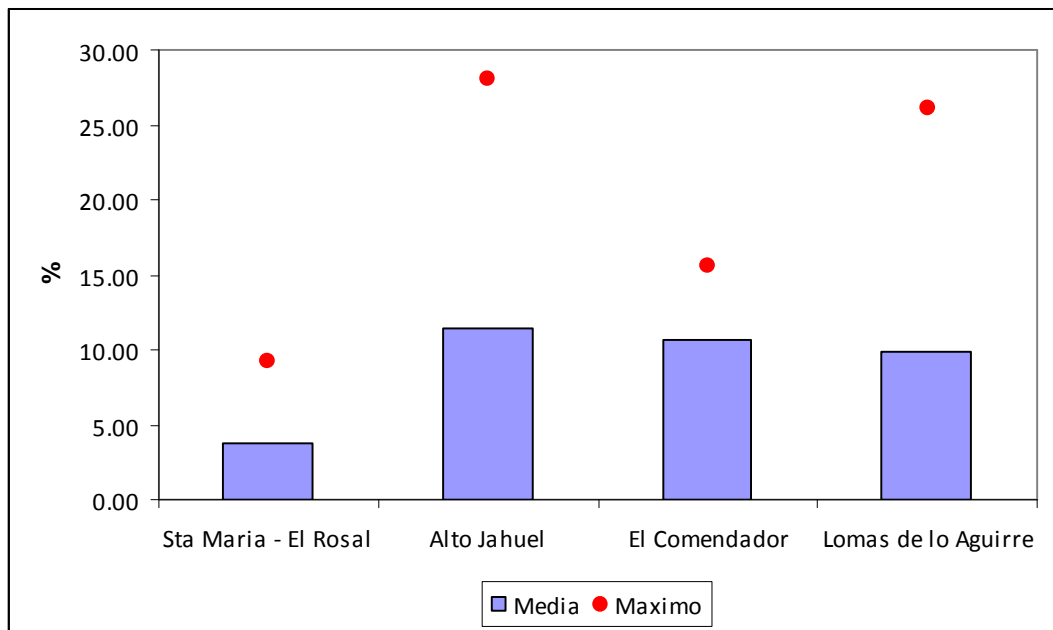


Figura 32: Porcentaje de Frecuencia de Olor Asociado a otros emisores

Al comparar los porcentajes de olor atribuibles a la planta con el total de porcentaje percibido equivalen a un promedio aproximado entre los tres años a un 17.6%, en tanto para los olores clasificados como no asociados a la PTAS presentan un porcentaje mayor de 82.4%, generalmente asociados a la fabricación de cecinas.

Las zonas ubicadas al Sur y Noreste de la Planta son aquellas que presentan mayor frecuencia, siendo el valor más alto el sector de Santa María - El Rosal indicado en el mapa de la Figura 33, al contrario el sector poniente como Lomas de lo Aguirre no se ha presenciado molestias por olor atribuibles a la planta.

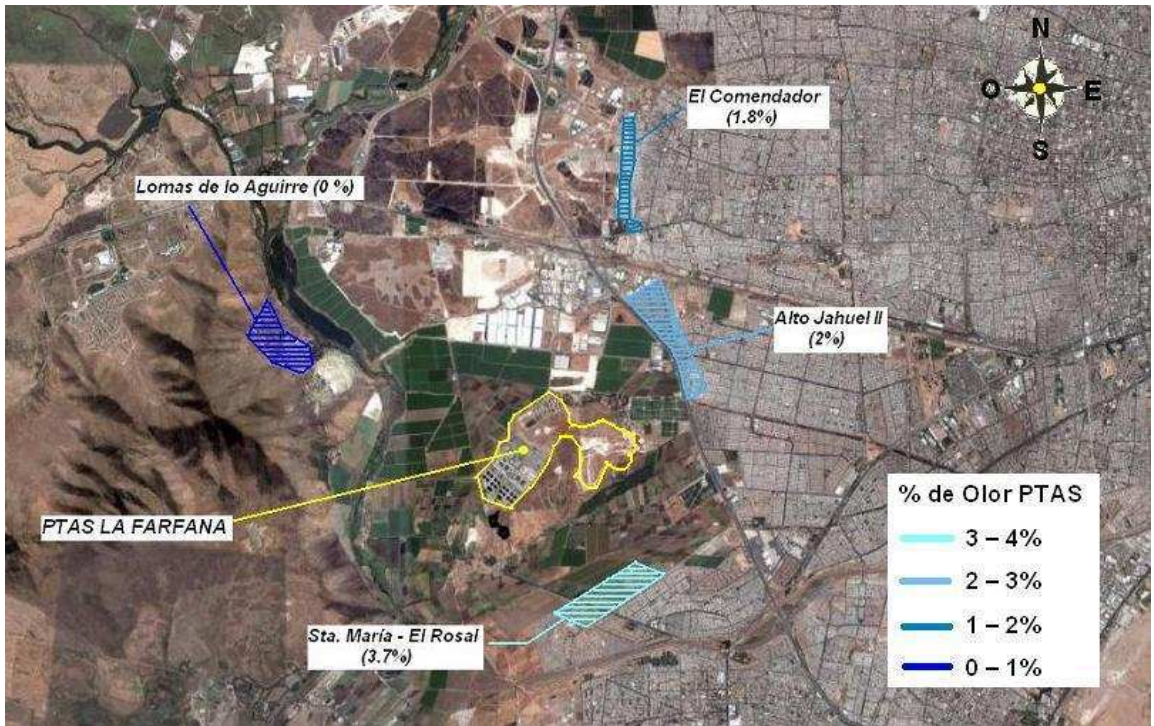


Figura 33: Distribución geográfica del porcentaje de frecuencia de olor atribuible a la Planta en base a paneles de olores

En la Figura 34 se presenta el mapa de olores entre las líneas isodoras generadas por el modelo y las frecuencias de olor percibidas por los panelistas.

El sector El Comendador alcanza el umbral de reconocimiento ($3 \text{ UO}_E/\text{m}^3$), por ende esta zona se percibe eventos de olores concordando con las mediciones de los paneles de olor que aunque presenta menos del 10% de frecuencia de olor, es el segundo sector que presentar los peak de frecuencia.

Mientras, que el sector de Santa María – El Rosal la pluma de olor se superpone muy leve sobre esta zona, sin embargo, en el sector poniente del sector los valores aumentan a 1 y 3 UO_E/m^3 , coincidiendo con los eventos de olores percibidos por los paneles entre los años 2006 y 2007 en el mismo punto; las frecuencias de olor percibidas por los paneles de olor en esta zona son los más altos.

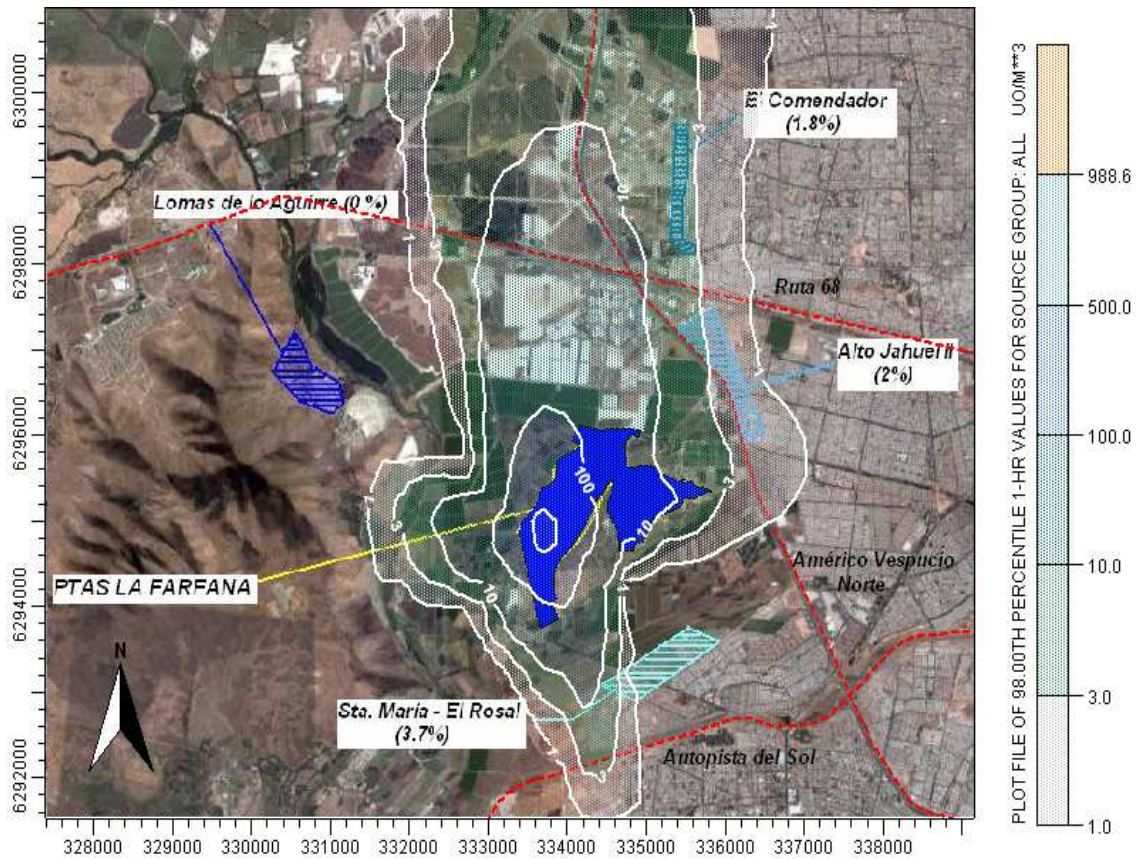


Figura 34: Mapa de olor obtenido de la aplicación del modelo AERMOD y medición de Paneles de olor.

Hay que considerar que entre ambos métodos existen diferencias en la forma de evaluación del impacto de olor, no obstante, las estimaciones del modelo coincidieron en la mayoría de los puntos de las mediciones en terreno.

Resumiendo, el mapa de olores indica que las mediciones en los sectores monitoreados son de baja inmisión, pues las líneas isodoras evidencian que en estos puntos alcanzan concentraciones de 1 y 3 UO_E/m^3 , es decir, no es posible afirmar que se generen molestias (umbral de molestia = 10 UO_E/m^3) constantes de olores anuales en esas zonas.

5.4.2. Resultados Monitoreo Continuo de Olor y comparación simulación de olores

Los resultados de la campaña anual entre Enero y Noviembre 2008 indican que un 93.9% se presenta sin olor, tan sólo un 1.4% es asociado a la planta y un 4.6% pertenece a otros emisores (Figura 35).

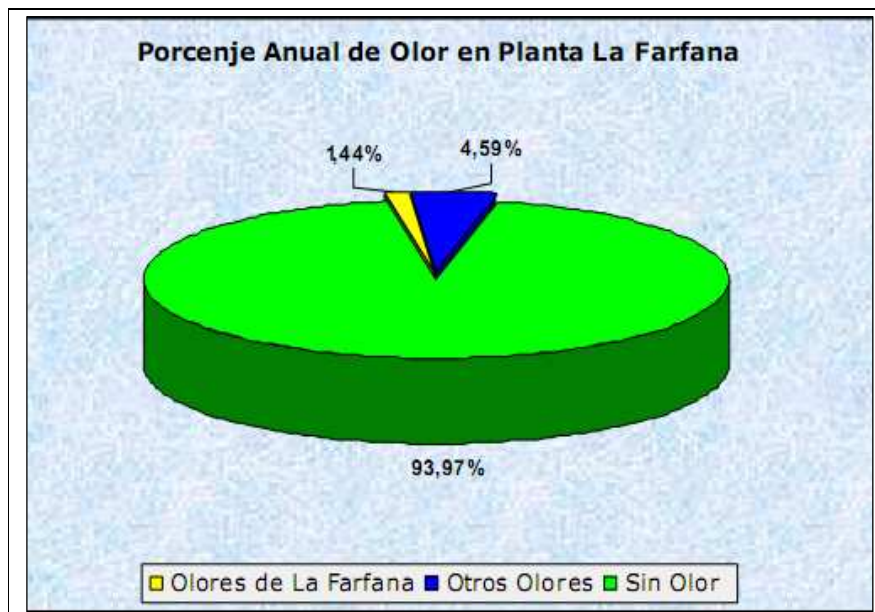


Figura 35: Porcentaje de Olor en PTAS La Farfana, año 2008

En términos mensuales los resultados indican que el mayor tiempo de olor monitoreado se presenta en los meses de mayo, agosto, septiembre y octubre, es decir en las Estaciones de Otoño, Invierno y Primavera.

Dentro del 1.4% del tiempo total de olor atribuible a la planta, este fue dividido por lo percibido por las zonas aledañas a la planta. La Figura 36 indica la distribución del porcentaje de tiempo de olor percibido por las zonas aledañas a la planta.

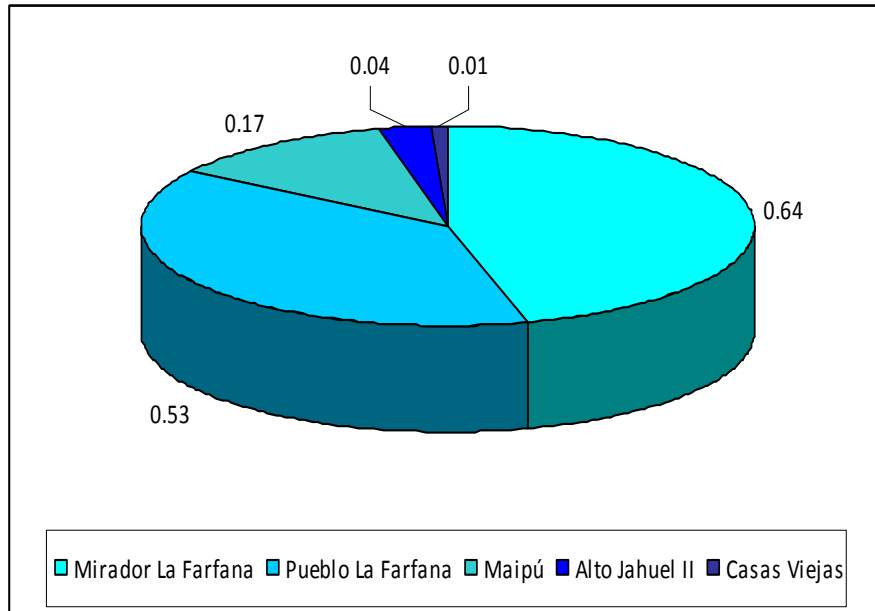


Figura 36: Porcentaje de tiempo de olor percibido por zonas aledañas a la Planta

Las mayores percepciones de tiempo de olor en los sectores monitoreados son: 0.64% Mirador de la Planta y 0.53% Pueblo La Farfana, las zonas más cercanas a la Planta.

Del mismo modo, hay que considerar el tiempo de olor expresado en horas de olor durante un año. El total de horas de olor durante el año 2008 fue de 122 horas/año. En la Figura 37 se presenta la distribución geográfica del tiempo de olor (horas/año) por cada sector.

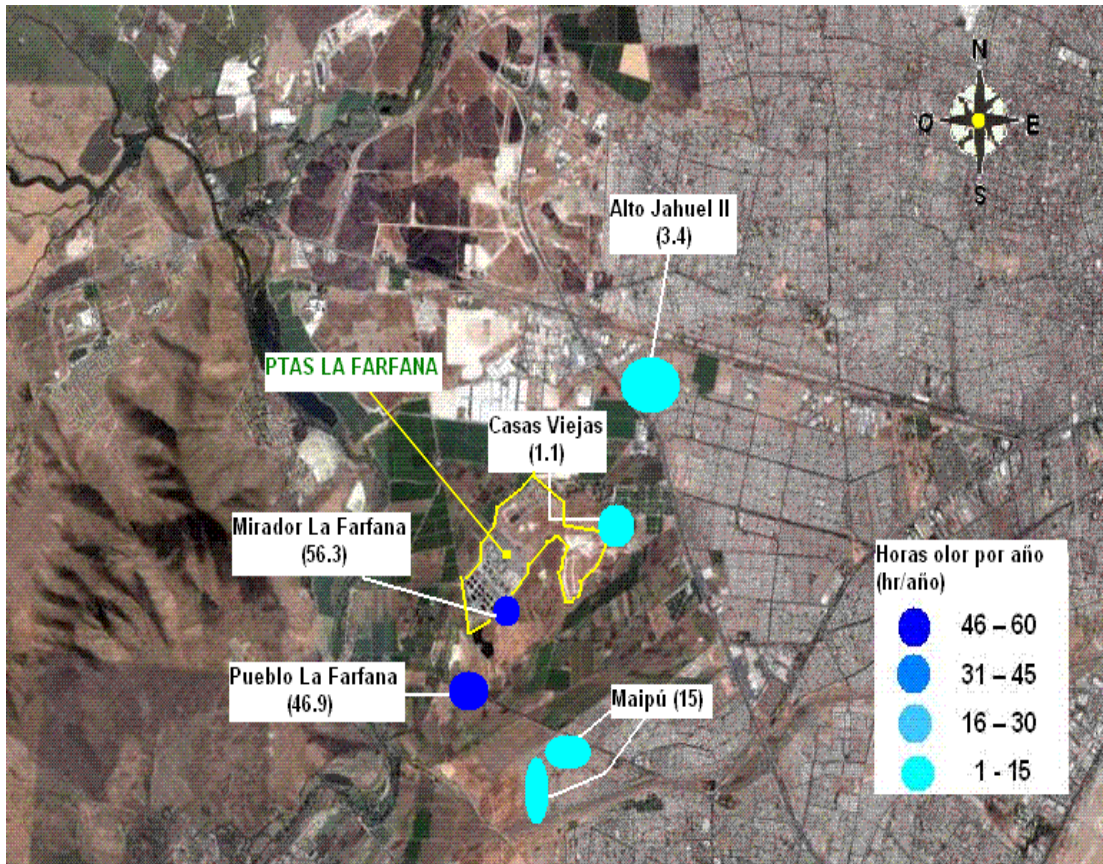


Figura 37: Distribución geográfica de Horas de olor al año en los sectores monitoreados

Los sectores Mirador La Farfana y Pueblo La Farfana concentran las mayores horas de olor sumando ambos alrededor de 100 horas de olor anual. El tiempo de olor percibido por el monitoreo continuo está relacionado a la distancia que se encuentran cada uno de los puntos a la planta, siendo el punto el Mirador La Farfana el punto con mayor tiempo de olor, hay que destacar que este punto es considerado un punto de control interno por la planta, debido que se encuentra al interior del territorio de la PTAS.

En la Figura 38, el mapa de olores del monitoreo continuo es relacionado a las líneas isodoras generadas por la aplicación del modelo.

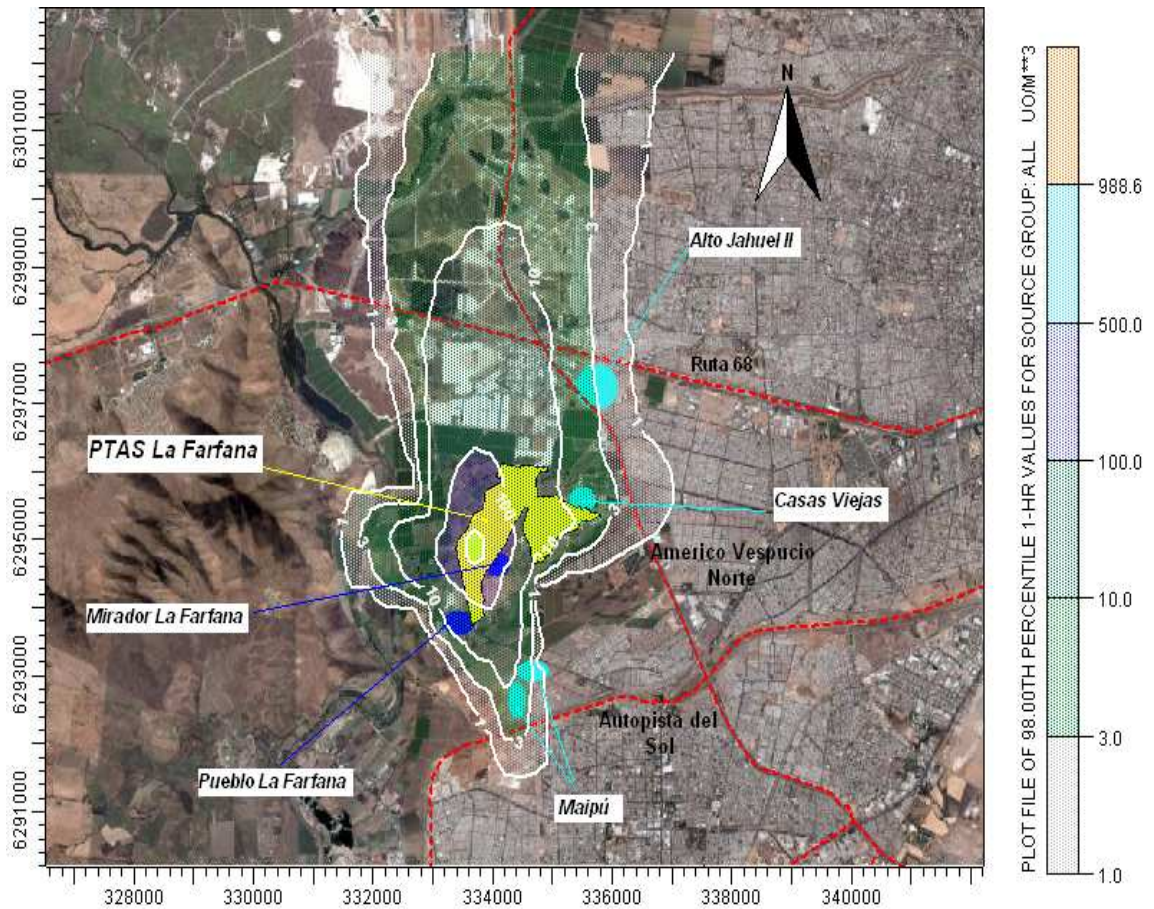


Figura 38: Mapa de olor obtenido de la aplicación del modelo AERMOD y monitoreo continuo de olores

Los sectores de Maipú, Casas Viejas y una segmento poniente de Alto Jahuel II están dentro del umbral de reconocimiento de 3 UO/m^3 , como se explicó en el apartado 2.2 *Olores*, el olor es percibido y reconocido. Mientras, que el sector Pueblo La Farfana está dentro del umbral de molestia de 10 UO/m^3 . Por último, la línea isodora de 100 UO/m^3 encierra el punto interno de control de la planta El Mirador La Farfana, el cual sobrepasa el umbral de molestia.

5.5. Evaluación de niveles de concentración con criterios normativos y/o estándares internacionales de calidad de aire para el tema olores

Existen diferentes enfoques en relación a la normalización en el tema de olores como se mencionó anteriormente (véase en el apartado 2.2.3. *Legislación*). Además, en la sección 4.5 *Valores de límites de inmisión de concentración de olor*, se mencionan países como Alemania, España, Bélgica, Australia, entre otros, que utilizan como cálculo de las emisiones de olor la técnica de olfatometría dinámica y de las concentraciones en base a modelos de dispersión atmosféricos, utilizando como criterio el percentil 98.

En el Cuadro 12 presentado en el capítulo 4 de la sección 4.2.5, se enumeran los valores de límites de inmisión en términos de unidades de olor, las concentraciones fluctúan en valores entre 0.5 y 10 UO/m³. Estas concentraciones no deben superarse en cualquier lugar fuera de los límites de la instalación que se estudia o analiza.

La Figura 39 se presentan las líneas isodoras aplicadas a normativas de límites de inmisión internacionales, proporcionando una visión general de las posibles zonas a impactar si se aplicará alguno de estos límites de concentración en Chile.

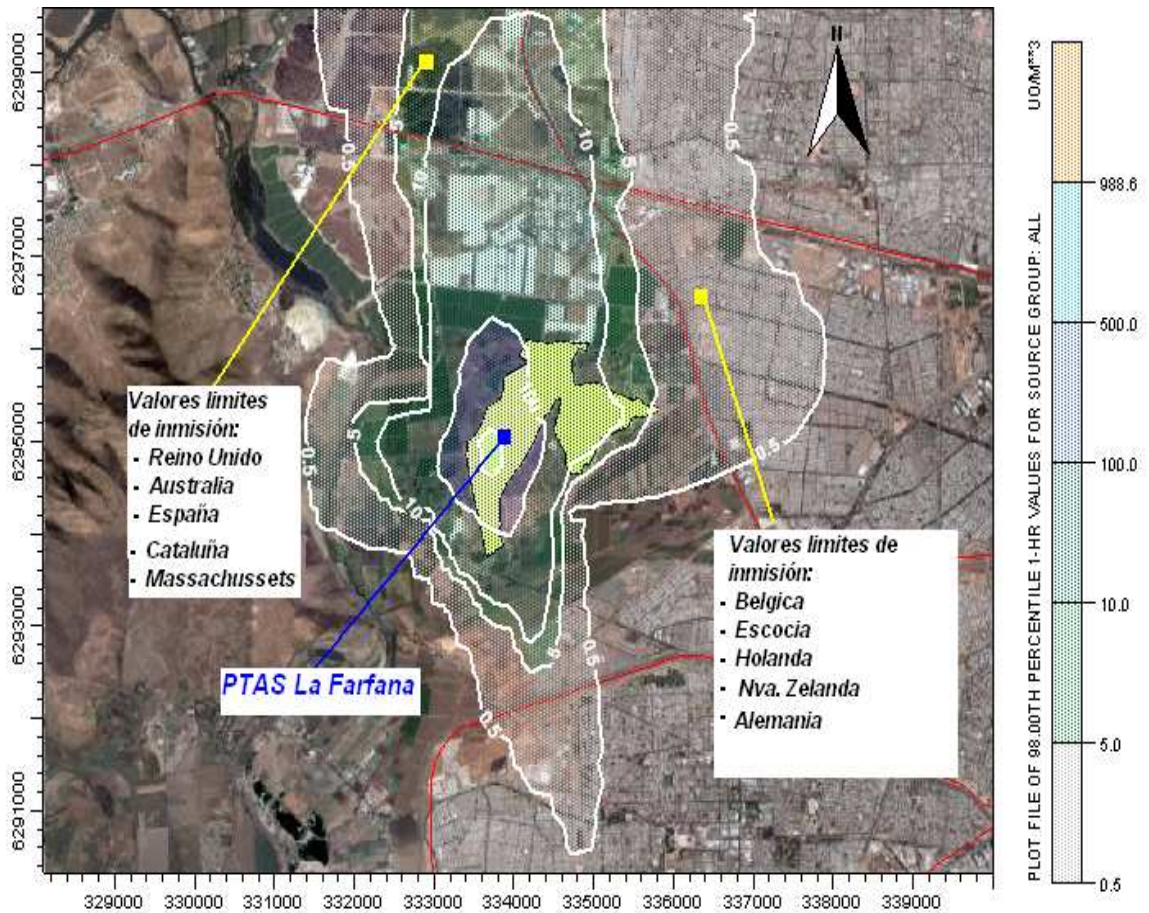


Figura 39: Modelación de rangos de límites de inmisión internacionales, aplicados a percentil 98

Al realizar la modelación de las concentraciones de olor en zonas aledañas a la PTAS La Farfana, se empleó rangos de inmisión de 0.5 – 5, 5 - 10 y superiores a 10 (UO/m³).

Si se aplicará el límite de concentración más permisivo de 10 UO/m³, como muestra la Figura 40 dentro del área de las líneas isodoras se impactaría sólo zonas de uso de suelos agrícolas e industriales.

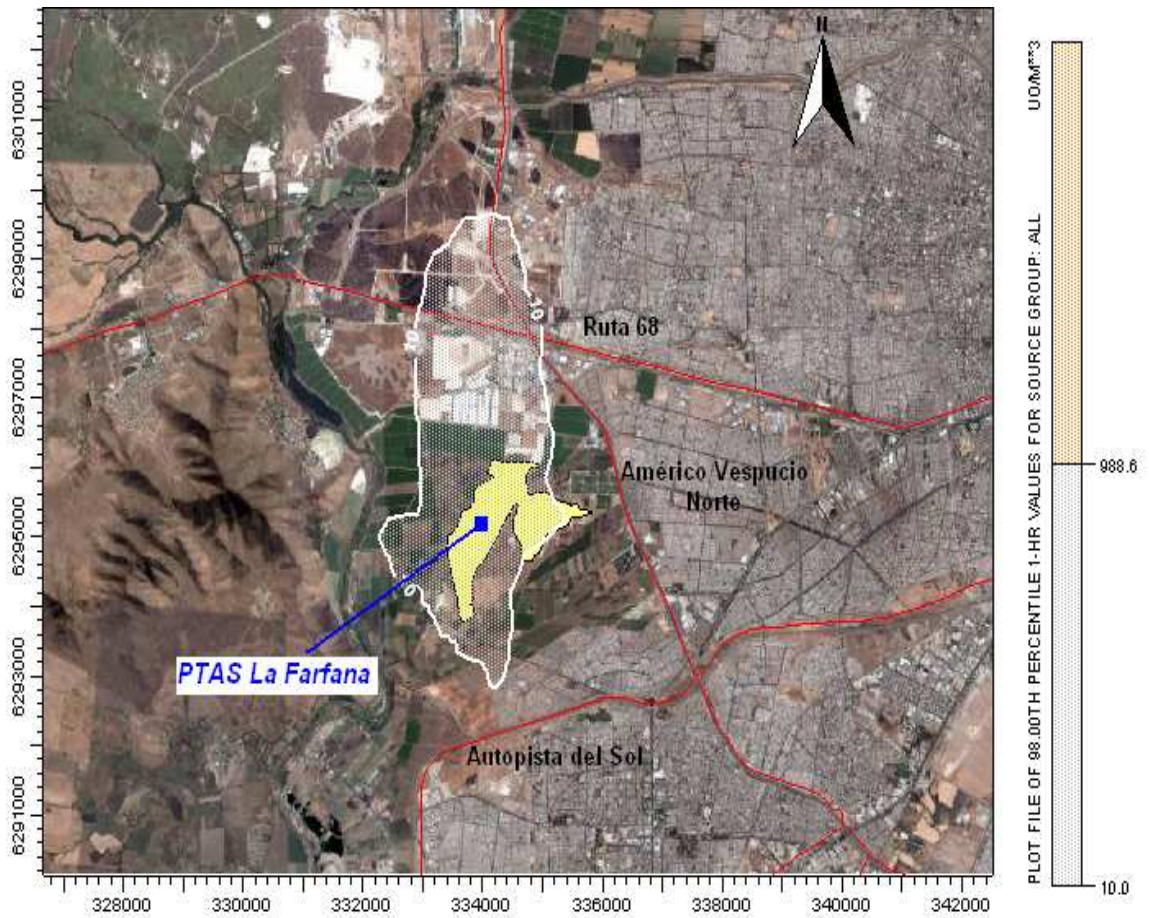


Figura 40: Concentración límite de 10 UO/m³ – Percentil 98

En cambio, si se aplicará el rango de 5 – 10 UO/m³ como en países como EEUU (Massachussets), España (Anteproyecto de ley de Cataluña), Reino Unido y Australia (Área rural y urbana) el impacto de olor se desplazaría hacia zonas de uso agrícola e industrial, incluyendo la zona rural aledaña a la planta como Casas Viejas y Pueblo La Farfana, por último alcanzaría un sector acotado urbano hacia el sector Sur de la planta, como se evidencia en la Figura 41.

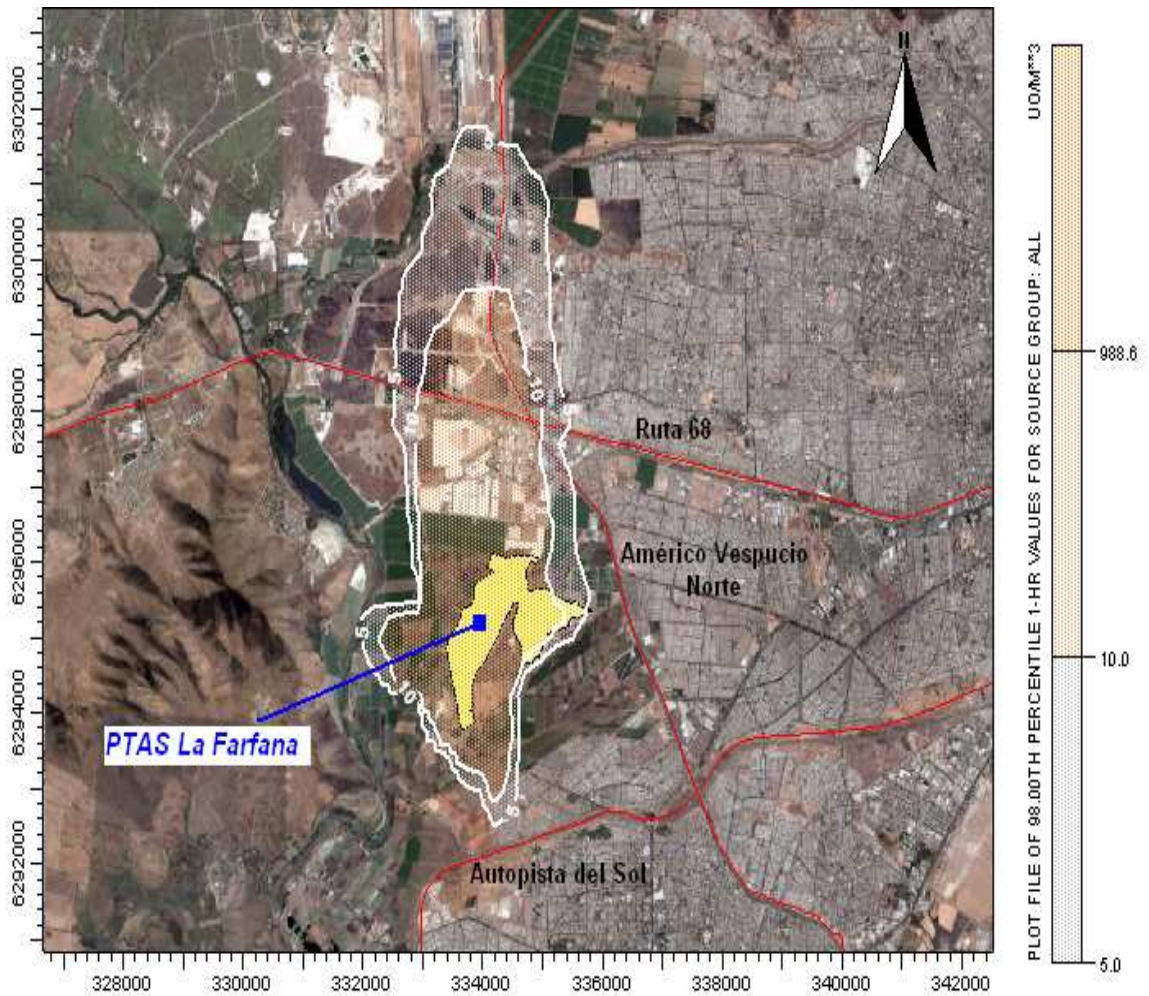


Figura 41: Concentración límite de 5 - 10 UO/m³ – Percentil 98

Mientras, que si se aplicará los límites más restringidos entre 0.5 y 5 UO/m³ de los países como Bélgica, Holanda, Alemania, Escocia, Nueva Zelanda y Australia (Áreas densamente pobladas) se impactaría gran parte de la zona residencial del sector noreste y sur de la planta, además de áreas rurales como casas viejas y pueblo La Farfana ampliándose la pluma excediendo el sector del Aeropuerto Arturo Merino Benítez como lo señala la Figura 42.

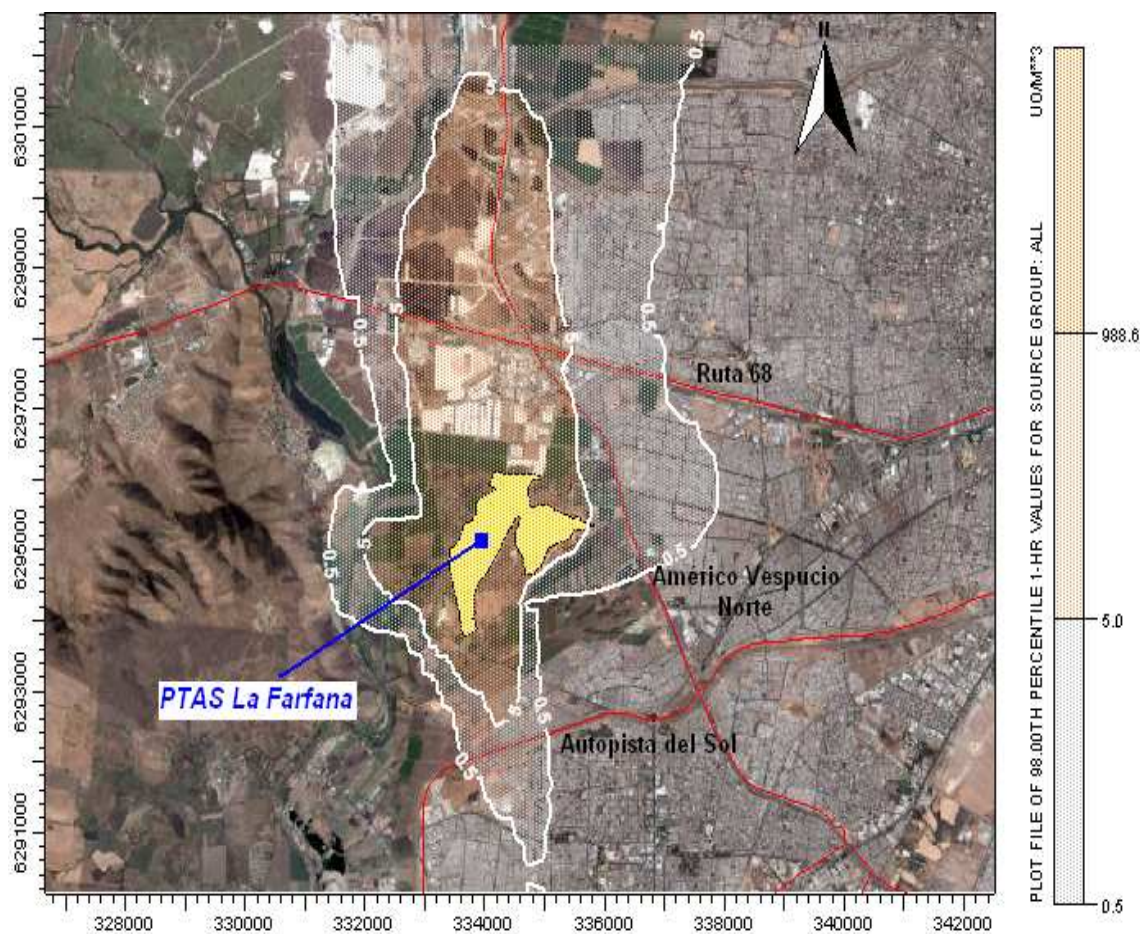


Figura 42: Concentración límite 0.5 - 5 UO/m³ – Percentil 98

Finalmente, los límites de inmisión de olor en el marco normativo internacional fluctúan entre 0.5 y 10 UO/m³, en tanto si estos rangos se aplicarán a Chile con valores cercanos a 0.5 UO/m³ alcanzarían a zonas residenciales al menos a 3.5 Km. del punto céntrico de la planta. En cambio si el rango está alrededor de las 10 UO/m³ la pluma de olor sólo bordearía a zonas de uso de suelo agrícola e industrial, sin impactar zonas densamente pobladas.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio realizó la cuantificación de la emisión de olor emitida para las principales fuentes líquidas (aireadas y no aireadas) de la PTAS La Farfana por medio de la técnica de olfatometría dinámica. Los cálculos de emisiones de olor emitidas por la planta dan como resultado millones de unidades de olor por hora, que es comúnmente la cifra empleada para las emisiones de PTAS según publicaciones de la Fundación AGBAR “La olfatometría como técnica eficaz en el diagnóstico y solución de los problemas de olores en las EDAR⁴” (1999). De lo anterior, se deduce que los valores entregados por la olfatometría dinámica están entre los rangos de emisiones de olor que emite una planta de tratamiento de aguas servidas según bibliografía consultada. Es por esto, que para realizar un efectivo estudio de la emisión de olores se recomienda realizarla por medio de estudios olfatométricos, ya que utiliza el propio olfato humano para su cuantificación.

Posteriormente, la aplicación del modelo gaussiano de dispersión atmosférica ISC AERMOD, para este caso estudio, logró satisfactorios resultados en la modelación, pues se utilizan tres años de meteorología representativa de la zona de estudio y la bibliografía recomienda como mínimo un año, al contrario si se utiliza menos de un año de datos meteorológicos podría crear desventajas que sesgan la estimación del alcance de la pluma de olor u otro componente; sumando que el territorio donde se emplaza la planta es generalmente plano por lo que generó menos escenarios complejos en la modelación. Consecuentemente, para la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes siempre deben existir estaciones meteorológicas cercanas a la zona estudio, para así contar con datos de años anteriores que generan la calidad y representatividad de la caracterización de la zona. Por último, la aplicación del modelo para la medición de concentración de olor, prevé futuros escenarios en el momento que se desee implantar una medida de reducción

⁴ Estación Depuradora de Aguas Residuales

y/o eliminación de olores, por lo cual se podrá identificar qué fuente se ha de rebajar su nivel de emisión.

Los estudios olfatométricos son una herramienta de gran utilidad para el control y reducción de olores tanto para instalaciones existentes o posteriores. Por otro lado, las mediciones en terreno de tipo sensorial son una gran herramienta de apoyo para el control constante de los olores entorno a una zona. Los mapas de olores generados por los paneles de olor demuestran la baja concentración de olor atribuibles a la planta, lo que coincide con las concentraciones arrojadas por el modelo que indican umbrales de percepción y reconocimiento de 1 y 3 UO/m³ respectivamente en aquellas zonas monitoreadas, por lo tanto, no se puede afirmar un impacto por olor en aquellas zonas debido a que no se alcanza el umbral de molestia de 10 UO/m³.

El monitoreo continuo integra tres puntos nuevos de medición muy cercanos a la planta donde se evidencia un mayor tiempo de olor, para lo cual el modelo coincidió en esos sectores y mostró un aumento en las concentraciones de olor alcanzando el umbral de molestia para estos puntos. Consiguientemente, según los resultados de las medias de las mediciones en terreno no se identifican impactos de olores en la zona, en cambio las emisiones máximas muestran que sí se originan eventos de olores, sólo por periodos momentáneos, que son detectados sólo por las mediciones en terreno y no por el modelo; debido a que las estimaciones de éste son medias horarias las cuales no detectan los peak de olor que si son captados por las mediciones olfativas en terreno.

El estudio contempla como último objetivo el evaluar los límites de inmisión establecido por países como Alemania, Bélgica, Holanda, Australia, entre otros. Para lo cual, el límite de concentración más permisivo es de 10 UO/m³, lo que indica la simulación del modelo que no existe un impacto en zonas residenciales, y que sólo alcanzaría a zonas de uso de suelo agrícola e industrial. En tanto, si el límite de inmisión aumenta alrededor de las 5UO/m³ alcanzaría un impacto a áreas rurales aledañas a la planta. Últimamente, si los

límites son aún más restrictivos como en Bélgica, Alemania, Nueva Zelanda, entre otros, y son menores a 5 UO/m³ el impacto aumenta a zonas rurales y residenciales.

Con este estudio se puede conocer, comprender e identificar las etapas y herramientas que se utilizan para la medición de emisiones e inmisiones de olor emitidas por una fuente emisora, como por ejemplo para este caso el estudio de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

7. BIBLIOGRAFÍA

ABURTO, C. 2007. Elaboración de un modelo de estimación de la distribución espacial de la radiación solar global mensual para Chile central. Memoria de Título de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.

AGUAS ANDINAS. 2000. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana.

AMBIO. s.a. [en línea]. Estudios Olfatométricos. Disponible en: <<http://www.ambio.es/aplicac/curric/noticias/200507211725460.pdf>> Citado el 06 de mayo de 2009.

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO. 2009. Cromatografía de Gases. [en línea]. Disponible en: <http://www.olores.org/website/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=2&Itemid=42&lang=es> Citado el 26 de mayo de 2009.

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO. 2009. Métodos Colorimétricos. [en línea]. Disponible en: <http://www.olores.org/website/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=2&Itemid=42&lang=es> Citado el 26 de mayo de 2009.

BATLLE, *et al.* 1996. Control de olores de una EDAR. Tecnología del agua 153: 40-45.

BERENGUER. s.a. [en línea]. Olores: Un factor de calidad y confort en ambientes interiores. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. Disponible en: <<http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/3-%20AIRE/Ref->

INSHT/NTP%20358%20Olores_Un%20factor%20de%20calidad%20en%20ambientes%20int.pdf> Citado 20 de mayo de 2009.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (BCN). s.a. [en línea]. Ley 19.233, Chile. Disponible en: <www.bcn.cl/leyes/pdf/actualizado/3656.pdf> Citado el 25 de Marzo de 2009.

CALVET, S. 2007. [en línea]. Malos olores y compuestos orgánicos volátiles. Disponible en:<http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/agenda/cas/2.3.%20COVs%20y%20Olores.pdf> Citado el 30 de junio de 2009.

CANALES *et al.* 2007. La contaminación por olores y su regulación en la legislación nacional y extranjera (España y Alemania). Biblioteca Nacional de Chile. Santiago, Chile.

CANDENAS, J. 2007. [en línea]. Olores. Definición y medición del olor. Consejería de Medio Ambiente. Disponible en:
http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/agenda/cas/03.%20OLORES_JESUS%20CANDENAS.pdf Citado el 23 de junio de 2009.

DEGREMONT. 2005. Presentación de la Unidad de Tratamiento. Manual del Operador, Aguas Andinas.

DICTUC. 2006. Capacitación en el Desarrollo y uso del Modelo de dispersión de contaminantes ISC AERMOD.

FERRADA, N. 2008. [en línea]. Institucionalidad Ambiental. CONAMA. Disponible en:<http://www.conama.cl/especiales/1305/articles-40867_infoInstitucionalidadFNAnexo1.pdf> Citado el 28 de mayo de 2009.

GARREAUD, S. 2005. [en línea]. Flujos Turbulentos. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. Citado el 21 de septiembre de 2009.

GESTION AMBIENTAL CONSULTORES. 2007. [en línea] Modelación de calidad del aire. Declaración de Impacto ambiental. Planta de Ácido Sulfúrico Mejillones. Anexo N°6. Disponible en: <<http://www.e-seia.cl>> Citado el 30 de junio de 2009.

GUÍA ALEMANA VDI 3940. Determination of Odorants in Ambient Air by Field Inspections. Bundesanzeiger (Federal Gazette). 1993. Berlín, Alemania.

GUTIERREZ, R. 2008. Estudio para establecer criterios de operación de la cancha de secado de biosólidos para disminuir los eventos de olor en sectores cercanos a la Planta de Tratamiento de Aguas Servida El Trebal. Seminario de Título Químico Ambiental. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. Santiago, Chile. X pp.

IGLESIAS, A. 1998. Olores en la depuración de aguas residuales. Química e Industria (junio): 18-27.

LABAQUA. 2009. [en línea]. Legislación aplicable en contaminación ambiental por olores. Disponible en:
<[http://www.carm.es/.../integra.servlets.ControlPublico?IDCONTENIDO=32705&IDTIPO=60&RASTRO=c511\\$m4634](http://www.carm.es/.../integra.servlets.ControlPublico?IDCONTENIDO=32705&IDTIPO=60&RASTRO=c511$m4634)> Citado el 27 de mayo de 2009.

MARTÍNEZ, *et al.* 2003. Legislación sobre contaminación ambiental por olores. Ingeniería Química 401: 109-114.

METCALF & EDDY. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ª Ed. McGraw-Hill. Pp. 63-70, 584-586.

NARICES ELECTRÓNICAS. 2009. [en línea]. Disponible en: <http://www.olores.org/website/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=5&lang=es> Citado el 20 de mayo de 2009

OLORES. 2009. Olfatometria de campo. [en línea]. Disponible en: <http://www.olores.org/website/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=8&lang=es> Citado el 26 de mayo de 2009.

PROYECTO DE LEY. Modifica la Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente definiendo y estableciendo sanciones a la contaminación odorífera. Boletín N° 4982-12. Abril 2007. Cámara de Diputados, Valparaíso, Chile.

PROYECTO DE LEY. Modifica la Ley 19.300, de Bases Generales del Medio Ambiente, en relación a la contaminación olfativa. Boletín N° 4846-12. Enero 2007. Cámara de Diputados, Valparaíso, Chile.

STUETZ, R. y FRECHEN, F. 2001. Dispersion Modelling. pp.232-249. *In:* Gostelow P., Parsons S.A. y McIntyre A. (Ed). *Odours in Wastewater Treatment*.

TORO, S. 2005. Estudio y Modelación de Olores Producidos por Amoniac, emitidos desde La Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana. Tesis (Ingeniero de Ejecución en Ambiente). Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería. Pp 37.

UNE-EN 13725. 2004. Calidad del Aire. Determinación de la Concentración de Olor por Olfatometría Dinámica. Madrid, España. 70 pp.

APENDICE I: CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES

A. Puntos de muestreo de las principales fuentes de procesos

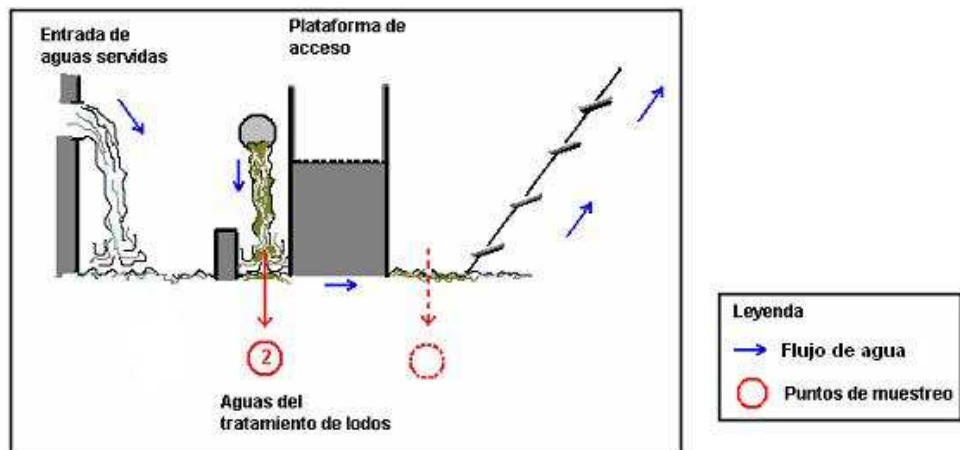


Figura 1: Tratamiento Preliminar, puntos de muestreo (vista de lado)

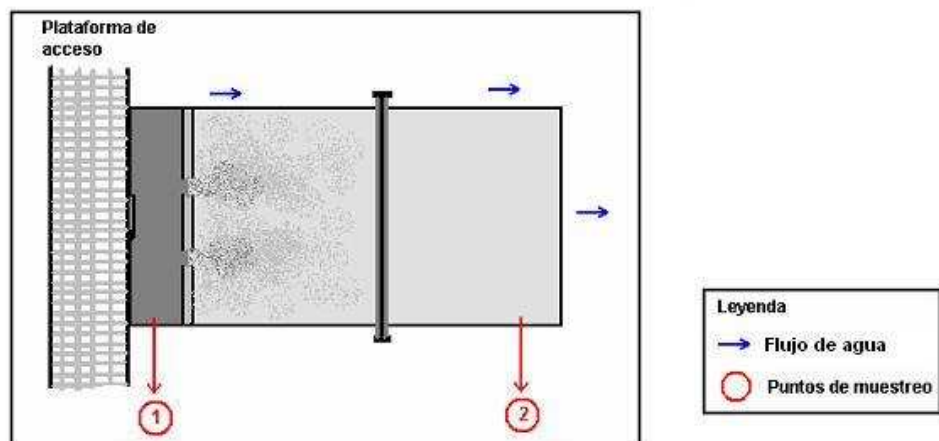


Figura 2: Clarificador Primario, puntos de muestreo (vista de alto)

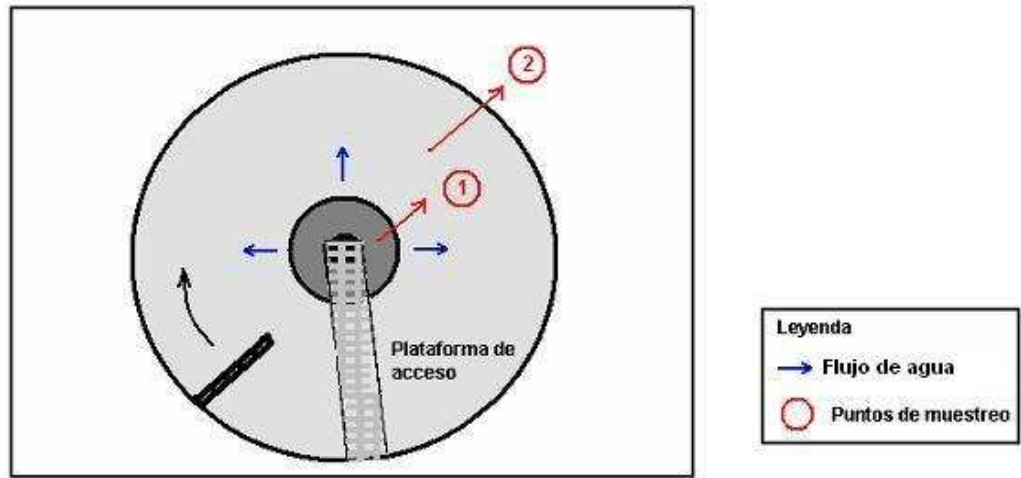


Figura 3: Clarificador Secundario, puntos de muestreo (vista de alto)

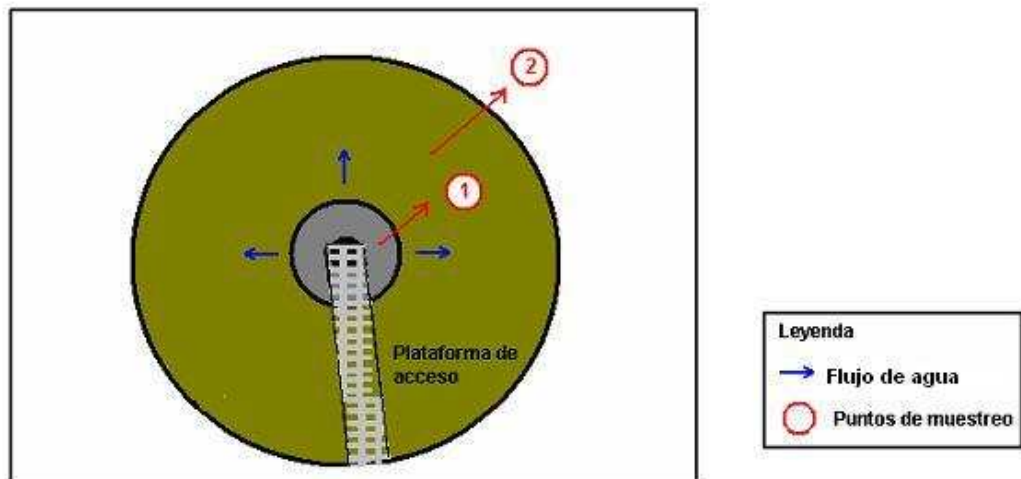


Figura 4: Espesador de lodos, puntos de muestreo (vista de alto)

B. Dimensiones de unidades de procesos muestreadas

Cuadro 1: Unidades de Procesos muestreadas

Unidades	Área	N° de Unidades	Superficie Unitaria (m²)	Superficie Total (m²)	Radio	Alto NT⁵
Pozos de Gruesos	100	1	150	150	-	-
Clarificador Primario	600	16	1322	21152	-	3.1
Estanque de Aireación	800	16	2005	32080	-	2.7
Clarificador Secundario	1000	16	1964	314424	25	1.2
Espesador Lodo Primario	1600	4	298	1192	9.7	4
Flotadores de Lodo	1500	6	314	1884	10	3.6

⁵ NT: Sobre el nivel de Terreno

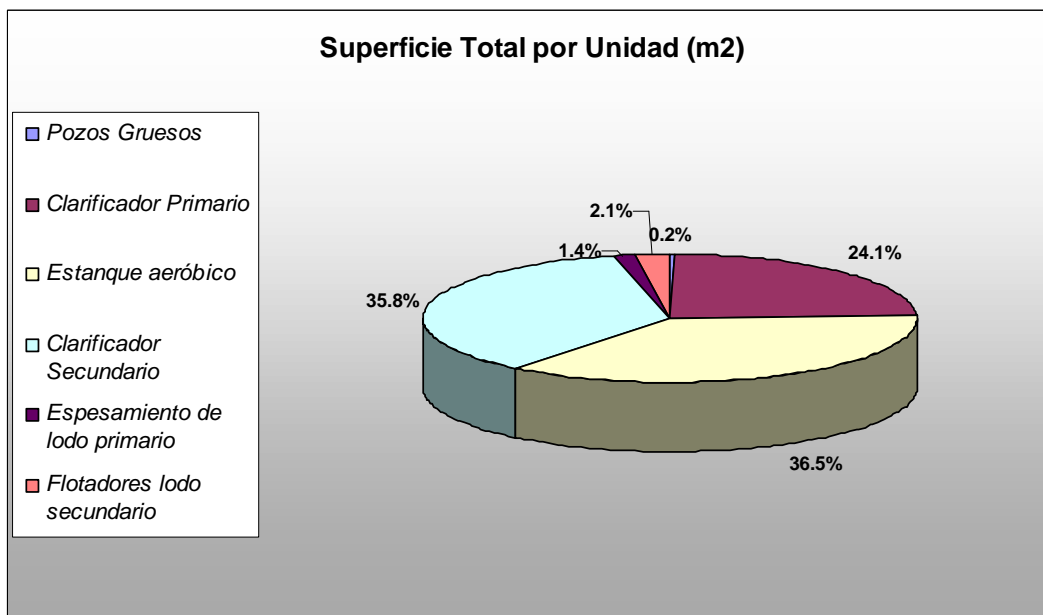


Figura 5: Superficie de cada Unidad de Proceso

Cuadro 2: Características de Fuentes, tipo: Áreas circulares

ID	Tipo de Fuente	X Coord.	Y Coord.	Base Elev.(m)	Altura (m)	Emisión (UO/m ² s)	Radio (m)	Nombre
1001	Area Circular	333438	6294855	467	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1002	Area Circular	333486	6294908	460	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1003	Area Circular	333483	6294816	466	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1004	Area Circular	333531	6294869	460	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1005	Area Circular	333543	6294764	460	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1006	Area Circular	333589	6294818	461	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1007	Area Circular	333588	6294724	467	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1008	Area Circular	333635	6294778	470	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1009	Area Circular	333659	6294666	465	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1010	Area Circular	333703	6294721	466	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1011	Area Circular	333705	6294627	465	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1012	Area Circular	333749	6294681	465	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1013	Area Circular	333762	6294575	465	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1014	Area Circular	333808	6294630	465	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1015	Area Circular	333806	6294537	465	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1016	Area Circular	333853	6294590	465	1.2	2.45	25	Clarificador Secundario
1501	Area Circular	333815	6294955	470	3.6	10.08	10	Flotadores de Lodos
1502	Area Circular	333790	6294926	470	3.6	10.08	10	Flotadores de Lodos
1503	Area Circular	333788	6294953	469	3.6	10.08	10	Flotadores de Lodos
1504	Area Circular	333852	6294924	470	3.6	10.08	10	Flotadores de Lodos
1505	Area Circular	333827	6294894	470	3.6	10.08	10	Flotadores de Lodos
1506	Area Circular	333855	6294896	470	3.6	10.08	10	Flotadores de Lodos
1601	Area Circular	333818	6295083	466	4	8.98	9.7	Espesadores de Lodos
1602	Area Circular	333795	6295057	465	4	8.98	9.7	Espesadores de Lodos
1603	Area Circular	333821	6295036	467	4	8.98	9.7	Espesadores de Lodos
1604	Area Circular	333843	6295061	469	4	8.98	9.7	Espesadores de Lodos

Cuadro 3: Características de Fuentes, tipo: Áreas de polígonos

ID	Tipo de Fuente	Vértice	X Coord.	Y Coord.	Base Elev.(m)	Altura (m)	Emisión (UO/m ² s)	Nombre
100	Área Polígono	1	333696	6295278	470	0	6.47	Pozos gruesos
601	Área Polígono	1	333620	6295038	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
601	Área Polígono	2	333671	6294997	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
601	Área Polígono	3	333728	6295064	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
601	Área Polígono	4	333680	6295105	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
602	Área Polígono	1	333692	6294979	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
602	Área Polígono	2	333738	6294938	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
602	Área Polígono	3	333797	6295003	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
602	Área Polígono	4	333747	6295045	460	3.1	12.5	Clarificador Primario
603	Área Polígono	1	333847	6294845	470	3.1	12.5	Clarificador Primario
603	Área Polígono	2	333894	6294804	470	3.1	12.5	Clarificador Primario
603	Área Polígono	3	333950	6294804	470	3.1	12.5	Clarificador Primario
603	Área Polígono	4	333903	6294911	470	3.1	12.5	Clarificador Primario
604	Área Polígono	1	333913	6294785	468	3.1	12.5	Clarificador Primario
604	Área Polígono	2	333962	6294743	468	3.1	12.5	Clarificador Primario
604	Área Polígono	3	334020	6294809	468	3.1	12.5	Clarificador Primario
604	Área Polígono	4	333974	6294851	468	3.1	12.5	Clarificador Primario
801	Área Polígono	1	333500	6294962	464	2.7	31.53	Estanques de Aireación
801	Área Polígono	2	333585	6294887	464	2.7	31.53	Estanques de Aireación
801	Área Polígono	3	333631	6294939	464	2.7	31.53	Estanques de Aireación
801	Área Polígono	4	333545	6295013	464	2.7	31.53	Estanques de Aireación
802	Área Polígono	1	333600	6294874	460	2.7	31.53	Estanques de Aireación
802	Área Polígono	2	333687	6294799	460	2.7	31.53	Estanques de Aireación
802	Área Polígono	3	333731	6294850	460	2.7	31.53	Estanques de Aireación
802	Área Polígono	4	333646	6294926	460	2.7	31.53	Estanques de Aireación
803	Área Polígono	1	333714	6294775	468	2.7	31.53	Estanques de Aireación
803	Área Polígono	2	333803	6294699	468	2.7	31.53	Estanques de Aireación
803	Área Polígono	3	333847	6294751	468	2.7	31.53	Estanques de Aireación
803	Área Polígono	4	333760	6294827	468	2.7	31.53	Estanques de Aireación
804	Área Polígono	1	333818	6294685	465	2.7	31.53	Estanques de Aireación
804	Área Polígono	2	333903	6294612	465	2.7	31.53	Estanques de Aireación
804	Área Polígono	3	333947	6294663	465	2.7	31.53	Estanques de Aireación
804	Área Polígono	4	333863	6294738	465	2.7	31.53	Estanques de Aireación

APENDICE II: METEOROLOGÍA

A. Rosa y distribución de frecuencia de vientos (Estacional)

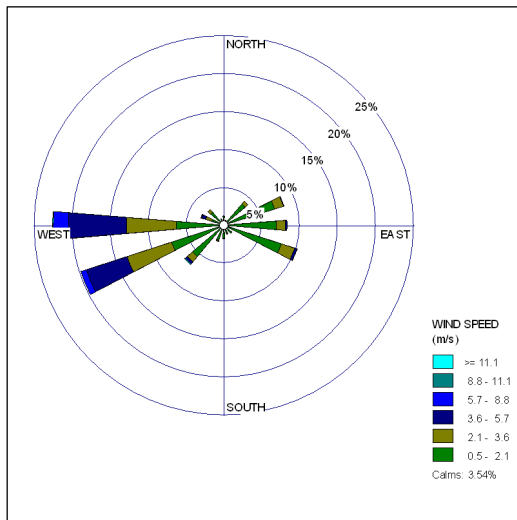


Figura 6: Rosa de vientos Otoño 2006

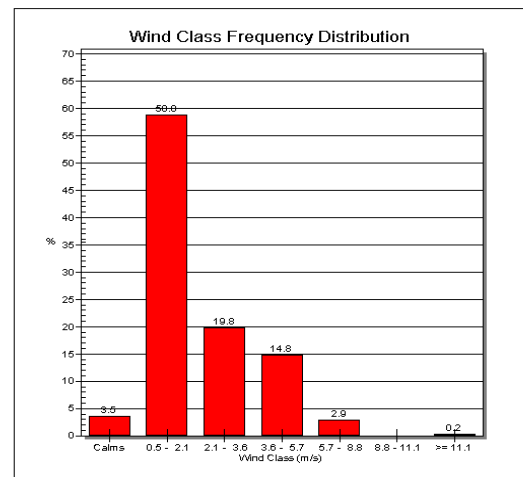


Figura 7: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Otoño 2006

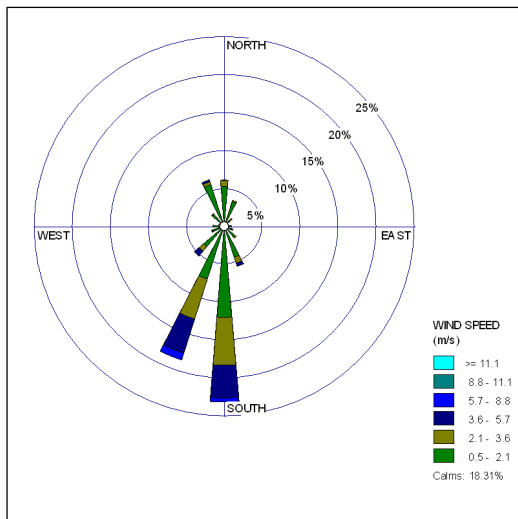


Figura 8: Rosa de vientos Otoño 2007

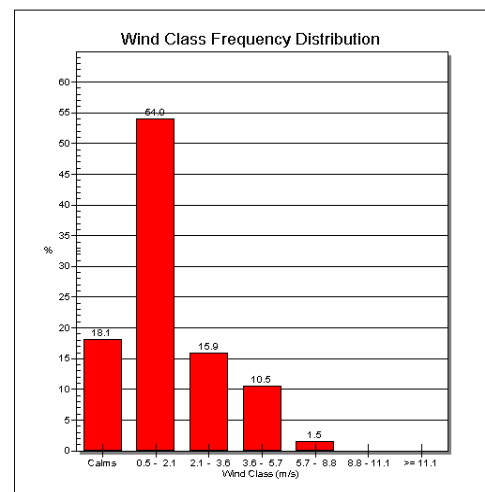


Figura 9: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Otoño 2007

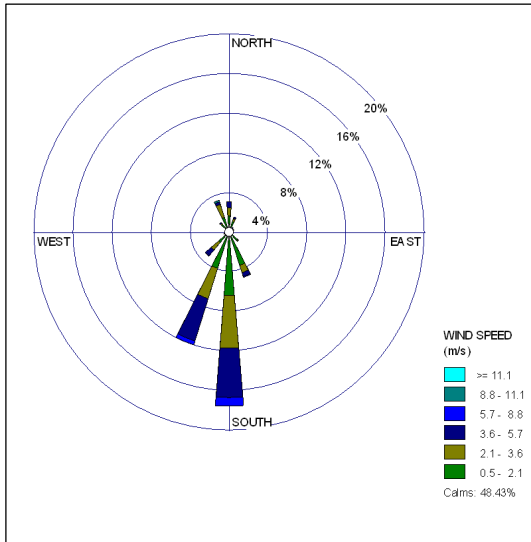


Figura 10: Rosa de vientos Otoño 2008

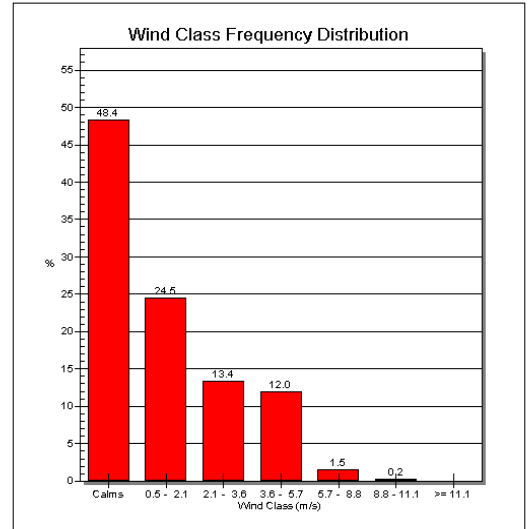


Figura 11: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Otoño 2008

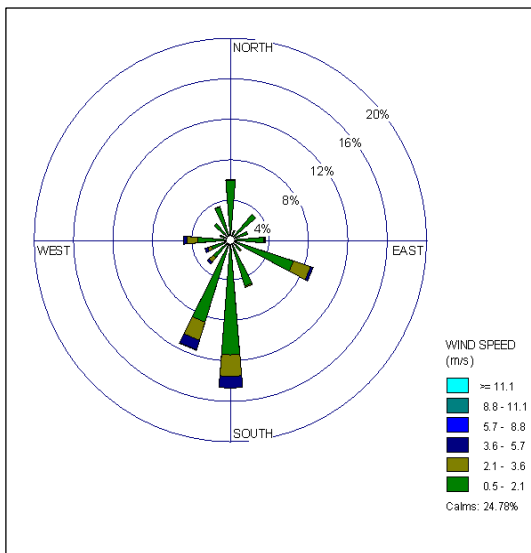


Figura 12: Rosa de vientos Invierno 2006

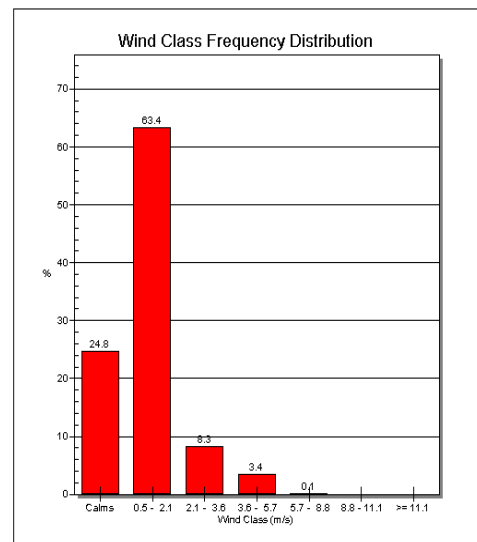


Figura 13: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Invierno 2006

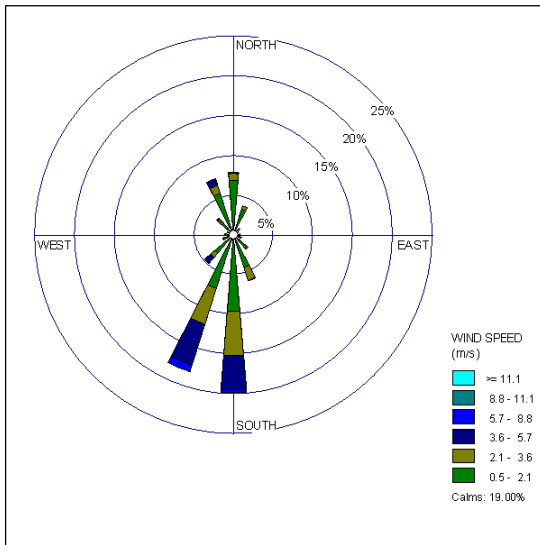


Figura 14: Rosa de vientos Invierno 2007

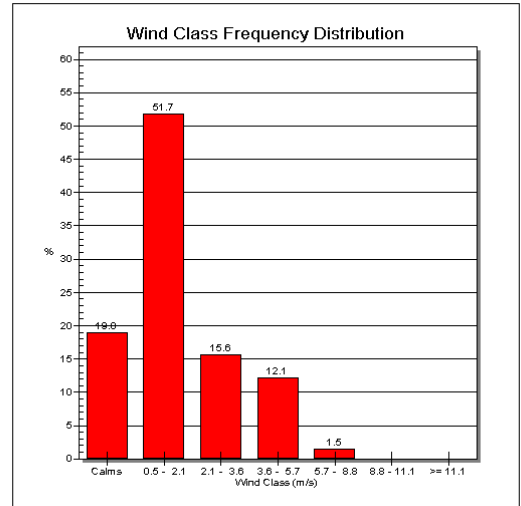


Figura 15: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Invierno 2007

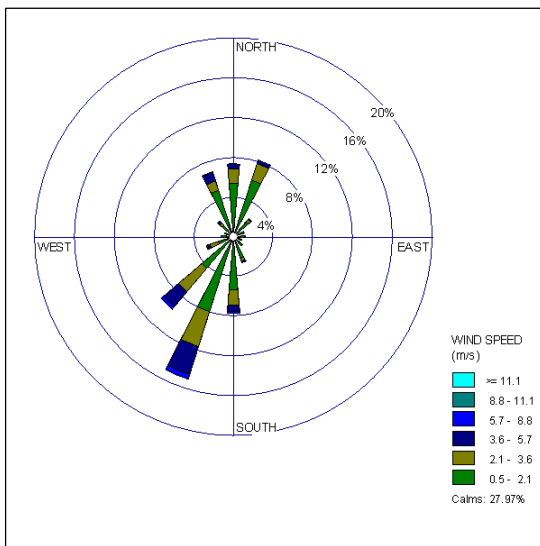


Figura 16: Rosa de vientos Invierno 2008

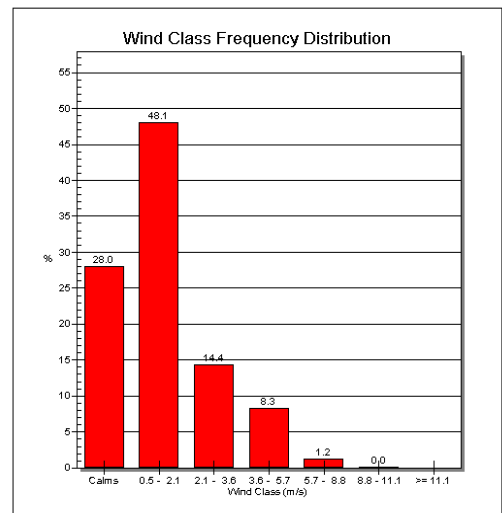


Figura 17: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Invierno 2008

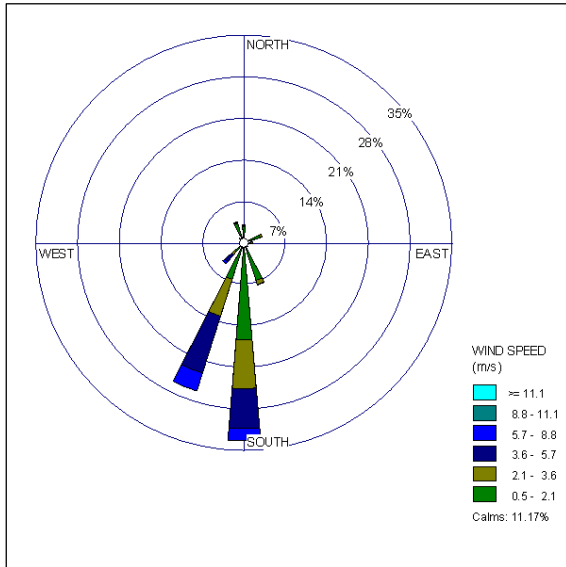


Figura 18: Rosa de vientos Primavera 2006

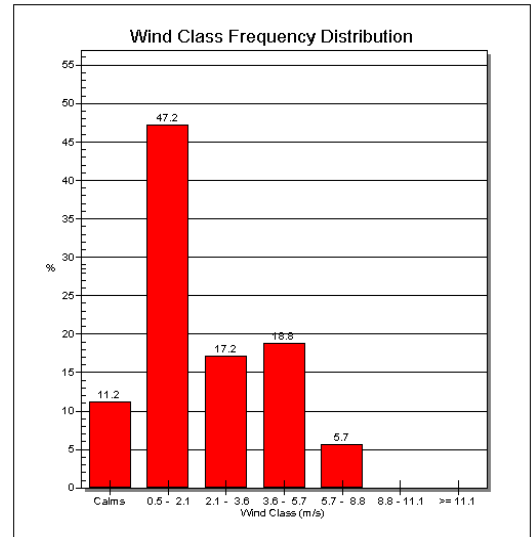


Figura 19: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Primavera 2006

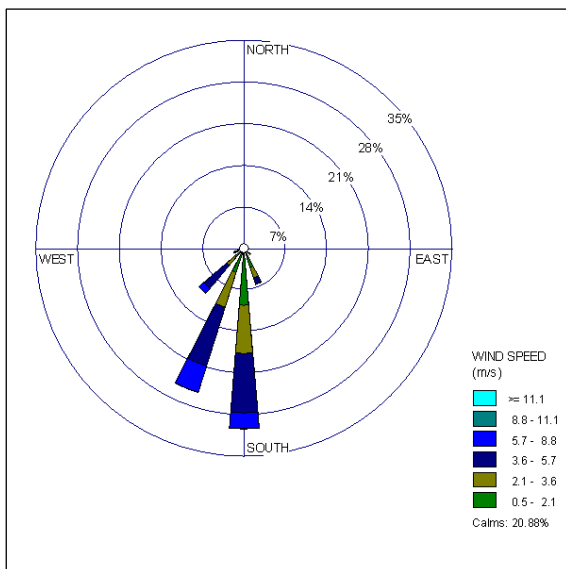


Figura 20: Rosa de vientos Primavera 2007

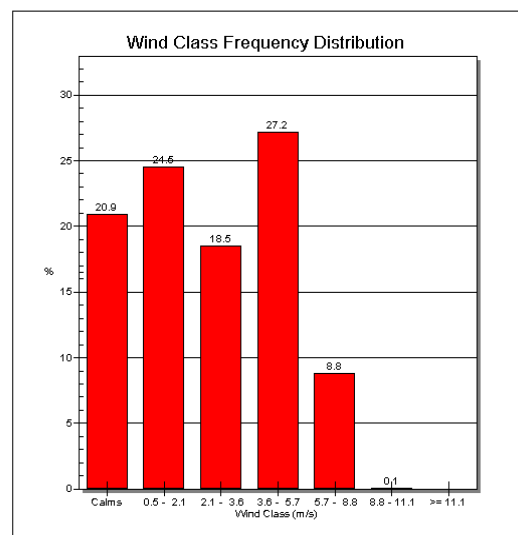


Figura 21: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Primavera 2007

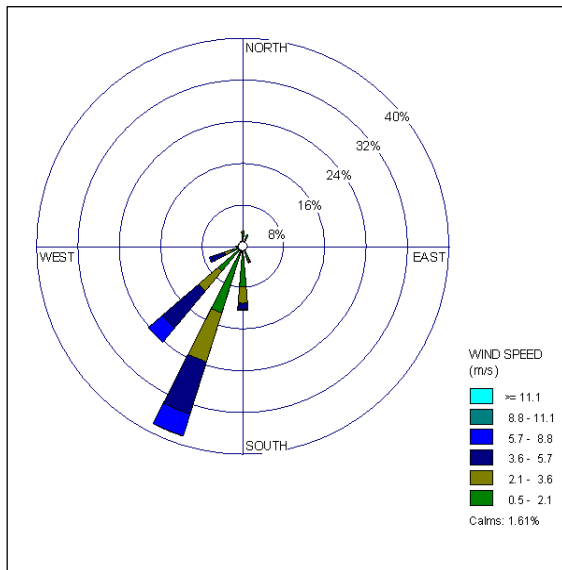


Figura 22: Rosa de vientos Primavera 2008

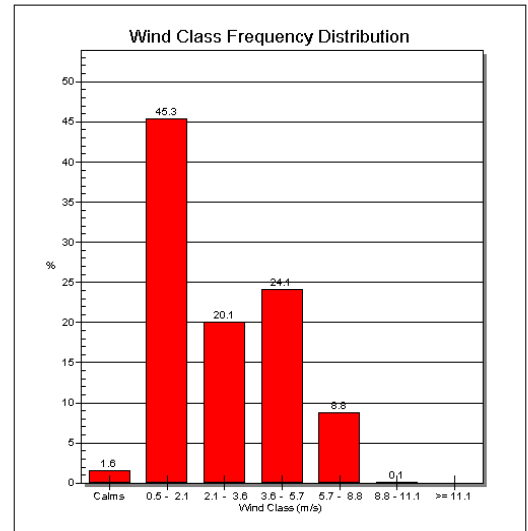


Figura 23: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Primavera 2008

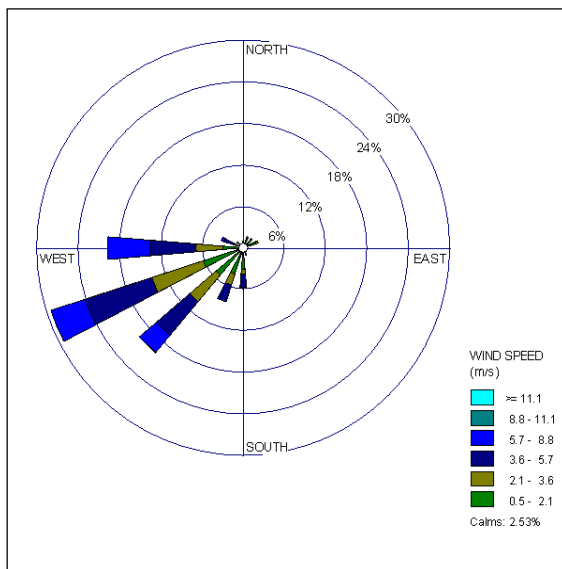


Figura 24: Rosa de vientos Verano 2006

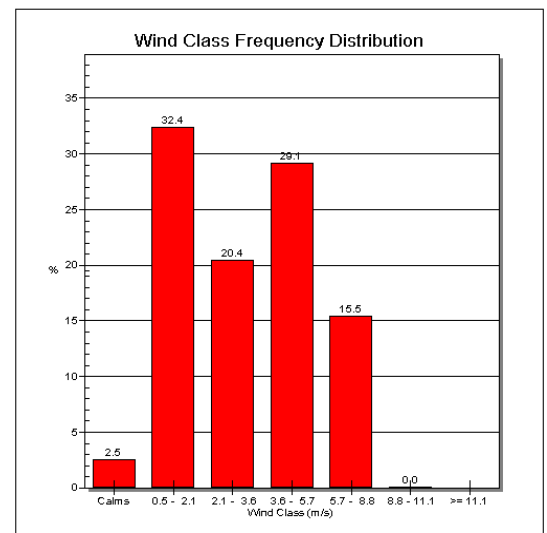


Figura 25: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Verano 2006

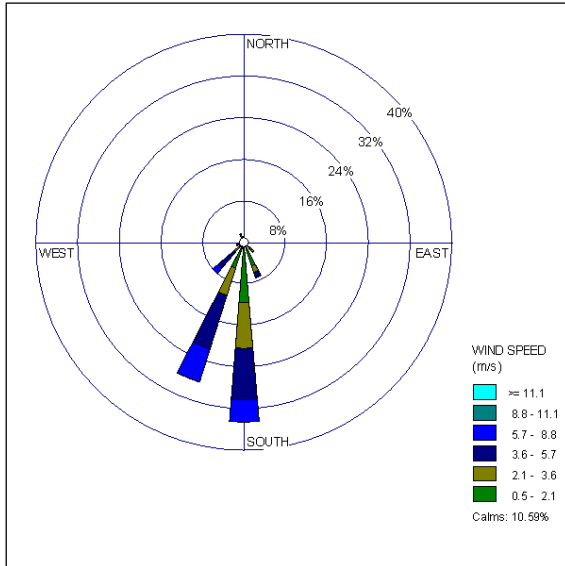


Figura 26: Rosa de vientos Verano 2007

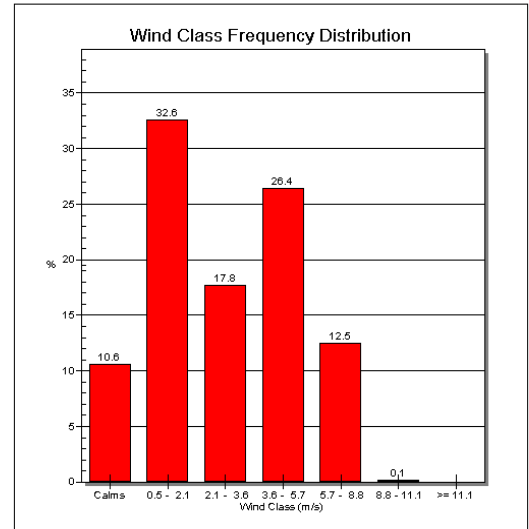


Figura 27: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Verano 2007

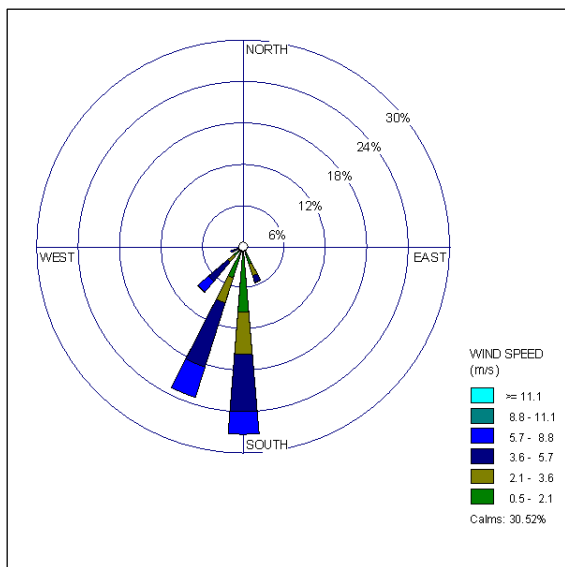


Figura 28: Rosa de vientos Verano 2008

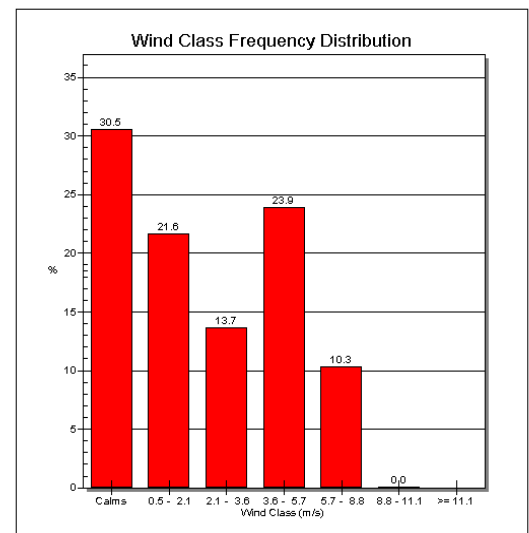


Figura 29: Distribución de Frecuencia de velocidad del viento Verano 2008

ANEXO I

Emisiones de olores calculadas por medio de Olfatometría Dinámica

Cuadro 1: Resultados de emisiones de olores monitoreo de Olfatometría Dinámica PTAS

La Farfana 2009

Área	Nombre	Unidad	Punto muestreado	Tipo de superficie	Equipo de muestreo	Superficie Total (m ²)	CO [ou _E /m ³]	EEO [ou _E /m ² s]
100	Tratamiento preliminar	100	Entrada y rejas gruesas 1	SLNA	Túnel de viento	150	120	10.733
			Entrada y rejas gruesas 2	SLNA	Túnel de viento	150	57	5.098
		103	Tornillo 3	SLNA	Túnel de viento	150	40	3.578
600	Clarificadores primarios	601	Entrada	SLNA	Túnel de viento	21152	445	39.802
			Salida	SLNA	Túnel de viento	21152	43	3.846
		606	Entrada	SLNA	Túnel de viento	21152	38	3.399
		607	Salida	SLNA	Túnel de viento	21152	33	2.952
800	Tanque biológicos	801	Cuerpo 1	SLA	Campana - Chimenea	32080	4360	74.907
			Cuerpo 3	SLA	Campana - Chimenea	32080	2303	28.262
		804	Cuerpo 2	SLA	Campana - Chimenea	32080	1083	21.265
			Cuerpo 4	SLA	Campana - Chimenea	32080	133	1.632
1000	Clarificadores secundarios	1010	Centro	SLNA	Túnel de viento	31424	42	3.757
			Mitad de radio	SLNA	Túnel de viento	31424	13	1.163
		1011	Centro	SLNA	Túnel de viento	31424	38	3.399
			Mitad de radio	SLNA	Túnel de viento	31424	16	1.431
1500	Flotadores de lodo	1501	Cuerpo medio	SLNA	Túnel de viento	1884	194	17.352
			Borde	SLNA	Túnel de viento	1884	96	8.587
		1502	Mitad de radio	SLNA	Túnel de viento	1884	115	10.286
			Borde	SLNA	Túnel de viento	1884	45	4.025
1600	Espesadores de lodo	1601	Centro	SLNA	Túnel de viento	1192	58	5.188
			Mitad de radio	SLNA	Túnel de viento	1192	30	2.683
		1603	Centro	SLNA	Túnel de viento	1192	218	19.499
			Mitad de radio	SLNA	Túnel de viento	1192	95	8.497

