

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Modelación de dispersión de olores y odorantes mediante el modelo de penacho  
gaussiano. Estudio de caso en la planta de tratamiento de El Roble de Puntarenas,  
Costa Rica”**

Luz Elena Sáenz Sánchez

CARTAGO, mayo, 2015





**“Modelación de dispersión de olores y odorantes mediante el modelo de penacho gaussiano. Estudio de caso en la planta de tratamiento de El Roble de Puntarenas, Costa Rica”**

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

**Miembros del tribunal**



**Jorge Calvo Gutiérrez**  
M.Sc. Ingeniería Ambiental  
Director (Tecnológico de Costa Rica)



**Fabio Carrera Chapela**  
M.Sc. Ingeniería Ambiental  
Director (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso)



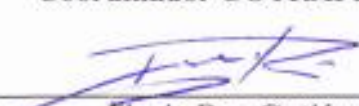
**David Hernández Parra**  
Ing. Ingeniería Ambiental  
Lector (Tecnológico de Costa Rica)



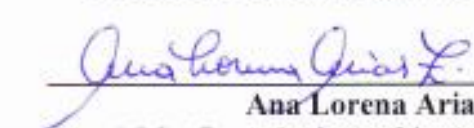
**Andrés Lazo Páez**  
M.Sc. Ingeniería Ambiental  
Lector (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados)



**Luis Guillermo Romero Esquivel**  
Dr. Ingeniería Ambiental  
Coordinador COTRAFIG



**Floria Roa Gutiérrez**  
Dra. Química Orgánica  
Directora Escuela de Química



**Ana Lorena Arias**  
M.Sc. Ingeniería Ambiental  
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

## **DEDICATORIA**

Dedico primeramente mi trabajo a Dios, por darme la fortaleza y ser mi guía en los momentos que más lo he necesitado.

De igual manera a mis padres: Elieth Sánchez y Juan Sáenz que han sido pilares fundamentales a lo largo de mi vida y me han apoyado, y enseñado el verdadero sentido de lo que es una familia.

A mis hermanos Mariela Sáenz y Ricardo Sáenz, por ser más que mi ejemplo a seguir y enseñarme que no hay obstáculo que no se pueda vencer.

A Elida Sánchez por estar siempre pendiente de mí y apoyarme, así como a Luis Arce por ser como otro hermano para mí, por siempre estar a mi lado y aconsejarme.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Fabio Carrera por su apoyo en la formulación del proyecto, colaboración en la pasantía y revisión del documento final.

Al profesor Jorge Calvo por su ayuda brindada en todos los años de formación de académica.

A Andrés Lazo y Karla Ordoñez por brindarme su ayuda para la obtención de la información.

A los profesores del proyecto Mitigación de Olores Diana Zambrano y David Hernández por sus sugerencias; así como a las asistentes Evelsy Rodríguez y Sofía Cubero por toda la colaboración brindada.

A los compañeros de la Carrera de Ingeniería Ambiental por su apoyo en la aplicación de la encuesta.

A los profesores Erick Romero y Greivin Ramírez por su colaboración en el análisis de la información.

A Don Mario Mosquera y todos los operarios de la planta de tratamiento por su buena disposición.

Al grupo de investigación Ambiental de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso por toda la cooperación brindada.

A Lucia Madriz en la traducción del resumen.

A mis amigas y amigos por todo el apoyo e impulsarme a ser mejor profesional cada día y por enseñarme que la vida es más fácil con una sonrisa.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen</b>	<b>15</b>
<b>Abstract</b>	<b>17</b>
<b>1 introducción</b>	<b>19</b>
1.1 <i>Objetivos</i>	21
1.1.1 Objetivo general	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
<b>2 Revisión de literatura</b>	<b>23</b>
2.1 <i>Olores y Odorantes</i>	23
2.1.1 Emisiones de olores y odorantes en las PTARs	25
2.1.2 Compuestos odorantes en PTARs	27
2.1.2.1 Sulfuro de Hidrógeno	28
2.1.2.2 Compuestos orgánicos sulfurados	28
2.1.2.3 Compuestos nitrogenados	28
2.1.2.4 Compuestos orgánicos volátiles	29
2.1.2.5 Propiedades de los odorantes	29
2.1.3 Implicaciones en la salud por la exposición a compuestos odorantes y olores.	32
2.1.4 Factores de emisión de olor	32
2.2 <i>Legislación Nacional e Internacional</i>	33
2.2.1 Legislación Nacional	33
2.2.2 Legislación Internacional	34
2.3 <i>Técnicas de cuantificación de compuestos odorantes y olores</i>	36
2.3.1 Muestreo de olores y odorantes.	36
2.4 <i>Dispersión de olores</i>	38
2.4.1 Estabilidad atmosférica	38
2.5 <i>Modelos de dispersión Atmosférica</i>	41
<b>3 Materiales y métodos</b>	<b>45</b>
3.1 <i>Lugar de estudio</i>	45
3.2 <i>Caracterizar las fuentes de emisión de olores y odorantes responsables de la problemática en la PTAR de El Roble de Puntarenas.</i>	46

3.2.1	Descripción del sistema de tratamiento	46
3.2.2	Determinación de compuestos odorantes y olores	47
3.2.3	Estimación de emisiones	48
3.3	<i>Percepción comunitaria del impacto de los olores.</i>	49
3.3.1	Selección del área de aplicación de la encuesta.	49
3.3.2	Aplicación de la encuesta	50
3.3.3	Análisis de resultados	50
3.3.4	Determinación de estabilidades atmosféricas	51
3.4	<i>Simulación de la dispersión de olores mediante el Modelo de Penacho Gaussiano</i>	51
3.4.1	Estudio meteorológico	51
3.4.2	Simulación de la dispersión de olores	52
<b>4</b>	<b>Resultados y discusión</b>	<b>55</b>
4.1	<i>Caracterizar las fuentes de emisión de olores y odorantes responsables de la problemática en la PTAR de El Roble de Puntarenas.</i>	55
4.1.1	Determinación de compuestos odorantes y olores	55
4.1.1.1	Odorantes	55
4.1.1.1.1	Tamiz	55
4.1.1.1.2	Sedimentador	56
4.1.1.1.3	Tanque de lodos	57
4.1.1.1.4	Umbrales de detección	58
4.1.1.1.5	Comparación de los resultados obtenidos con estudios previos	59
4.1.1.2	Olores	61
4.1.2	Emisiones teóricas	62
4.1	<i>Percepción comunitaria del impacto de los olores.</i>	64
4.1.1	Encuesta a usuarios de la planta de tratamiento	64
4.2	<i>Simulación de la dispersión de olores mediante el Modelo de Penacho Gaussiano</i>	71
4.2.1	Estudio meteorológico	71
4.2.2	Simulación de dispersión de olores y odorantes.	76
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>Referencias</b>	<b>87</b>

<b>Apéndices</b>	<b>93</b>
<b>Apéndice 1: Tiempo de retención en las unidades</b>	<b>95</b>
<b>Apéndice 2: Percepción de unidades</b>	<b>96</b>
<b>Apéndice 3: Descripción del sistema de tratamiento</b>	<b>97</b>
<b>Apéndice 4: Puntos de muestreo</b>	<b>101</b>
<b>Apéndice 5: Encuesta de percepción de olores</b>	<b>102</b>
<b>Apéndice 6: Cuantificación de casas a encuestar por sector</b>	<b>103</b>
<b>Apéndice 7: Desviación estándar de la distribución de la concentración horizontal y vertical para las diferentes estabildades</b>	<b>105</b>
<b>Apéndice 10: Análisis de componentes principales</b>	<b>106</b>
<b>Apéndice 11: Prueba de contraste de hipótesis entre proporciones</b>	<b>107</b>
<b>Apéndice 12: Prueba de hipótesis para velocidad y dirección del viento.</b>	<b>108</b>
<b>Apéndice 13: Valores de concentración al variar el flujo de succión</b>	<b>110</b>
<b>Anexos</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 1: Valores promedios para el periodo del año 2004 al 2013 de datos meteorológicos</b>	<b>117</b>
<b>Anexo 2: Factores de emisión de concentración de olores para una PTAR.</b>	<b>118</b>
<b>Anexo 3: Encuesta aplicada previamente por el AYA</b>	<b>119</b>
<b>Anexo 4: Porcentaje de cobertura de nubes</b>	<b>120</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso global de problemática odorífera, desde la formación del olor hasta la aparición de la queja, y factores que lo influyen. Adaptado de Torres S., Úbeda S., Calvet S., & López J (2008). .....	24
Figura 2.2 Porcentaje de emisión de olor en una PTAR de lodos activados. Adaptado de Carrera-Chapela et al (2014). .....	26
Figura 2.3 Solubilidad del ácido sulfhídrico y del amoníaco dependiendo del pH tomado de Arriagada Monreal (2008). .....	31
Figura 2.4 Balance general de un contaminante en la atmósfera tomado de Souto (2011)..	41
Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio.....	45
Figura 3.2 Esquema de la PTAR de El Roble de Puntarenas. ....	47
Figura 3.3 Área de aplicación de la encuesta. ....	49
Figura 3.4 Protocolo seguido para la modelación mediante el modelo de penacho gaussiano. ....	54
Figura 4.1 Emisión de olor mediante OERT para el día 24 de febrero del 2015. ....	63
Figura 4.2 Emisión de olor mediante OERT para el día 10 de diciembre del 2015. ....	63
Figura 4.3 Porcentaje de personas, según el rango de edad .....	64
Figura 4.4 Percepción del olor en los diversos sectores .....	65
Figura 4.5 Dirección y velocidad del viento para el 9 de Junio, 2014. ....	65
Figura 4.6 Percepción del nivel de intensidad del olor.....	66
Figura 4.7 Percepción del tipo de olor.....	67
Figura 4.8 Franjas horarias donde se percibe el olor con mayor intensidad. ....	69
Figura 4.9 Percepción de los olores según la época .....	70
Figura 4.10 Velocidad y dirección del viento de los datos recogidos para el periodo 2013-2014 en la provincia de.....	71
Figura 4.11 Velocidad y Dirección del viento para la época seca 2013-2014 .....	73
Figura 4.12 Velocidad y Dirección del viento para la época lluviosa 2013-2014.....	73
Figura 4.13 Temperaturas para el 2013-2014.....	74
Figura 4.14 Porcentaje de Humedad para el 2013-2014. ....	75



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Composición de los odorantes en las PTARs adaptado de Stuetz & Frechen (2001). .....	30
Cuadro 2.2 Afinidad de las sustancias químicas con los diferentes compartimientos ambientales en función de las características físico-químicas de los contaminantes, adaptado de (Sancha, 2004).....	31
Cuadro 2.3 . Sulfuro de hidrógeno: relaciones dosis-respuesta. Tomado de World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe (2000).....	32
Cuadro2.4. Amoniaco: relaciones dosis-respuesta .Tomado de Dirección General de Salud Pública (2007). .....	32
Cuadro 2.5 Límites de olor en diferentes países. Tomado de Lebrero et al (2011). .....	34
Cuadro 2.6 Límites en inmisión del sulfuro de hidrógeno en diversos países adaptado de Madriz (2011). .....	34
Cuadro 2.7 Valores máximos permisibles para la concentración de sustancias causantes de olores molestos en el límite de la propiedad tomado de Lastarria (2013).....	35
Cuadro 2.8 Análisis de técnicas de cuantificación de compuestos odorantes y olores .....	36
Cuadro 2.9 Características de condiciones de estabilidad atmosférica adaptada de Herrera (2014) .....	39
Cuadro 2.10 Modelos utilizados para la modelación de olores .....	42
Cuadro 3.1 Método utilizado para la determinación de las concentraciones de odorantes y olores. ....	48
Cuadro 3.2 Clases de estabildades de Pasquill. Tomado de Arzate Echeverría (2004). .....	51
Cuadro 3.3 Parámetros empíricos para la estimación de la dispersión gaussiana adaptado de Souto (2011). .....	53
Cuadro 4.1 Condiciones operacionales y ambientales en los días de muestreo. ....	55
Cuadro 4.2. Compuestos odorantes en el Tamiz .....	56
Cuadro 4.3 Compuestos odorantes en la salida del sedimentador.....	57
Cuadro 4.4 Compuestos odorantes en el tanque de lodos .....	57
Cuadro 4.5 Umbrales de detección para los diversos odorantes .....	58
Cuadro 4.6 Concentración de odorantes reportados en la literatura para la matriz aire.....	60
Cuadro 4.7 Concentración de odorantes reportados en la literatura para la matriz agua .....	61

Cuadro 4.8 Concentración de olor en las diferentes unidades OU/m <sup>3</sup> .....	62
Cuadro 4.9 Estabilidades atmosféricas en la zona de estudio para el 9 de junio del 2014...	69
Cuadro 4.10 Distribución de frecuencias de velocidades del viento en diversos periodos, de la zona de estudio. ....	72
Cuadro 4.11 Estabilidades atmosféricas en el día para diferentes periodos del 2013-2014. ....	75
Cuadro 4.12 Estabilidades atmosféricas en la noche para diferentes periodos del 2013-2014. ....	76
Cuadro 4.13 Comparación de caudal de olor en OU/s según diferentes metodologías para la toma de la muestra.....	76
Cuadro 4.14 Caudal de odorantes en µg/s .....	77
Cuadro 4.15 Resumen de la concentración máxima de olor y odorantes, así como las distancia obtenidas por el modelo de penacho gaussiano para las diferentes clases de estabilidad para el día 24-2-2015.....	77
Cuadro 4.16 Resumen de la concentración máxima de olor y odorantes, así como las distancia obtenidas por el modelo de penacho gaussiano para las diferentes clases de estabilidad para el día 10-12-2014.....	78

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACP	Análisis Multivariante de Componentes Principales
AYA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
COVs	Compuestos Orgánicos Volátiles
DBO	Demanda Bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Ente Certificador Nacional
GC-MS	Cromatografía de gases con espectrometría de masas
H <sub>2</sub> S	Sulfuro de Hidrógeno
IA	Ingeniería Ambiental
IFAS	Sistema integrado de film fijo de lodos activados
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
MO	Materia Orgánica
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
OEFs	Factores de emisión de olor
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
TRH	Tiempo de retención hidráulico
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
WHO	Organización Mundial de la Salud



## RESUMEN

Se evaluó el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble de Puntarenas para la generación de olores mediante el análisis de concentración de odorantes (sulfuro de hidrógeno, amoníaco, mercaptanos y compuestos orgánicos volátiles) en la fase aire y agua; y los olores con olfatometría y con factores de emisión. Los puntos analizados fueron el tamiz, el sedimentador primario y el tanque de lodos en dos campañas de muestreo. Se evaluó la percepción de la comunidad mediante la aplicación de una encuesta y se realizó la modelación de los olores y odorantes con el modelo de penacho gaussiano utilizando los datos meteorológicos de la estación del muelle de Puntarenas. Las unidades no cuentan con sistemas de control de olores y una de las causas de generación de olores es que la planta trabaja con caudales mayores de hasta un 30% en comparación al valor de diseño, así como condiciones deficientes en las instalaciones del pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento de lodos. En el tamiz y en el tanque de lodos se detectó en mayor concentración en el aire de sulfuro de hidrógeno (valores superiores a  $11520 \pm 100 \text{ mg/m}^3$ ) y en el sedimentador se obtuvo que los compuestos orgánicos volátiles son los odorantes principales (valores superiores a  $35.8 \pm 0.2 \text{ mg/m}^3$ ). En la matriz agua para los tres puntos analizados se obtiene que el amoníaco (valores superiores a  $44.100 \pm 0.200 \text{ mg/l}$ ) y los compuestos orgánicos volátiles (mayores a  $29.000 \pm 1.000$ ) son los predominantes. El tanque de lodos es donde se presenta mayor concentración de olor con olfatometría ( $35355 \text{ OU/m}^3$ ) y mediante el uso de factores de emisión se determinaron concentraciones superiores a los  $30000 \text{ OU/m}^3$ . El 76% de los encuestados indica que siente los olores emitidos por la planta obteniendo un radio de influencia de 600 m, el 57% indican que los olores son fuertes, el 83% los percibe como fecal. Las horas a las cuales se sienten más los olores son: 6:00 a 9:00, 15:00 a 18:00 y 18:00 a las 21:00, y en la época lluviosa es donde se perciben más los olores. Debido a un bajo flujo de succión se obtiene en la modelación que no hay presencia de olores y odorantes en la periferia del sistema de tratamiento, pero según la percepción comunitaria si hay una afectación.

**Palabras clave:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Olor, Odorantes, Modelo de Penacho Gaussiano.





## ABSTRACT

The current status of the treatment plant sewage in El Roble de Puntarenas was determined in terms of odor generation by chemical analysis of the composition of odorant compounds (hydrogen sulfide, ammonia, mercaptans and volatile organic compounds), gas chromatography coupled to mass spectrophotometry in air and water phase; and odors with dynamic olfactometry and emission factors. The emission sources analyzed were the sieve, the primary sedimentation tank sludge and two sampling campaigns. The perception of the community was assessed by a survey and the results were compared with those obtained by air dispersion model of Gaussian plume using meteorological data from the Puntarenas dockside station. The causes of odor generation is that the plant operates with higher flow rates of up to 30% compared to the design value of 85 l / s as well as poor conditions on site pre-treatment, primary treatment and sludge treatment. At the sieve and tank sludge it was detected in higher concentrations in the air hydrogen sulfide (greater than  $11\,520 \pm 100$  mg / m<sup>3</sup> values) and in the settler was obtained that volatile organic compounds are the primary odorants (higher values  $35.8 \pm 0.2$  mg / m<sup>3</sup>). For the three points analyzed at the water matrix is was obtained that ammonia (over  $44,100 \pm 0.200$  mg / liter) and volatile organic compounds (over  $29,000 \pm 1,000$  mg / l) are predominant. The sludge tank is where there is greater odor concentration ( $35,355$  OU / m<sup>3</sup>), and concentrations above  $30,000$  OU/m<sup>3</sup> with the values obtained using emission factors. The 76% of respondents indicated that they feel the odors emitted by the WWTP gaining influence within 600 m, the 57% indicated that odors are strong, the 83% perceived them as fecal. The hours in which they feel more odors are: 6:00 to 9:00, 15:00 to 18:00 and 18:00 to 21:00, and in the rainy season is when the odors are perceived the most. The results of atmospheric dispersion show that there is no odor perception in the periphery of the treatment system, but according to the population surveyed there is an impact indeed on the surrounding areas of the treatment plant. It was determined, with this analysis, that the emission sampling was not adequate.

**Key words:** Wastewater Treatment Plant, odor, odorants, Gaussian plume model.



## 1 INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas directa o indirectamente generan olores que ocasionan molestia y daños a la salud de las poblaciones vecinas. Por tanto, recientemente han sido considerados como contaminantes atmosféricos (Capelli, Sironi, Del Rosso, & Guillot, 2013).

Actividades como el tratamiento de residuos sólidos mediante rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) han contribuido a la emisión de gases odorantes por los procesos que se llevan a cabo en sus unidades (Barrera Curihuentro, 2010), como por ejemplo la fermentación y degradación de la materia orgánica (MO) (Barrera Curihuentro, 2010) y por la naturaleza propia de las aguas residuales.

Las principales fuentes de olor en las PTARs se sitúan en los procesos de tratamiento primario como sedimentadores y en las unidades de tratamiento de lodos como espesadores, unidades de almacenamiento y deshidratación (Capelli, Sironi, Del Rosso, & Céntola, 2009). Algunas causas de generación de olores en las PTARs son el mal diseño (tiempos de retención altos sumados a condiciones anaerobias) y la operación inadecuada (capacidades de tratamientos mayores o menores y parámetros diferentes a los de su diseño como pH, temperatura y oxígeno disuelto) (Morgan Sagastume, Revah Moiseev, & Noyola Robles, 2000).

Los principales compuestos olorosos emitidos desde las PTAR son el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ), los mercaptanos, el amoniac( $NH_3$ ) y los compuestos orgánicos volátiles COVs (Latos, Karageorgos, Kalogerakis, & Lazaridis, 2010); los cuales están presentes en las aguas residuales por la utilización de productos de limpieza de los hogares, solventes y derivados del petróleo; así como por compuestos asociados con los desechos humanos y por transformaciones biológicas durante su recolección (Lehtinen & Veijanen, 2010).

Las olores pueden afectar la calidad de la vida humana produciendo estrés psicológico y síntomas como: insomnio, pérdida de apetito y comportamiento irracional (Ziya Öztürk et al., 2009). También náuseas, dolor de cabeza, disminución del consumo de agua, desequilibrios respiratorios, vómitos y perturbaciones mentales (Stellacci, Liberti, Notarnicola, & Haas, 2010). Asimismo pueden provocar pérdidas económicas dado que los precios de las viviendas ubicadas cerca de la PTAR pueden ser hasta un 15% más baratas con respecto a casas más alejadas (Lebrero, Bouchy, Stuetz, & Muñoz, 2011).

Según Capelli et al (2011) hay diferentes métodos que pueden ser utilizados con el fin de caracterizar olores y compuestos odorantes. Los principales son las mediciones sensoriales (olores) y las mediciones químicas (odorantes). Las mediciones sensoriales emplean el olfato humano como detector mientras las mediciones químicas detectan los componentes de las mezclas de gases a través de métodos analíticos (Dincer & Muezzinoglu, 2007), por ejemplo la cromatografía de gases con espectrometría de masas (GC-MS) (Capelli et al., 2011). Este proceso es válido para identificar y caracterizar la fuente de emisión. También, se puede utilizar los factores de emisión determinados en 211 PTAR por (Capelli, Sironi, Del Rosso, & Céntola, 2009) con el fin de predecir la concentración de olores (Capelli et al., 2009).

No obstante, se debe estudiar la dispersión de las emisiones procedentes de las fuentes con el fin de conocer la distribución de la pluma de los olores y los odorantes para determinar el posible impacto generado en la población. También, se puede analizar la dispersión de los olores para conocer el comportamiento de la pluma antes de la construcción de una PTAR o si se realiza una modificación de la misma.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés), ha avalado la utilización de ciertos modelos de dispersión para conocer el impacto que se genera por la emisión de olores y odorantes en la periferia de las PTAR, tales como Calpuff, Aermol, y el Penacho Gaussiano (USEPA, 2014). Este último es muy utilizado ya que requiere de poca información meteorológica y se puede trabajar para fuentes de emisión puntuales, lineales y áreas (Barrera Curihuentro, 2010).

Actualmente, Costa Rica carece de legislación que controle la emisión e inmisión de olores y odorantes. Sin embargo otros países si han definido legislación en dicho tema. Por ejemplo, Holanda ha establecido normativas para controlar las concentraciones de olores<sup>1</sup> definiendo un límite máximo en inmisión de 1 OU/m<sup>3</sup> para zonas residenciales (Lebrero et al., 2011). Mientras que para la concentración de odorantes, como por ejemplo el H<sub>2</sub>S el límite máximo permisible en inmisión es de 10 mg/ m<sup>3</sup>.

Según Fallas (2012), en Costa Rica existían 51 PTAR domésticas en el año 2012, en caso que éstas no cumplan con un diseño y control operacional adecuado son susceptibles a generar olores, como es el caso de la PTAR de El Roble de Puntarenas, que en el año 2014

---

<sup>1</sup> Cuya medida es la unidad de olor por metro cubico (OU/m<sup>3</sup>),

recibió cinco denuncias<sup>2</sup> ante el Ministerio de Salud, asociadas con la generación de olores en el manejo de lodos y por un aumento del caudal de tratamiento (Ugalde Castillo Gilbert, comunicación personal, febrero 27, 2015).

Debido a lo anterior, la presente investigación tiene como finalidad conocer las condiciones actuales de la PTAR de El Roble de Puntarenas en cuanto a generación de olores y odorantes en tres puntos: tamiz, sedimentador y tanque de lodos. Dichos puntos se seleccionaron en un estudio recopilado por (Carrera-Chapela, Donoso-Bravo, Souto, & Ruiz-Filippi, 2014), tanto en la matriz aire como en agua. Lo anterior con el fin de conocer los compuestos responsables y las posibles causas de su generación.

Además, mediante una encuesta, se espera determinar la percepción de la inmisión de olores en la comunidad aledaña a la PTAR, identificar posibles odorantes, épocas del año y horas del día en donde se perciben más los olores. Adicionalmente, identificar el área impactada por la inmisión de compuestos odorantes y olores.

Finalmente, mediante la aplicación del modelo de Penacho Gaussiano se espera determinar las distancias a las cuales se presentan las mayores concentraciones de olores y odorantes para las diferentes estabildades atmosféricas y se compararán con los resultados obtenidos en el análisis de percepción comunal.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Implementar un modelo de dispersión atmosférica estacionario de tipo Penacho Gaussiano con el fin de identificar las distancias a las cuales se presentan las mayores concentraciones de olores y odorantes generados en la PTAR y compararlo con la percepción comunal de El Roble de Puntarenas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las fuentes de emisión de olores y odorantes responsables de la problemática en la PTAR de El Roble de Puntarenas.

---

<sup>2</sup> El estado de las denuncias se desconoce.

- Analizar la percepción comunitaria sobre los olores y odorantes generados por la PTAR de El Roble de Puntarenas, mediante la aplicación de una encuesta.
- Simular la dispersión atmosférica de los olores y odorantes mediante el Modelo de Penacho Gaussiano, con el fin de conocer las distancias a las cuales se presentan las mayores concentraciones para las diferentes estabilidades atmosféricas.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 OLORES Y ODORANTES

Los olores son el efecto percibido cuando los odorantes se han detectado e interpretado por el ser humano a través del sistema olfativo sensorial, y los odorantes son las sustancias responsables de generar un olor (Carrera-Chapela et al., 2014). La respuesta humana a un olor depende de:

- La concentración de olor, es el número de unidades de olor por metro cúbico en condiciones normales ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $P=1\text{ atm}$ ), se calcula a partir del número de veces que hay que diluir un gas con aire neutro para que pueda ser detectado por el 50% de los panelistas (Barrera Curihuentro, 2010). El umbral de olor es la concentración mínima que se puede detectar por el 50% de panelistas (Chapela, 2013).
- La intensidad, se obtiene comparando la muestra del gas con una de n-butanol o sec-butanol como referencia y se establece una escala de intensidad (Chapela, 2013), la cual varía desde no perceptible (0) hasta extremadamente fuerte (6) (Barrera Curihuentro, 2010).
- La calidad, permite describir y diferenciar cualitativamente los olores (Barrera Curihuentro, 2010), por ejemplo el olor a un perfume y el de una alcantarilla.
- El tono hedónico, es la propiedad de gusto o disgusto del olor (Barrera Curihuentro, 2010).

La contaminación odorífica se considera un tema complejo ya que se debe de analizar varios factores como lo es el proceso de formación de los odorantes; la transferencia de la matriz agua-aire; condiciones ambientales, así como la topografía del lugar para que se lleve a cabo la dispersión. También debe considerarse la percepción de la comunidad, ya que depende de la exposición y la respuesta de cada individuo para que los olores sean percibidos como molestos y sea necesario presentar una denuncia. En la figura 2.1 se muestra el proceso global de dicha problemática.

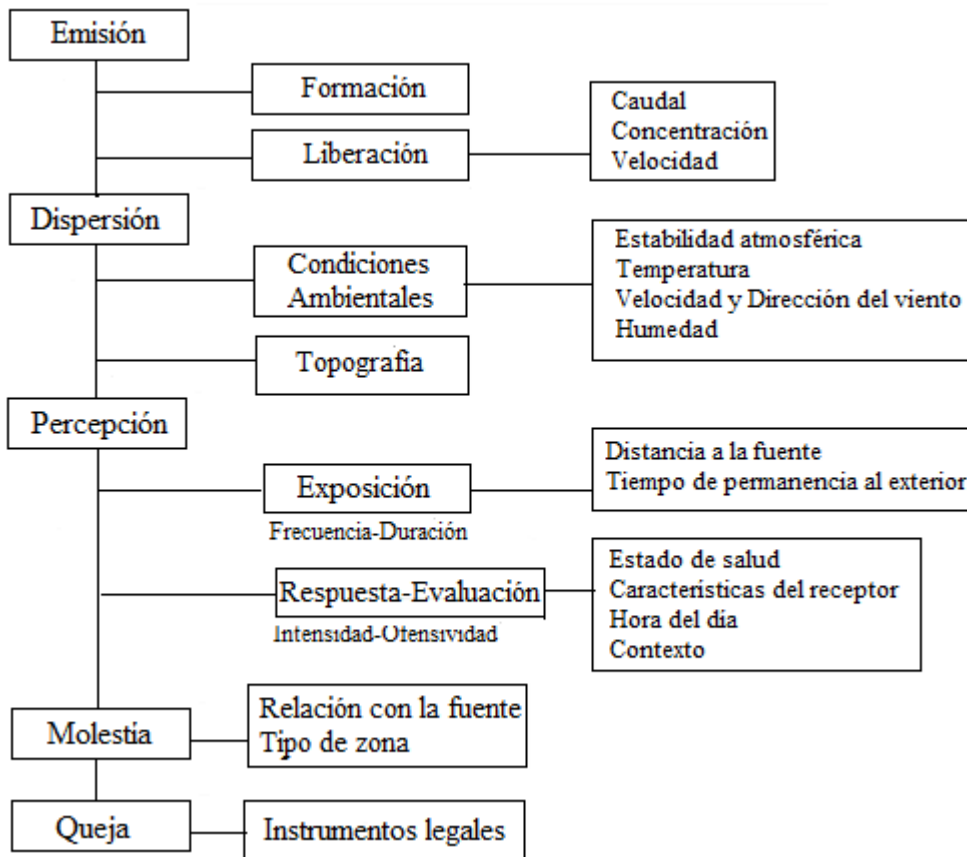


Figura 2.1 Proceso global de problemática odorífera, desde la formación del olor hasta la aparición de la queja, y factores que lo influyen. Adaptado de Torres S., Úbeda S., Calvet S., & López J (2008).

Según Valencia, Espinosa, Parra, & Peña (2011), la percepción y la tolerancia de un olor dependen de las experiencias personales y asociaciones emocionales de cada individuo, pueden variar de una persona a otra en función de la edad, el sexo y el estado de salud.

Los mismos autores indican que en una población se pueden dar los fenómenos de sensibilización y desensibilización, esto si se encuentra expuesta a un mismo olor durante un período de tiempo prolongado. El primero se produce cuando el olor es percibido y se evidencia con un aumento en el número de quejas de la población, mientras que la desensibilización ocurre cuando los habitantes dejan de percibir el olor.

Estos fenómenos ocurren tanto para olores agradables como desagradables (Valencia et al., 2011), por ejemplo un perfume que es un olor agradable con el paso del tiempo se deja de percibir (Definición abc, 2015).



### 2.1.1 Emisiones de olores y odorantes en las PTARs

La emisión de olor en una PTAR se clasifica como una fuente difusa al contar con una área de emisión en contacto directo con el ambiente (Vergara & Zorich, 2013).

Los compuestos odorantes se pueden encontrar en los influentes de las aguas residuales o generarse en el transporte y en las unidades de los sistemas de tratamiento (Lehtinen & Veijanen, 2010). Según la recopilación realizada por Carrera-Chapela et al (2014) las unidades pueden clasificar en:

- Fuentes que promueven la transferencia de sustancias odoríficas ya formadas: unidades de aireación, desarenadores y sistemas de tratamiento de lodos activados.
- Fuentes que favorecen la formación de sustancias odoríficas: sedimentación primaria y secundaria, así como, tanques de espesamiento de lodos.

Entre las causas de generación de olores y odorantes se encuentran las condiciones operacionales, el incremento en las capacidades de tratamiento, así como procesos deficientes de almacenamiento, como falta de tanques de ecualización y tanques de tratamiento de lodos, esto depende del proceso y las condiciones operacionales (Chapela, 2013).

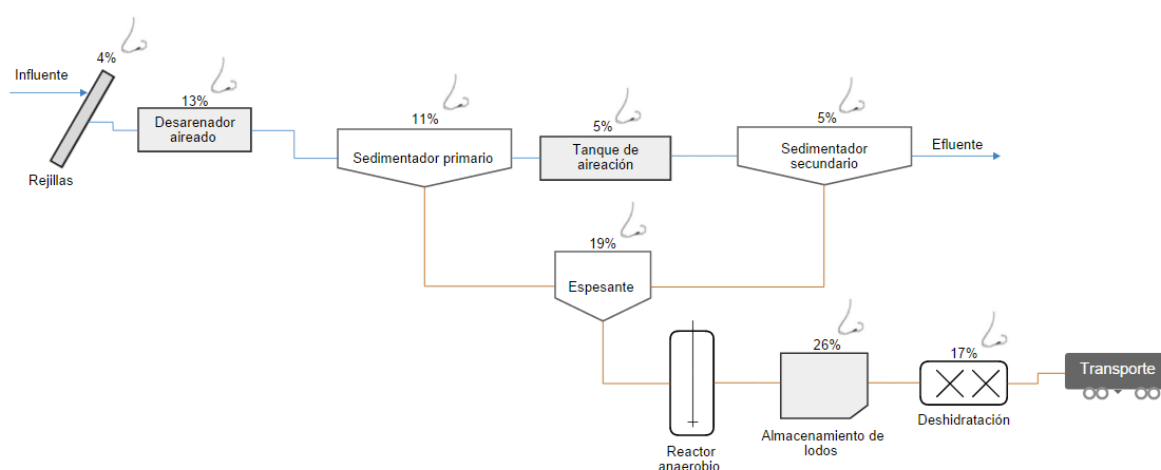
Las condiciones operacionales como pH, temperatura y el tiempo de retención hidráulico (TRH) tienen un gran efecto sobre las características de olor, por ejemplo las condiciones anaerobias o bajos niveles de oxígeno en las aguas residuales y sumado a ello largos TRH, favorecen la formación de compuestos de azufre reducidos (como mercaptanos) y ácidos carboxílicos (Lehtinen & Veijanen, 2010).

Según Arriagada Monreal (2008), cuando el pH es ácido se favorece la formación del  $H_2S$  mientras un pH alcalino beneficia al  $NH_3$ , debido al equilibrio químico y su disociación (Carrera-Chapela et al., 2014), así mismo por la presencia de los microorganismos que se desarrollan en dichas condiciones (Arriagada Monreal, 2008)

En un estudio recopilado por Carrera-Chapela et al (2014), las principales fuentes de olor en las PTARs se ocasionan en las unidades de tratamiento primario como sedimentadores y en las unidades de tratamiento de lodos como espesadores, unidades de almacenamiento y deshidratación, esto si el agua contiene condiciones sépticas, y/o durante el tratamiento de lodos donde las condiciones anaeróbicas generan nuevos odorantes por los bioprocesos que

se llevan acabo. De igual manera en condiciones de flujo calmo se favorece la emisión de olores como en los sedimentadores primarios y si la purga de lodos no es suficiente para eliminar la actividad anaeróbica, podría favorecer la formación de nuevos odorantes.

En la figura 2.2 se muestra el porcentaje de olor emitido para cada unidad de tratamiento con respecto a los resultado de una encuesta aplicada a 100 PTARs en Alemania y Francia (Stuetz & Frechen, 2001). Nótese que el mayor porcentaje de olor (26%) ocurre en el almacenamiento de lodos, seguido por las unidades de espesamiento de lodos con un 19%, y la unidad de deshidratación con un 17%.



**Figura 2.2** Porcentaje de emisión de olor en una PTAR de lodos activados. Adaptado de Carrera-Chapela et al (2014).

La transferencia de los olores y odorantes de la matriz agua a la matriz aire se puede ver afectada por propiedades como la solubilidad, el peso molecular y la volatilidad; también por las concentraciones en la fase agua-aire y los puntos de turbulencia de las PTARs (Arriagada Monreal, 2008).

El gradiente de concentración líquido-gas es importante en la transferencia entre las matrices, ya que en las unidades abiertas la presión parcial del gas en la atmosfera es prácticamente cero, y esta aumenta con forme se da la liberación; en cambio en las unidades confinadas se puede alcanzar el equilibrio líquido-gas (Chapela, 2013).

La solubilidad es un factor que afecta la liberación de los compuestos ya que es la capacidad del odorante de disolverse en el agua, a mayor solubilidad mayor concentración en la matriz agua y la transferencia de olores y odorantes será menor. La solubilidad es afectada por la

temperatura, donde a mayor temperatura menor solubilidad y por lo tanto mayor tasa de transferencia a la matriz aire (Arriagada Monreal, 2008).

El peso molecular y la volatilidad de los compuestos son factores a considerar en la transferencia entre las fases (agua-aire), y ambos se relacionan con la presión de vapor. Según lo anterior, a menor peso molecular y mayor presión de vapor, mayor potencial para ser emitido a la atmósfera debido a su mayor volatilidad (Arriagada Monreal, 2008).

La transferencia de los odorantes entre las fases se puede llevar a cabo mediante métodos de difusión y de convección, el primero ocurre cuando las concentraciones en el agua son mayores que en el aire en unidades con confinamiento, y en consecuencia los compuestos intentarán alcanzar el equilibrio entre la matrices (Lehtinen & Veijanen, 2010), y por métodos de convección cuando se produce el barrido de los compuestos desde la superficie del agua hasta el aire (Lehtinen & Veijanen, 2010).

En puntos de turbulencia se da la liberación de gases entre las fases, por ejemplo en los puntos de entrada y salida del agua residual, también en la recirculación de los licores especialmente del espesamiento y deshidratación de lodos (Lebrero et al., 2011), estos por lo general están conformados por una mezcla de compuestos sulfurados como  $H_2S$ , mercaptanos y  $NH_3$  (Arriagada Monreal, 2008).

### **2.1.2 Compuestos odorantes en PTARs**

El  $H_2S$  y el  $NH_3$  son considerados los principales odorantes causantes de los olores en una PTAR (Muñoz et al., 2010). Varios autores indican la presencia de diversos odorantes en las aguas residuales domiciliarias, por ejemplo Burgess, Parsons, & Stuetz (2001), reportan la presencia de compuestos alifáticos, aromáticos e hidrocarburos clorados, mientras que Lebrero et al (2011), mencionan que han encontrado aldehídos, escatol e indol; y en concentraciones más bajas los COVs como tolueno, limoneno, butanona y benceno . Los mercaptanos tales como metilmercaptanos, metil tiol, dimetilsulfuro y dimetildisulfuro han sido reportados por Dincer & Muezzinoglu (2007).

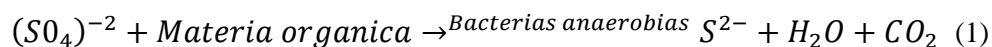
A continuación se detalla el origen en las aguas residuales de algunos odorantes como el  $H_2S$ , compuestos orgánicos sulfurados, compuestos nitrogenados y COVs, así como propiedades físico-químicas de los odorantes y su composición en el agua y aire.

### 2.1.2.1 *Sulfuro de Hidrógeno*

Es un compuesto incoloro que se puede encontrar en los gases naturales tales como gases volcánicos y aguas termales, también se genera como un subproducto de muchas actividades industriales como en las refinerías de petróleo, la fabricación de papel y en las PTARs (Omri, Aouidi, Bouallagui, Godon, & Hamdi, 2013).

Una de las vías de formación es la que se presenta a continuación (Gostelow, Parsons, & Stuetz, 2001):

- Reducción del sulfato por acción de bacterias sulfatorreductoras: se describen con las ecuaciones de Cheremisinoff (1988):



- Desulfuración de compuestos orgánicos que contienen azufre en estado reducido.

### 2.1.2.2 *Compuestos orgánicos sulfurados*

Dentro de este grupo se encuentran los mercaptanos (R-SH) los cuales son principalmente producidos por la degradación biológica de algunos aminoácidos (cisteína y metionina) contenidos en las proteínas (Stuetz & Frechen, 2001). En el espesamiento, almacenamiento y deshidratado de lodos por lo general los mercaptanos son los odorantes que generan el olor dominante (Arriagada Monreal, 2008).

### 2.1.2.3 *Compuestos nitrogenados*

Dentro de este grupo se encuentra el  $NH_3$ , las aminas, el indol y escatol (Lebrero, Bouchy, Stuetz, & Muñoz, 2011). La orina, las proteínas, los aminoácidos son considerados los precursores de la emisión de compuestos nitrogenados en las aguas residuales (Gostelow, Parsons, & Stuetz, 2001).

#### ***2.1.2.4 Compuestos orgánicos volátiles***

La formación de COVs depende del tipo de sustrato y los microorganismos presentes, y por lo tanto las vías de fermentación y los productos producidos pueden variar considerablemente (Stuetz & Frechen, 2001). Por ejemplo la fermentación de azúcares puede producir varios COVs como isopropanol, butanol y 2 3-butanodiol (Stuetz & Frechen, 2001) y en la degradación de lípidos se puede producir ácidos grasos volátiles (Rodríguez, 2015).

Los tanques de aireación son una de las principales fuentes de emisiones de COVs, ya que generalmente son unidades expuestas al aire sin confinar, son de gran tamaño y son puntos de gran turbulencia (Lehtinen & Veijanen, 2010).

#### ***2.1.2.5 Propiedades de los odorantes***

Como se menciona en la sección 2.1.1, hay diversas propiedades que afectan la transferencia de compuestos entre las fases, por ejemplo la solubilidad, el peso molecular y la volatilidad. Es por esto que en el cuadro 2.1 se presentan los valores de dichas propiedades para los diferentes odorantes, así como el olor al que se asemejan, el umbral de detección, y la composición en el aire y agua.

Los mercaptanos son los que presenta menor umbral de detección y su olor se asemeja a repollo podrido y ajo; el H<sub>2</sub>S a huevo podrido; el NH<sub>3</sub> es un olor irritante y los COVs a bolas de naftalina, gomas y solventes, entre otros.

El NH<sub>3</sub> es el odorante que presenta menor peso molecular, por lo tanto el que presenta mayor potencial para ser emitido a la atmósfera

Para el caso del H<sub>2</sub>S, es el que presenta menor solubilidad en el agua, por lo tanto menor composición en dicha matriz y el que presenta mayor constante de Henry y mayor composición en la fase aire esto al compararlo con el amoniac, mercaptanos y compuestos orgánicos volátiles.

**Cuadro 2.1 Composición de los odorantes en las PTARs adaptado de Stuetz & Frechen (2001).**

Clasificación	Compuesto	Fórmula química	Olor que se asemeja	Peso Molecular g/mol	Umbral de detección ppm	Composición en el aire <sup>3</sup> en ppm	Composición en el agua <sup>4</sup> ppm	Solubilidad en agua g/ml	Constante de Henry <sup>5</sup> a 25°C atmm <sup>3</sup> /gmol
Sulfuros	Metilmercaptano	CH <sub>3</sub> SH	Repollo podrido Ajo	48	0.0016	10-50	11-322	0.023 <sup>6</sup>	_____
	Sulfuro de hidrogeno	H <sub>2</sub> S	Huevo podrido	34	0.34	200-10.000	15-38	0.005 <sup>4</sup>	0.023
Nitrogenados	Amoniac	NH <sub>3</sub>	Irritante	17	5	10-50	35-60	0.899 <sup>7</sup>	0.000328
Compuestos orgánicos volátiles	Tolueno	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	Goma Bolas de naftalina	92.14	5	1088 <sup>8</sup> µg/m <sup>3</sup>	0.4 mg/l <sup>9</sup>	470	0.00668
	Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Dulce, solvente	78.11	60-100			1.78 <sup>4</sup>	0.0055

<sup>3</sup> Aire seco y condiciones anaerobias de una PTAR

<sup>4</sup> Influyente de una PTAR

<sup>5</sup> (USEPA, 1997)

<sup>6</sup> A 20°C

<sup>7</sup> A 0°C

<sup>8</sup> General COVs (Lehtinen & Veijanen, 2010)

<sup>9</sup> General COVs(Funtes Vivanco, 2014)

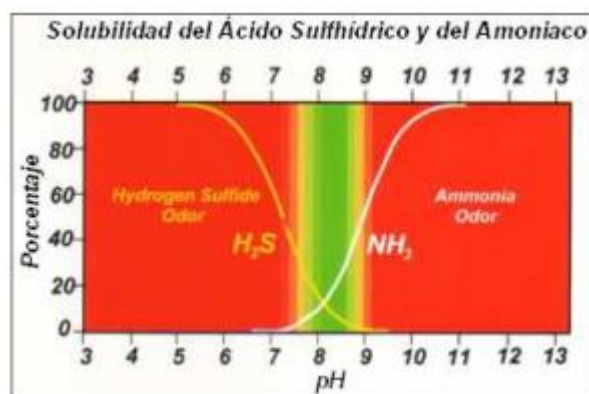
Es importante determinar la afinidad de los odorantes en las diversas fases (agua-aire), por lo tanto se utiliza la solubilidad para determinar a la afinidad a la matriz agua y la constante de Henry para la afinidad con a la matriz aire. La constante de Henry representa el cociente entre la concentración en la fase líquida en equilibrio y la presión parcial del gas en equilibrio, y cuantifica la tendencia de un compuesto a liberarse (Stuetz & Frechen, 2001).

Nótese que los criterios de afinidad se encuentran en el cuadro 2.2 y al comparar los datos para los odorantes del cuadro 2.1, se puede concluir que el H<sub>2</sub>S tiene una afinidad media-baja al agua y con el aire una afinidad alta (2000 Pa m<sup>3</sup>/mol), por lo que se espera mayores valores en la matriz aire en comparación con la matriz agua para dicho odorante.

**Cuadro 2.2 Afinidad de las sustancias químicas con los diferentes compartimientos ambientales en función de las características físico-químicas de los contaminantes, adaptado de (Sancha, 2004).**

Afinidad	Solubilidad (mg/l)	Constante de Henry (Pa m <sup>3</sup> /mol)
Alta	>1000	>10
Alta-media	10-1000	10-10 <sup>-1</sup>
Media	1-10	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-2</sup>
Media-Baja	0.01-1	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-4</sup>
Baja	<0.01	<10 <sup>-4</sup>

La afinidad de un compuesto puede variar según el pH, como se observa en la figura 2.3 a un pH neutro predomina el H<sub>2</sub>S y a un pH básico predomina el NH<sub>3</sub>. Por ejemplo a un pH igual a 7 el 60 % del olor se debe al H<sub>2</sub>S.



**Figura 2.3 Solubilidad del ácido sulfhídrico y del amoniaco dependiendo del pH tomado de Arriagada Monreal (2008).**

### 2.1.3 Implicaciones en la salud por la exposición a compuestos odorantes y olores.

Los olores provenientes de las PTARs, provocan molestias en las poblaciones cercanas (Madriz Medeiros, 2011) y debido a esto son consideradas como la principal causa de rechazo de la instalación de PTARs (Metcalf & Eddy, 1996).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) se determinan las implicaciones a la salud de acuerdo a la concentración del H<sub>2</sub>S (Cuadro 2.3). Nótese que a dosis superiores a 320 ppm se presenta riesgo de muerte.

**Cuadro 2.3 . Sulfuro de hidrógeno: relaciones dosis-respuesta. Tomado de World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe (2000)**

Concentración del H <sub>2</sub> S		Efecto
mg/m <sup>3</sup>	ppm	
1400-2800	1000-2000	Colapso inmediato de la respiración con la parálisis.
750-1400	530-1000	Fuerte estimulación del SNC, hiperpnea seguido de un paro respiratorio
450-750	320-530	Edema pulmonar con riesgo de muerte
210-350	150-250	Pérdida del sentido olfativo
70-140	50-100	Lesiones oculares graves
15-30	10-20	Irritación de los ojos

Para el caso del NH<sub>3</sub> también se determinaron las implicaciones a la salud de acuerdo con la concentración en ppm (Cuadro 2.4), como se observa en concentraciones de 10000 ppm puede ocurrir la muerte en minutos.

**Cuadro2.4. Amoniaco: relaciones dosis-respuesta .Tomado de Dirección General de Salud Pública (2007).**

Concentración ppm	Amoniaco
≤ 150	Irritación leve
	Irritación marcada
500	Tos
	Incremento de la presión de la sangre
≤1000	Lesión en el ojo.
10000	Muerte en minutos

### 2.1.4 Factores de emisión de olor

Un factor de emisión es un valor representativo que trata de relacionar la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada con la liberación de éste (EPA, 2015). Se expresan como la masa del contaminante dividido por un volumen, distancia o duración de la actividad (USEPA, 2014).



Según Capelli et al (2009), los factores de emisión (OEFs por sus siglas en inglés) permiten estimar las emisiones antes de la construcción de una PTAR o si se requiere realizar una modificación de la misma. Los mismos autores indican que se pueden utilizar para evaluar la viabilidad de implementación de una tecnología para el tratamiento de las emisiones odoríficas, por ejemplo la instalación de un biofiltro para el control de olores.

El uso de factores de emisión tiene ciertas limitaciones, ya que son utilizados para predecir y no brindan un carácter descriptivo debido a que no se contemplan aspectos operacionales (Capelli et al., 2009) .

## 2.2 LEGISLACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL

### 2.2.1 Legislación Nacional

Costa Rica carece de una normativa específica que regule y controle la emisión<sup>10</sup> e inmisión<sup>11</sup> de olores. Sin embargo se cuenta con leyes generales que plantean el tema como en el artículo 50 de la Constitución Política se establece que: “El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por ello, está legitimada para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado. El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y las sanciones correspondientes” (Bolaños Retana, Dall’Anesse Ruíz, & Marín Vargas, 2010).

En el artículo 62 de la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 se considera contaminación de la atmósfera a la presencia en ella de partículas sólidas, polvo, humo, vapor, gases, *malos olores*, radiaciones, ruidos, ondas acústicas imperceptibles y otros agentes de contaminación que el Poder Ejecutivo defina como tales en el reglamento y que se encuentren en concentraciones superiores a los niveles permisibles fijados (Ley Orgánica del Ambiente, 1995).

También en el Artículo 63 en donde se considera la prevención y control del deterioro de la atmósfera, en donde se determina que el Poder Ejecutivo, previa consulta con los organismos

---

<sup>10</sup> Emisión: es la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera (Calidad del aire, 2015).

<sup>11</sup> Inmisión: es la concentración de un contaminante a nivel del suelo (Calidad del aire, 2015).

representativos del sector productivo, emitirá las normas técnicas correspondientes y exigirá la instalación y operación de sistemas y equipos adecuados para prevenir, disminuir y controlar las emisiones que sobrepasen los límites permisibles (Ley Orgánica del Ambiente, 1995).

Según el Reglamento sobre inmisión de contaminantes atmosféricos, para el caso de H<sub>2</sub>S 20 ug/m<sup>3</sup> y para el caso de NH<sub>3</sub> 500 ug/m<sup>3</sup>.

### 2.2.2 Legislación Internacional

En estudio realizado por Lebrero et al (2011), señalan que en algunos países europeos como Australia y Estados Unidos, sus regulaciones se basan en el establecimiento de la máxima concentración de olor, por lo general oscilan entre 1 y 10 OU/m<sup>3</sup> de acuerdo con el uso del suelo (Cuadro 2.5). También dichos autores indican que en el Reino Unido se establece que las PTARs no deben exceder el límite de 5 OU/m<sup>3</sup>.

**Cuadro 2.5 Límites de olor en diferentes países. Tomado de Lebrero et al (2011).**

País	Límite OU/m <sup>3</sup>	% hora año <sup>-1</sup>	Categoría del uso de suelo
Alemania	1	3	Residencial
	1	10	Urbano/ Área Industrial
Dinamarca	5-10	0.1	-----
Holanda	1	1	Residencial
Australia	5	5	Rural / Urbana
Nueva Zelanda	2	0.5	-----
Canadá	20	1	-----

También países como Holanda, Japón, Australia, Canadá y Estados Unidos, así como la WHO han establecido los límites en inmisión para el H<sub>2</sub>S (Cuadro 2.6). Nótese que estos van de 0.1 a 200 ppbv.

**Cuadro 2.6 Límites en inmisión del sulfuro de hidrógeno en diversos países adaptado de Madriz (2011).**

País	Sulfuro de hidrógeno
Holanda	10 mg/m <sup>3</sup>
WHO (Europa)	0.13-1.3 ppbv
Nueva Zelanda	5 ppbv
Japón	20-200 ppbv
Australia	0.1 ppbv
Canadá	10 ppbv
Estados Unidos (Connecticut)	6.3 ppbv

A nivel latinoamericano Panamá y Colombia se encuentran desarrollando normativa para el control de olores, por ejemplo en Panamá en el año 2006 se creó el anteproyecto de la Norma de Control de Olores Molestos en donde se establece que el límite de olor para las PTARs es de 6 OU/m<sup>3</sup> en emisión (Lastarria, 2013). Los valores máximos permisibles en inmisión para odorantes se encuentran en el cuadro 2.7, y en dicha norma se estable valores de emisión para el amoniaco de 15 mg/m<sup>3</sup> y de sulfuro de hidrógeno de 50 mg/m<sup>3</sup> (Lastarria, 2013).

**Cuadro 2.7 Valores máximos permisibles para la concentración de sustancias causantes de olores molestos en el límite de la propiedad tomado de Lastarria (2013).**

<b>Compuesto</b>	<b>Otra propiedad ppm</b>	<b>Propiedad Industrial ppm</b>
Amoniaco	1	5
Sulfuro de Hidrógeno	0,02	0,2
Metil mercaptano	0,002	0,01
Tolueno	10	60

En Colombia existe un borrador de una norma de olores del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del 8 de julio de 2011, en la cual establece los niveles permisibles para sustancias de olores ofensivas en un tiempo máximo de exposición de 24 horas, para el H<sub>2</sub>S es de 7 µg/m<sup>3</sup> y para el NH<sub>3</sub> de 100 µg/m<sup>3</sup>, así como el límite de inmisión para las PTARs es de 3 OU/ m<sup>3</sup> y se estable que el cumplimiento de la normativa se determinará mediante el uso de modelos de dispersión (Lastarria, 2013).

En Chile se cuenta con un borrador sobre el Reglamento de Olores y se encuentra publicada la Estrategia para la Gestión de Olores 2014-2017, la cual tiene como objetivo fortalecer el marco regulatorio a corto, mediano y largo plazo que permita cuantificar, controlar y prevenir la generación de olores (División de Calidad del Aire, Ministerio del Medio Ambiente, 2013). Brasil, México, Argentina tampoco cuentan con legislación que controle los olores pero al igual que Costa Rica desde sus leyes generales indican la problemática de la contaminación odorífica (Lastarria, 2013) .

## 2.3 TÉCNICAS DE CUANTIFICACION DE COMPUESTOS ODORANTES Y OLORES

Una detallada caracterización en términos de composición y concentración odorante es necesaria para optimizar el diseño y la gestión de sistemas de reducción de olores así como comprender los mecanismos de formación de olores y su degradación (Muñoz et al., 2010).

### 2.3.1 Muestreo de olores y odorantes.

El objetivo del muestreo es obtener información representativa de las características típicas de una fuente de olor por medio de la recolección de una fracción de volumen adecuado (Capelli, Sironi, & Del Rosso, 2013).

El tiempo de muestreo mínimo para una muestra de olor es media hora, y en cada foco lo recomendable es contar con al menos tres muestras, en tres horarios distintos (mañana, tarde y noche) y en días diferentes con el fin de obtener datos representativos (Vergara & Zorich, 2013).

Según Lebrero et al (2011), las muestras gaseosas se pueden almacenar en bolsas o recipientes hechos de Teflón "R, acero inoxidable, o de vidrio. También el material de almacenamiento de la muestra debe de estar libre de olores, ser impermeable, resistente y no adsorber o reaccionar con los compuestos químicos olorosos.

Por convención, el intervalo entre el muestreo y el análisis no debe superar las 30 horas (Stuetz & Frechen, 2001), esto con el fin de reducir el riesgo de modificación de la muestra durante el almacenamiento (Capelli, Sironi, & Del Rosso, 2013).

En las últimas décadas, varias técnicas se han estudiado y desarrollado para la caracterización de olores ambientales. El método más antiguo y consolidado de identificación y cuantificación de odorantes implica el uso de técnicas analíticas como es la GC-MS (Capelli, Sironi, & Del Rosso, 2013). Se puede observar en el cuadro 2.8 la descripción, las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos.

Independientemente de la técnica de medición adoptado, la calidad de los resultados obtenidos depende en gran medida de un muestreo adecuado (Capelli, Sironi, & Del Rosso, 2013).

**Cuadro 2.8 Análisis de técnicas de cuantificación de compuestos odorantes y olores**

Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas
---------	-------------	----------	-------------

Narices electrónicas	Son dispositivos que imitan las narices humanas, contienen un conjunto de óxidos metálicos específicos o materiales poliméricos para identificar varios compuestos que generan un patrón de respuesta el cual se traduce en una señal eléctrica.(Haddad, Medhanie, Roth, Harel, & Sobel, 2010)	-Análisis in-situ (Haddad et al., 2010) -Identifica como un todo la mezcla de componentes que forman el olor(Haddad et al., 2010)	-Limitación de los sensores a la variación de las condiciones ambientales (altas temperaturas y humedad) y de la estabilidad en el tiempo(Capelli, Sironi, & Del Rosso, 2013)
----------------------	--	--	---

Continuación del cuadro 2.8

Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas
Cromatografía de gases	Determina la naturaleza y la concentración de compuestos presentes en una muestras (Hudon, Guy, & Hermia, 2000)	-Herramienta analítica más precisa y potente para la cuantificación e identificación de compuestos(Muñoz et al., 2010).	-No son afectados por la variabilidad del olfato humano.(Arshak, Moore, Lyons, Harris, & Clifford, 2004) -Técnica no portátil y cara.(Arshak et al., 2004) -Operador calificado para la aplicación de la técnica. (Muñoz et al., 2010)
Olfatometría Dinámica	Técnica sensorial que permite determinar la concentración de olor de una muestra de aire mediante la sensación causada en un panel de personas, se expresa en unidades de olor por metro cúbico (OU/m <sup>3</sup> )y representa el número de diluciones con aire neutral que son necesarios para llevar la muestra olorosa a su concentración umbral de detección de olor (Sironi, Capelli, Céntola, Del Rosso, & Pierucci, 2010)	-Correlación directa entre el olor y la sensibilidad del detector por ejemplo la nariz humana(NarjouxAdeline, 2007) -Niveles de detección bajos.(Brandt, 2011) -Bajo costo	-Afectado por la variabilidad del olfato humano.(Capelli, Sironi, & Del Rosso, 2013) -Brindan información sobre intensidad y no sobre calidad. (Capelli, Sironi, & Del Rosso, 2013) - Requieren de panelistas media sensibilidad (híper e hipo narices sensibles), son difíciles de seleccionar por la variabilidad del olfato, la edad, tipo de olor percibido y por la fatiga olfativa.(Muñoz et al., 2010)

## 2.4 DISPERSIÓN DE OLORES

La dispersión describe el transporte de un contaminante sobre la atmósfera, teniendo en cuenta procesos que influyen en su transporte como la advección, difusión y reacción (Chapela, 2013).

La dispersión se ve afectada por factores meteorológicos por ejemplo la estación; la hora del día; las condiciones atmosféricas, la velocidad y dirección del viento, humedad relativa, capa de mezcla, la radiación solar y la temperatura; además por la presencia obstáculos físicos como edificios altos y grandes árboles (Stellacci, Liberti, Notarnicola, & Haas, 2010).

Según Stuetz & French. (2001), la dirección del viento presenta gran influencia en el impacto generado, ya que determina la dirección del transporte del olor y permite comprender si las fuentes emisoras se encuentran en el sotavento de los receptores; y la velocidad del viento es importante ya que diluye y dispersa los contaminantes (Gestión de la calidad del Aire, 2015).

Según Souto (2011), cuanto menor sea la altura de emisión mayor puede ser el impacto de dicha emisión sobre el entorno local, por ejemplo en el caso de las PTARs al encontrarse al nivel del suelo, la máxima concentración será cerca de la propia planta.

La topografía de la zona es un factor que afecta la dispersión de los olores (Barclay, Diaz, & Cartelle, 2014), por ejemplo ciudades rodeadas de una topografía compleja como valles o cadenas montañosas tienden a presentar altas concentraciones de contaminantes en comparación de zonas planas (Gestión de la calidad del Aire, 2015) debido a efectos de confinamiento y las inversiones térmicas típicas de sistemas valle-montaña, las cuales limitan la dispersión de contaminantes en altura (Gestión de la calidad del Aire, 2015).

### 2.4.1 Estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica hace referencia a cómo es el perfil vertical de la temperatura en la atmósfera (Chapela, 2013). Se puede caracterizar utilizando las clases de estabilidad de Pasquill-Gifford (cuadro 2.9), las cuáles se dividen en seis categorías (de A-F) para describir la capacidad de dispersión de la atmosfera (Stuetz & Frechen, 2001). Las variables que influyen en el cálculo son la velocidad del viento, la radiación solar y la cobertura de nubes (Arzate Echeverría, 2004).

Según Barclay et al (2014), las peores condiciones para la dispersión de los olores ocurren durante la noche debido al aumento de la estabilidad atmosférica asociada con vientos calmos, baja turbulencia y la presencia de inversiones térmicas<sup>12</sup> que restringe la dispersión vertical ya que se limita el mezclado, y es por esto que los olores se perciben más en la noche.

**Cuadro 2.9 Características de condiciones de estabilidad atmosférica adaptada de Herrera (2014)**

<b>Clase de estabilidad</b>	<b>Condición</b>	<b>Cuando se producen</b>	<b>Como es el movimiento vertical de una porción de aire</b>	<b>Generalidades</b>
<b>A</b>	Extremadamente inestable	Día	Asciende y desciende	Asciende (en la mañana cuando se da la ruptura de la capa estable esto es debido al calentamiento solar) y desciende (en la tarde cuando disminuye el flujo de calor solar) (Souto, 2011) Los olores se transportan a cortas distancias (Barclay et al., 2014)
<b>B</b>	Moderadamente inestable			
<b>C</b>	Ligeramente inestable			
<b>D</b>	Neutra	Día /Noche	No se propicia ni se inhibe	Presencia de viento y cuando hay nubes que impiden el calentamiento o enfriamiento de la superficie
<b>E</b>	Estable	Noche	Se encuentra inhibido	Viento escaso o nulo.
<b>F</b>	Muy estable	Noche		Los olores se transportan a largas distancias (Barclay et al., 2014)

<sup>12</sup> Inversión térmica :fenómeno producido cuando la temperatura aumenta con la altitud (Herrera Murillo, 2014)





## 2.5 MODELOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA

Según Souto (2011), el objetivo de la modelación de la contaminación atmosférica es garantizar la calidad del aire; así como permite establecer normativas para controlar las emisiones por ejemplo regular los límites de concentraciones permisibles. También evalúa las estrategias de control de emisiones; se utiliza para seleccionar la localización de futuros focos emisores, con el fin minimizar su impacto sobre el ambiente y permite identificar los responsables de los niveles de contaminación.

Los modelos de dispersión son una herramienta eficaz para estimar la dispersión de olores, usando datos de emisión disponibles y para estimar las emisiones máximas de olores que pueden ser permitidas en un sitio a fin de evitar quejas debido a olores (Latos, Karageorgos, Kalogerakis, & Lazaridis, 2010).

El planteamiento general de los modelos de dispersión consiste en aplicar un modelo matemático a cada fenómeno que experimentan los contaminantes en la atmósfera, y sumar las contribuciones de todos los modelos de proceso en una ecuación de balance o conservación para cada propiedad considerada (Souto, 2011). En la figura 2.5 se presenta el balance general de un contaminante en la atmósfera.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j c_i) = D_i \frac{\partial^2 c_i}{\partial x_j \partial x_j} + R_i(c_1, \dots, c_N, T) + S(\vec{x}, t) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, N$$

**Figura 2.4 Balance general de un contaminante en la atmósfera tomado de Souto (2011).**

En donde el:

- Primer término representa la variación del contaminante  $i$  con el tiempo.
- Segundo termino la entrada neta del contaminante asociado con el flujo atmosférico (advección y turbulencia).
- Tercer término representa la variación de la concentración del contaminante debido a la difusión molecular.
- Cuarto término representa la velocidad de desaparición del contaminante por reacción química.

- Quinto representa la aparición del contaminante en el entorno considerado, proveniente de focos emisores en el entorno.

Los modelos de dispersión atmosférica se han utilizado para evaluar los impactos de la contaminación odorífica. En el cuadro 2.10 se presenta una descripción de cada uno de los modelos, así como las ventajas y desventajas para cada uno.

El modelo de dispersión seleccionado para el desarrollo del presente trabajo correspondió al modelo de penacho gaussiano, el cual ha sido aplicado para la modelización de múltiples fuentes y receptores de olor (Barrera Curihuentro, 2010).

**Cuadro 2.10 Modelos utilizados para la modelación de olores**

Modelos	Descripción	Ventajas	Desventajas	Estudios previos
Penacho Gaussiano	Se basan en la clasificación de estabildades de Pasquill para la caracterización lateral y vertical, así como se utilizan coeficientes de dispersión empíricos (Capelli, Sironi, Del Rosso, et al., 2013). Asumen emisiones continuas de gases, condiciones estacionarias, no existen reacciones, el viento es uniforme en todo el dominio (Barrera Curihuentro, 2010)	Simples de usar(Barrera Curihuentro, 2010) Requieren poca información meteorológica (Barrera Curihuentro, 2010) Utilización de distintos tipos de fuentes: puntuales, lineales y áreas.(Barrera Curihuentro, 2010)	Sólo simulan trayectorias rectilíneas. (Barrera Curihuentro, 2010) Problemas con velocidades muy bajas vientos calmos y terrenos complejos (Barrera Curihuentro, 2010)	Se ha utilizado para la modelación práctica de múltiples fuentes y receptores de olores (Barrera Curihuentro, 2010)
Calpuff	Avalado por la USEPA (USEPA, 2014) Modelo Langrangiano de calidad del aire para flujo atmosférico no estacionario, adecuado para las estimaciones de una o varias fuentes industriales. (Sironi et al., 2010) Simula los efectos de las condiciones meteorológicas que varían en el transporte de la contaminación, transformación y eliminación, incluye tres componentes: modelo meteorológico CALMET, modelo principal para determinar las concentraciones en al menos una hora CALPUFF y CALPOST post-procesador (Vieira de Melo, Santos, Mavroidis, & Reis Junior, 2012a).	Se puede aplicar distancias de $\geq 50$ km y en terrenos accidentados y es eficiente para simular a dispersión de olores y compuestos odorantes (Busini et al., 2012) Utiliza datos meteorológicos tridimensionales y calcula la dispersión con vientos calmos (Capelli, Sironi, Del Rosso, et al., 2013) Los coeficientes de dispersión se obtienen a partir de los parámetros de turbulencia y no de clases de estabilidad (Sironi et al., 2010) Es recomendado usarlo en lugares en donde existan brisas marianas, líneas costeras, lagos, entre otros (Barclay et al., 2014)	Tiempo de ejecución en horas, utiliza muchos datos de entrada que no necesariamente son utilizados en la dispersión de olores, requiere de más tiempo para aprender a utilizar el modelo(Guarriello, 2009)	Capelli et al (2011) en un estudio realizado en una zona industrial en Terni, determinaron que en los primero 200 m se encontraron entre 3 ou/m <sup>3</sup> a 10 OU/m <sup>3</sup> desde la fuente de emisión. Sironi et al (2010) reportan de 3 OU/m <sup>3</sup> a 6 OU/m <sup>3</sup> en los primeros 200 m desde la fuente, este estudio fue en el norte de Italia

Continuación del cuadro 2.10

<b>Modelos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Estudios previos</b>
Aermod	Avalado por la USEPA para estimar los impactos en la calidad del aire varias fuentes (USEPA, 2014) Calcula la dispersión de un contaminante en estado estacionario, asume una distribución gaussiana tanto en la vertical como en la horizontal para la estimación de las concentraciones (Vieira de Melo, Santos, Mavroidis, & Reis Junior, 2012b)	Eficacia del modelo para simulación de la dispersión de olores (Busini et al., 2012). Tiempo de ejecución en minutos, pocos datos de entrada (Guarriello, 2009). Recomendado para la mayoría de estudios de emisiones de actividades industriales	Se aplica para pequeñas distancias 50km (Barclay et al., 2014). Sobrestima las concentraciones en condiciones estables (Capelli, Sironi, Del Rosso, et al., 2013) Problemas con vientos calmos. (Capelli, Sironi, Del Rosso, et al., 2013)	En 400 m de distancia de la PTAR se puede detectar el H <sub>2</sub> S con un 50% de probabilidad en un periodo de 5s Latos et al(2010) en los primeros 400 m desde la PTAR la Farfana en Chile, valores 100 OU/m <sup>3</sup> (Barrera Curihuentro, 2010)



### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

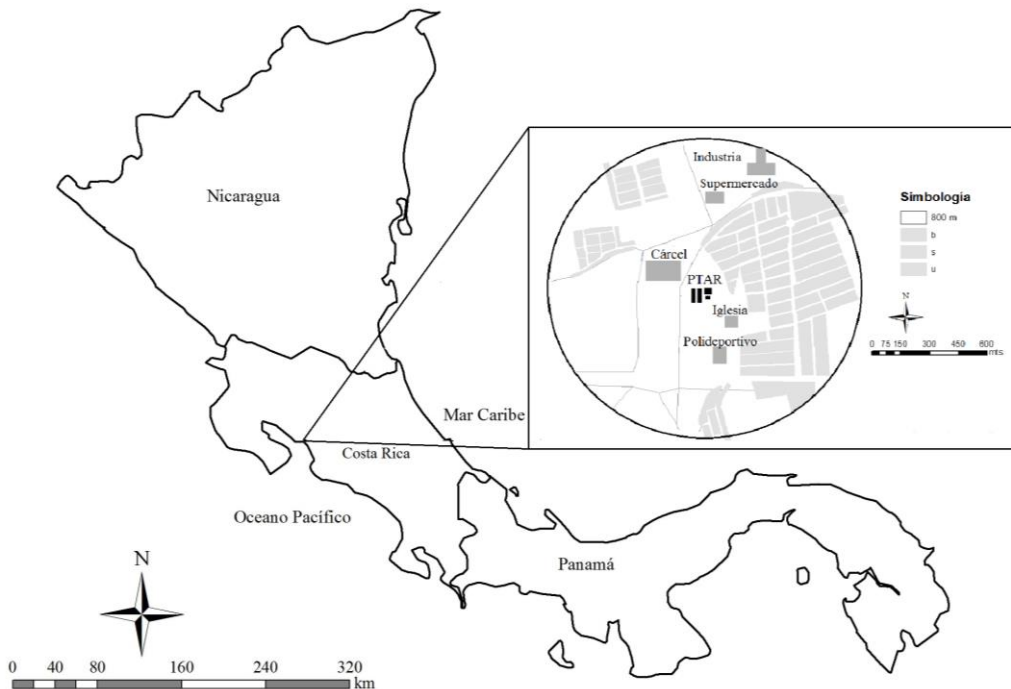
#### 3.1 LUGAR DE ESTUDIO

La PTAR se ubica en el Distrito de El Roble, Puntarenas, Costa Rica, en las coordenadas geográficas Latitud: 9°58' N y Longitud: 84°44' O (Figura 3.1).

Las principales actividades económicas en esta zona son: el turismo, industrias arroceras, harinas de pescado y mariscos, así como actividades ganaderas (Sánchez, 2002).

Costa Rica cuenta con dos épocas la seca (Diciembre-Abril) y la lluviosa (Mayo-Noviembre). En la zona las temperaturas oscilan entre 23°C a 30°C y la humedad relativa es mayor al 70% (Instituto Meteorológico Nacional, 2014).

La precipitación media anual es de 118 mm, la velocidad del viento se encuentra entre 1 a 10 m/s y la dirección de los vientos es hacia el Este (Instituto Meteorológico Nacional, 2014) (Anexo 1).



**Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio**

La PTAR fue construida en 1991 para el tratamiento de 55 l/s de aguas residuales, luego se amplió su capacidad a 85 l/s.

Es un sistema de tratamiento biológico integrado de lecho fijo de lodos activados (IFAS por sus siglas en inglés) y ocupa un área de 945 m<sup>2</sup>. Por encontrarse en una zona de terreno llano requiere la utilización de nueve estaciones de bombeo para impulsar el agua residual.

La PTAR recibe las aguas ordinarias de los distritos de El Roble, Barranca, Chacarita y Puntarenas, lo cual equivale aproximadamente a 30.000 habitantes, así como las aguas residuales sin tratar del Hospital Monseñor Sanabria, del Hotel Double Tree Resort by Hilton Pacifico Central y del Centro Penitenciario.

También brinda el servicio de impulsión de las aguas residuales de las empresas Inolasa, Sardimar, y el supermercado Maxipalí; dichas aguas han sido tratadas previamente (Lazo, 2012). Esta PTAR se encuentra aproximadamente a 150 m de las primeras casas situadas al Este.

### 3.2 CARACTERIZAR LAS FUENTES DE EMISIÓN DE OLORES Y ODORANTES RESPONSABLES DE LA PROBLEMÁTICA EN LA PTAR DE EL ROBLE DE PUNTARENAS.

#### 3.2.1 Descripción del sistema de tratamiento

La PTAR es operada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA). Está compuesta de una cámara de entrada, un tamiz hidrodinámico, dos sedimentadores primarios, dos tanques de aireación y dos sedimentadores secundarios. En el Apéndice 1, se enumeran las dimensiones y TRH de las diferentes unidades de la PTAR.

Se realizan diariamente tres purgas de lodos de los sedimentadores primarios, el tratamiento de los mismos es en una laguna facultativa y el lodo se dispone en otra laguna la cual funciona como lecho de secado. El vertido se realiza en el estero de Chacarita en la provincia de Puntarenas.

En la figura 3.2, se muestra el esquema del proceso de tratamiento y el valor según la generación de olor. La escala varía entre uno y siete, siendo el número uno indica una nula percepción del olor y siete si se percibe muy fuerte. La clasificación anterior se determinó mediante una encuesta (Apéndice 2) a los colaboradores de la PTAR, del AYA y del proyecto Mitigación de Olores.

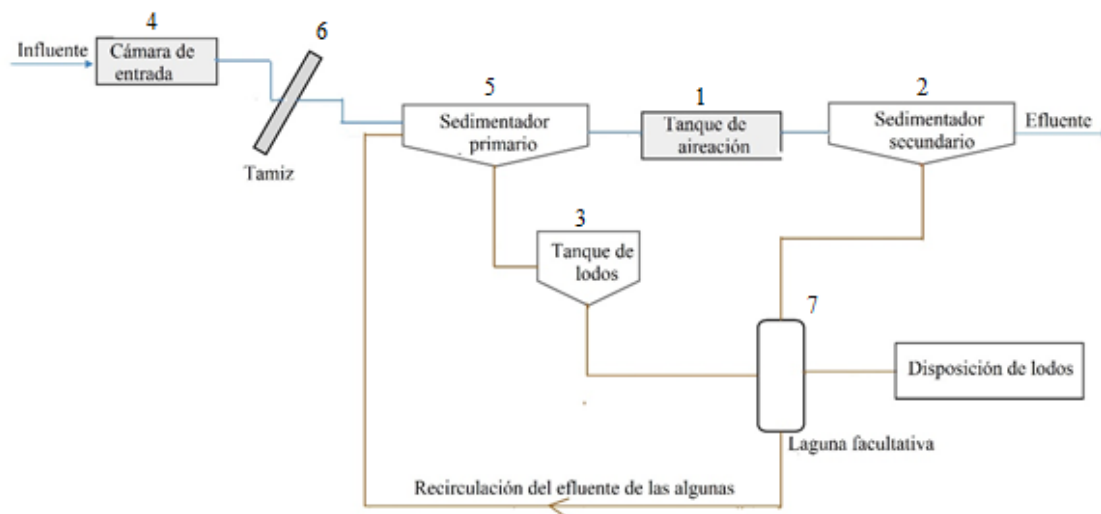


Figura 3.2 Esquema de la PTAR de El Roble de Puntarenas.

En el apéndice 3 se presentan las condiciones actuales de la PTAR en cuanto a la generación de olores, así como los valores de composición media de las aguas residuales antes y después del tratamiento, su eficiencia y condiciones operacionales como pH en el influente, temperatura del agua residual y los caudales del mes de Enero y Junio del 2013.

Se realizaron dos inspecciones visuales con el fin de determinar el estado de las unidades con respecto a la generación de olores e identificar los puntos de emisión de olores. Las visitas al área de estudio se realizaron el 29 de marzo del 2014 y el 26 de mayo 2014.

### 3.2.2 Determinación de compuestos odorantes y olores

Se realizaron dos campañas de muestreo y análisis de olores y de odorantes, ambos fueron realizados por el laboratorio químico LAMBDA S.A.

Se recolectó la muestra de olores, H<sub>2</sub>S y mercaptanos en un lapso de una hora utilizando una bomba peristáltica de aire con un flujo entre 50 a 100 ml/min, en bolsas TEDLAR<sup>®</sup> de 5 L de capacidad con un espesor de 80 μm (Método USEPA 18 para el uso de bolsas Tedlar) (Amón , 2015).

La muestra de COVs se recolectó en carbón activado; mientras que la muestra de NH<sub>3</sub> se recolectó en un burbujeador con una solución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). El transporte de las muestras fue con refrigeración hasta el laboratorio ubicado a 92 km de la PTAR.

Los métodos analíticos utilizados y recomendados según Amón , (2015) para determinar las concentraciones de compuestos odorantes y olores se presenta en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Método utilizado para la determinación de las concentraciones de odorantes y olores.**

Compuesto odorante	Matriz aire	Matriz agua	Referencia
	Método	Método	
Sulfuro de hidrógeno	Cromatografía de iones		NIOSH NMAM 6013
	Límite de detección (LD): 0.1 mg/m <sup>3</sup>	LD: 0.1 mg/l	
Amoniaco	Espectrofotométrico		NIOSH NMAM 6015
	LD: 0.05 mg/m <sup>3</sup>	LD: 0.1 mg/l	
	LD:0.01 mg/m <sup>3</sup>	LD:0.01 mg/l	
Mercaptanos	Cromatografía de gases y espectrofotometría de masas.		NIOSH NMAM 2542
	LD: 0.01 mg/m <sup>3</sup>	LD 0.01 mg/l	
Compuestos orgánicos volátiles	Cromatografía de gases y espectrofotometría de masas.		USEPA 8260C
	LD 0,01 mg/m <sup>3</sup>	LD 0,01 mg/l	
<b>Olores</b>	Olfatometría	No aplica	AWMA EE-6

Se realizó un muestreo el 10 de diciembre del 2014 (en adelante “B”) y el 24 de febrero del 2015 (en adelante “A”).

La selección de los puntos de muestreo se basó en el porcentaje de emisión de olor definido en la figura 2.2. Debido a que el costo era prohibitivo para realizarlo en toda la PTAR, se seleccionó el tamiz, la salida de los sedimentadores primarios y el tanque de lodos; en cada sitio se generaron campanas para poder capturar los gases (Apéndice 4).

### 3.2.3 Estimación de emisiones

Según Capelli et al., (2009), se puede calcular la tasa de emisión de olor total ( $OER_T$ ) de acuerdo a la capacidad de la PTAR y de las OEFs<sup>13</sup> de cada fuente de olor (Anexo 2), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$OER_T = C \times (OEF_{LL-AA} + OEF_{PR-T} + OEF_{I-Sed} + OEF_{q-f} + OEF_{II-Sed} + OEF_{Al-lodo} + OEF_{ES-lodo}) \quad (3)$$

Donde:

- C es la capacidad de la PTAR en m<sup>3</sup>/d.
- $OEF_{LL-AA}$  factor de emisión de olor para la llegada de aguas residuales en ou/m<sup>3</sup>
- $OEF_{PR-T}$  factor de emisión de olor para el pretratamiento en ou/m<sup>3</sup>
- $OEF_{I-Sed}$  factor de emisión de olor para sedimentadores primarios en ou/m<sup>3</sup>

<sup>13</sup> Son el producto de un estudio realizado a 211 PTAR



- $OE_{q-f}$  factor de emisión de olor para unidades tratamiento químico-físico en  $ou/m^3$
- $OE_{II-Sed}$  factor de emisión de olor para sedimentadores secundarios en  $ou/m^3$
- $OE_{Al-lodo}$  factor de emisión de olor para almacenamiento de lodos en  $ou/m^3$
- $OE_{ES-lodo}$  factor de emisión de olor para espesamiento de lodos en  $ou/m^3$

### 3.3 PERCEPCIÓN COMUNITARIA DEL IMPACTO DE LOS OLORES.

#### 3.3.1 Selección del área de aplicación de la encuesta.

Con el fin de determinar el área de impacto y la percepción comunal de las emisiones de la PTAR se diseñó y aplicó una encuesta mostrada en el Apéndice 5.

Se efectuaron inspecciones a radios de 100 m de distancia de la PTAR, para la identificación del alcance de la potencial pluma contaminante, mediante un análisis subjetivo.

Se definió un radio máximo de 800 m, el cual se trazó en un plano en el programa ArcGis identificando 59 sectores influenciados a los que se les asignó una codificación con letras de A hasta BT, tal como se muestra en la figura 3.3.

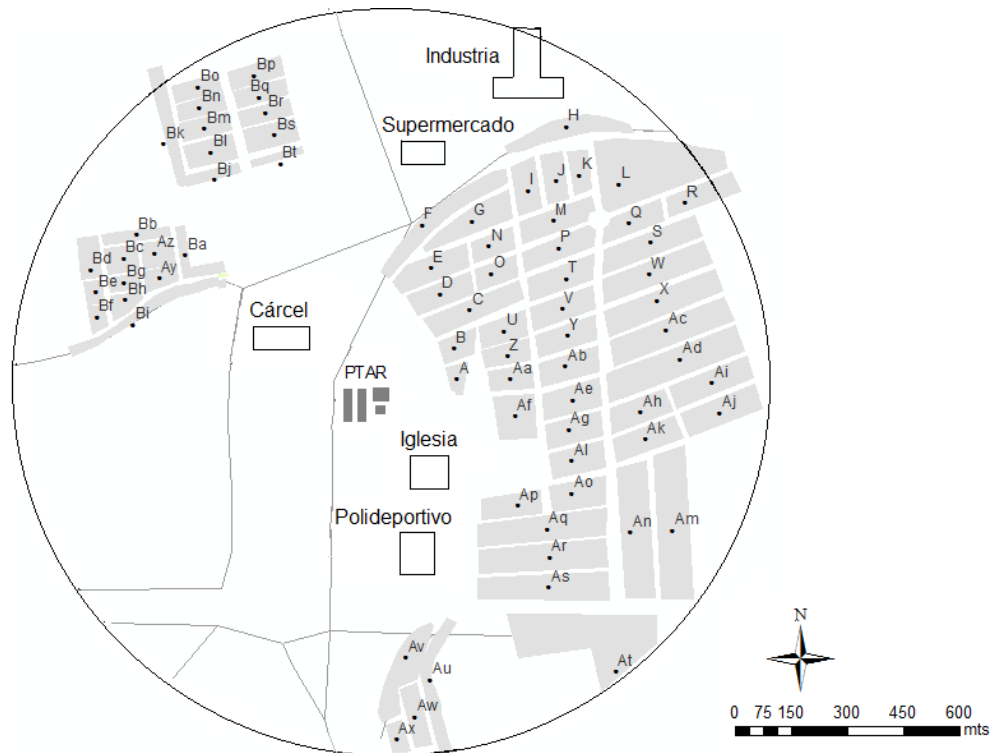


Figura 3.3 Área de aplicación de la encuesta.

### **3.3.2 Aplicación de la encuesta**

La encuesta se aplicó el día 9 de junio del 2014 con un tamaño de muestra de 256 personas considerando un nivel de confianza del 95% y un error del 5%, y se basó en una encuesta preliminar realizada en la zona por parte del AYA (Anexo 3).

Las encuestas en cada manzana se realizaron mediante muestreo sistemático. El número de casas/manzana fue ponderado a partir del número de casas totales de cada manzana (Apéndice 6).

La encuesta diseñada se validó previamente en la comunidad de El Roble para verificar la coherencia y oportunidad de mejora de las preguntas formuladas. La encuesta se realizó a personas de ambos sexos mayores de edad. Para la aplicación de la encuesta se contó con la colaboración de estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental (IA), de los docentes Diana Zambrano y Jorge Calvo, así como del Ingeniero Andrés Lazo del AYA.

### **3.3.3 Análisis de resultados**

Se analizó la información mediante estadística descriptiva. La tabulación de los datos se realizó en el programa SPSS Statistics, el análisis de los resultados en el programa Minitab y los mapas de los resultados en el programa ArcGis.

Se realizaron mapas con las variables de la encuesta: sienten los olores; intensidad del olor y tipo de olor; y para cada sector se identificó la moda.

Se generó la rosa de los vientos para el día de aplicación de la encuesta (9 de junio del 2014). De dicha gráfica se obtiene la frecuencia de ocurrencia de los vientos en diferentes direcciones, así como las clases de velocidad del viento para una localidad en un tiempo dado (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático , 2015). También se obtiene las intensidades típicas y los vientos fuertes-débiles dominantes (Chapela, 2013).

Se realizó un análisis multivariante de componentes principales (ACP) en el programa Minitab con el fin de determinar las correlaciones entre las variables encuestadas y para la correlación “sexo”-“siente los olores” se aplicó una prueba de contraste de hipótesis entre proporciones para identificar si hay diferencias significativas para un  $p < 0.05$ .

### 3.3.4 Determinación de estabilidades atmosféricas

Se caracterizó la meteorología del entorno a la PTAR mediante una matriz de estabilidades, que representa la frecuencia absoluta con la que ocurre cada clase de estabilidad de Pasquill (Cuadro 3.2), para lo cual se usó:

- Datos de velocidad del viento y radiación solar brindadas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para la estación del muelle de Puntarenas
- Datos de nubosidad del IMN para la provincia de Puntarenas. Se consideró la nubosidad como “parcialmente nublado” lo que equivale a un 5-50% de nubes (NOAA, 2015) (Anexo 4).

**Cuadro 3.2 Clases de estabilidades de Pasquill. Tomado de Arzate Echeverría (2004).**

Velocidad del viento (m/s) a 10 m de altura	Día			Noche	
	Radiación solar incidente (1)			4/8 ≤Nubosidad≤7/8	Nubosidad ≤3/8
	Fuerte > 50 cal/cm <sup>2</sup> h	Moderada 25 < x <50 cal/cm <sup>2</sup> h	Débil ≤ 25 cal/cm <sup>2</sup> h		
<2	A	A-B	B	F	F
2 a 3	A-B	B	C	E	F
3 a 5	B	B-C	C	D	E
5 a 6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

## 3.4 SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE OLORES MEDIANTE EL MODELO DE PENACHO GAUSSIANO

### 3.4.1 Estudio meteorológico

Se realizó un análisis meteorológico previo con el fin de determinar las condiciones meteorológicas típicas que se presentan en El Roble Puntarenas. Para ello se calcularon las estabilidades atmosféricas y se generaron las rosas de vientos para representar gráficamente la dirección de transporte dominante de los vientos en el área de estudio.

Este estudio se realizó para el año 2013-2014 y para la época seca y lluviosa. Los datos meteorológicos utilizados fueron brindados por el IMN y corresponden a datos horarios para la estación del muelle en Puntarenas (Latitud Norte: 9°58'20" y Longitud Oeste: 84°49'51") ubicada aproximadamente a 10 kilómetros de la PTAR.

Los parámetros utilizados fueron dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y cobertura de nubes.

Las rosas de los vientos se realizaron mediante el programa WRPLOT View versión 7.0.0 con los datos de dirección y velocidad del viento. Para determinar la diferencia estadística entre los datos de dirección y velocidad del viento se utilizó la prueba no paramétrica Mann-Whitney en el programa Minitab en la que se consideran significativamente diferentes para un  $p < 0,05$ .

### 3.4.2 Simulación de la dispersión de olores

El modelo utilizado para realizar la simulación de la dispersión de olores es el modelo de Penacho Gaussiano.

Hipótesis: Dicho modelo supone que el contaminante es arrastrado por el viento medio en una única dirección rectilínea y a una altura efectiva de emisión. Se supone que el contaminante se dispersa como consecuencia de la turbulencia, de modo que las distribuciones vertical y horizontal del contaminante en cada sección transversal del penacho sigue una función gaussiana, caracterizada por su desviación estándar (Souto, 2011).

La expresión analítica de concentración en inmisión, es decir a nivel del suelo y suponiendo que el terreno es llano es:

$$c(x, y, z) = \frac{Q_e}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \left( \exp \left[ \frac{-1}{2} \left( \frac{h}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right) \quad (4)$$

Donde:

- $c$  es la concentración de contaminante en  $x, y, z$  ( $\text{ou}/\text{m}^3$ ),
- $x$  es la coordenada horizontal (m),
- $y$  es la coordenada horizontal transversal (m),
- $z$  la coordenada vertical (m),
- $h$  es la altura efectiva de emisión (m),
- $Q_e$  el caudal másico de contaminante emitido ( $\mu\text{g}/\text{s}$ ),
- $u$  la velocidad del viento a la altura de emisión (m/s),
- $\sigma_y$  la desviación estándar de la distribución de concentración horizontal transversal, consecuencia de la turbulencia horizontal (m),

- $\sigma_z$  la desviación estándar de la distribución de concentración vertical, consecuencia de la turbulencia vertical (m).

Para la determinación de  $\sigma_z$  y  $\sigma_y$  se utilizan las siguientes expresiones empíricas:

$$\sigma_y = aX^p \quad (5)$$

$$\sigma_z = bX^q \quad (6)$$

En donde a, p, b, q son parámetros empíricos para la estimación de la dispersión gaussiana se presentan en el cuadro 3.3

**Cuadro 3.3 Parámetros empíricos para la estimación de la dispersión gaussiana adaptado de Souto (2011).**

Clase de estabilidad	a	p	b	q
A	0,4	0,91	0,41	0,91
B	0,36	0,86	0,33	0,86
C	0,36	0,86	0,3	0,86
D	0,32	0,78	0,22	0,78
E	0,31	0,74	0,16	0,74
F	0,31	0,71	0,06	0,71

En el Apéndice 7, se encuentran los valores de la desviación estándar de la distribución de concentración horizontal transversal y vertical para diferentes distancias.

El procedimiento seguido para realizar la modelación se describe en la figura 3.4. El modelo de penacho gaussiano requiere datos característicos de la fuente de emisión, la altura desde el nivel del suelo a la unidad de tratamiento (3 m), las concentraciones de emisión de los olores y odorantes; el caudal y la velocidad del viento como característica meteorológica.

Las ecuaciones del modelo fueron desarrolladas en Excel y como datos de salida se obtienen las concentraciones en inmisión y su distancia, cuando las concentraciones son superiores a los valores de umbrales de detección se pueden generar mapas de impacto con las líneas isodoras (puntos de igual concentración de olor) en ArcGis para las diferentes estabildades.

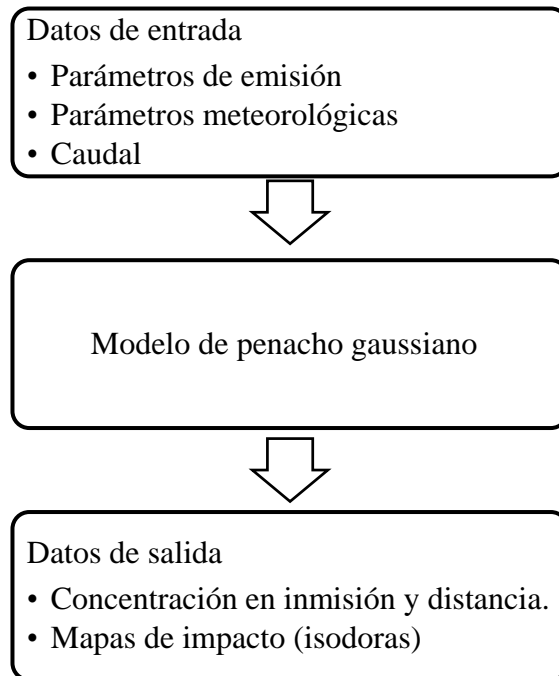


Figura 3.4 Protocolo seguido para la modelación mediante el modelo de penacho gaussiano.

Para el periodo en análisis no se contaba con información de cobertura nubosa, por lo tanto se tomó como referencia el mes de Setiembre de 2014 por su proximidad a la época lluviosa, obteniendo que los cielos son parcialmente nublados. Para la nubosidad de la época seca se utilizaron los meses de Marzo e Abril 2015 por proximidad, obteniendo que los cielos son despejados (Anexo 4).

Para la determinación del caudal de olor ( $Q_o$ ) cuyas unidades son OU/s para modelos de dispersión, se usó la siguiente ecuación:

$$Q_o = C_{od} \times Q_{Másico} \quad (7)$$

En donde:

- $C_{od}$  es la concentración de olor en OU/m<sup>3</sup> en condiciones normales, y
- $Q_{Másico}$  es el caudal másico o flujo de succión de la bomba en m<sup>3</sup>/s.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se discutirán las condiciones actuales de la PTAR en cuanto a la generación de (odorantes, olores y estimación de emisiones), los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a la comunidad de El Roble de Puntarenas y los resultados de la modelación.

### 4.1 CARACTERIZAR LAS FUENTES DE EMISIÓN DE OLORES Y ODORANTES RESPONSABLES DE LA PROBLEMÁTICA EN LA PTAR DE EL ROBLE DE PUNTARENAS.

#### 4.1.1 Determinación de compuestos odorantes y olores

La presencia de odorantes en el ambiente puede ser evaluada mediante la utilización de análisis químicos (Capelli, Sironi, Del Rosso, et al., 2013), es por esto que se midieron diferentes compuestos para la matriz aire y para la matriz agua; así como la utilización de métodos sensoriales para la determinación de olores. Las condiciones para ambos días de muestreo se presentan en el cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1 Condiciones operacionales y ambientales en los días de muestreo.**

Parámetros	A	B
Hora de muestreo	1:30 pm a 3:30 pm	9:00 am a 11:00 am
Caudal l/s	89±45	103±48
Temperatura del agua °C	30.59 ± 0.47	28.92±0.12
Oxígeno Disuelto mg/l	3.09 ±0.47	3.77±0.78
Temperatura del aire °C	29.0 ±1.6	26.9±1.6
Velocidad del viento m/s	3.3±1.7	2.7±1.4
Dirección del viento	Este	Este

##### 4.1.1.1 Odorantes

A continuación se presenta los resultados de los análisis de cada odorante en las diferentes partes del sistema de la PTAR.

###### 4.1.1.1.1 Tamiz

El cuadro 4.2 muestra los resultados en el tamiz. Nótese que en la matriz aire hay mayor concentración de H<sub>2</sub>S, ya que según Zhang (2012) en los procesos de pre tratamiento se

favorece la liberación de dicho odorante de la fase líquida a la gaseosa debido a la turbulencia y agitación de estas unidades, como por ejemplo las caídas en los tamices (Arriagada Monreal, 2008).

Al comparar los resultados obtenidos para la matriz aire se observa que todos los valores de B son mayores a los valores de A, entre las posibles razones se encuentran que las condiciones del muestreo no fueron las mismas. Por ejemplo se observa en el cuadro 4.1 que en el día B se trabajó con mayor caudal y a diferentes horas. Asimismo no se utilizaron las mismas campanas en los dos días para dicho sitio.

La solubilidad del H<sub>2</sub>S según la literatura es de  $5 \times 10^{-3}$  g/ml y según el cuadro 2.2, esto representa una afinidad media-baja del compuesto al agua. Mientras al comparar la constante de Henry (2000 Pa m<sup>3</sup>/mol) con lo reportado en el cuadro 2.3, se concluye que presenta una alta afinidad al aire, por lo anterior se obtienen mayores valores en la fase aire porque el compuesto tiende a liberarse y por lo tanto la dirección del flujo es del agua-aire.

Se observa un incremento de los mercaptanos esto se puede deber a la degradación biológica de algunos aminoácidos contenidos en las proteínas.

**Cuadro 4.2. Compuestos odorantes en el Tamiz**

Matriz	Compuestos odorantes				
		Sulfuro de Hidrógeno	Amoniaco	Mercaptanos	Compuestos orgánicos volátiles
Aire mg/m <sup>3</sup>	A	11520±100	7.6±0.2	0.021±0.002	86±1
	B	47810±500	9.8±0.2	1320±10	145±1
Agua mg/ m <sup>3</sup>	A	4700±200	4710±200	71±2	72000±1000
	B	4200±200	5050±200	65±1	29000±1000

#### 4.1.1.1.2 Sedimentador

Según un estudio recopilado por Carrera-Chapela et al(2014) los sedimentadores permiten la separación de sólidos contenidos en las aguas residuales, los sólidos son básicamente materia inorgánica y orgánica que se acumulan en las tolvas de los sedimentadores.

Con el desarrollo de condiciones anaeróbicas/anóxicas - si el caudal de purga de lodos no es el suficiente y si el tiempo de retención no es el apropiado - se promueve la formación de compuestos odorantes y emisiones de olores por acción de microorganismos facultativos que desarrollan vías de degradación anaerobias/anóxicas dependiendo del potencial redox del



medio. En estas condiciones, la fermentación de la MO restante produce COVs, tal como se nota en el cuadro 4.3 que dicho odorante es el mayoritario en ambas matrices.

Entre los factores que favorecen la emisión de COVs en los sedimentadores son la volatilización al ser superficies con grandes áreas y estas están abiertas a la atmósfera (por ser superficies quietas), así como la desorción de compuestos gaseosos del medio líquido (Arriagada Monreal, 2008), ya que el agua durante su transporte en ductos (presión de vapor mayores a la unidad) y llegan a unidades abiertas (presión de vapor menor a la unidad) se produce la desorción de compuestos de alta presión de vapor (Chapela, 2013).

**Cuadro 4.3 Compuestos odorantes en la salida del sedimentador**

Matriz	Compuestos odorantes				
		Sulfuro de Hidrógeno	Amoniaco	Mercaptanos	Compuestos volátiles orgánicos
Aire mg/m <sup>3</sup>	A	0.0047±0.0005	34.2±0.2	0.929±0.002	319±1
	B	0.0035±0.0001	30.3±0.2	0.00016±0.0001	35,8±0.2
Agua mg/ m <sup>3</sup>	A	5300±200	44300±200	88±2	425000±1000
	B	6100±200	44100±200	106±1	186000±2000

#### 4.1.1.1.3 Tanque de lodos

En el tanque de lodos se da la liberación de compuestos absorbidos por los lodos (Lehtinen & Veijanen, 2010), la acumulación de los mismos en el fondo favorece la descomposición anaerobia y por lo tanto la producción de H<sub>2</sub>S (Madriz Medeiros, 2011), pero depende del tiempo de retención de lodos que debe de ser alto para favorecer la emisión (Chapela, 2013) lo cual se ve reflejada en el cuadro 4.4 en donde dicho compuesto es el odorante predominante en la matriz aire.

**Cuadro 4.4 Compuestos odorantes en el tanque de lodos**

Matriz	Compuestos odorantes				
		Sulfuro de Hidrógeno	Amoniaco	Mercaptanos	Compuestos volátiles orgánicos
Aire mg/m <sup>3</sup>	A	56820±500	18.3±0.2	1.68±0.02	690± 2
	B	111550±1000	10±0.2	13150± 100	398 ±2
Agua mg/l	A	3000±100	55100±200	163±2	134000±2000
	B	4600±200	100900±200	83±1	68000±1000

#### 4.1.1.1.4 Umbrales de detección

Al analizar los resultados presentes en la matriz aire (en emisión) con los umbrales de detección (Cuadro 4.5), se obtiene que para todos los odorantes en el estudio se tienen mayores concentraciones que los valores de umbral de detección reportados, por lo anterior se puede concluir que los odorantes analizados sí son percibidos en la fuente.

En los tres puntos de muestreo para la matriz agua se obtiene que los compuestos mayoritarios son los COVs y el NH<sub>3</sub>, esto se puede atribuir a la degradación y fermentación de la MO presente en las aguas residuales. Su mayor concentración también es consecuencia de la mayor afinidad al agua que los compuestos azufrados, por afinidad están más en el agua (Cuadro 2.1, cuadro 2.2).

**Cuadro 4.5 Umbrales de detección para los diversos odorantes**

Odorante	Umbrales de detección	Presente estudio					
		Tamiz mg/m <sup>3</sup>		Sedimentador primario mg/m <sup>3</sup>		Tanque de lodos mg/m <sup>3</sup>	
		A	B	A	B	A	B
Sulfuro de hidrogeno	0.48 mg/m <sup>3</sup>	11520±100	47810±500	0.0047±0.0005	0.0035±0.0001	56820±500	111550±1000
Amoniaco	3,55 mg/m <sup>3</sup>	7.6±0.2	9.8±0.2	34.2±0.2	30.3±0.2	18.3±0.2	10±0.2
Mercaptanos (como metil-mercaptano)	0.0016 ppm	0.021±0.002	1320±10	0.929±0.002	0.00016±0.0001	1.68±0.02	13150± 100
Compuestos orgánicos volátiles	5-100 ppm	86±1	145±1	319±1	35,8±0.2	690± 2	398 ±2

#### 4.1.1.1.5 Comparación de los resultados obtenidos con estudios previos

Al comparar los resultados obtenidos en estudios previos con los del presente en la fase aire (Cuadro 4.6), se nota que el valor en el tamiz A de H<sub>2</sub>S y los seis resultados para el amoníaco se encuentran dentro del rango reportado por la literatura.

El resto de los datos se encuentran en concentraciones mayores o menores a las reportadas. Una posible causa de esta diferencia se puede deber a variaciones en el protocolo de muestreo utilizado, ya que al generar campanas sin salida del gas se provocó una concentración de los compuestos. También para el caso del tanque del lodo con los valores altos de H<sub>2</sub>S se puede deber a que la MO está más concentrada en dicha unidad (Lazo, 2012) .

Es importante mencionar que el muestreo debe de ser isocinético, por ejemplo con la utilización de túneles de viento en donde se simulan las condiciones atmosféricas asumiendo que el flujo es paralelo sin mezcla vertical. Lo anterior consiste en filtrar el aire en carbón activado y este se introduce en un conducto utilizando un ventilador, el aire forma un flujo paralelo con la superficie que se encuentra bajo del túnel, las emisiones se mezclan con el aire y una proporción de la mezcla se introduce en la bolsa Tedlar mediante un tubo de teflón (Stuetz & Frechen, 2001).

Sí la concentración del H<sub>2</sub>S es de 1400-2800 mg/m<sup>3</sup> ocasiona colapso inmediato de la respiración con parálisis (Cuadro 2.4), nótese en el cuadro 4.5 que para dicho odorante se obtienen concentraciones superiores a dicho rango, sin embargo los colaboradores de la PTAR no han presentado estos síntomas.

**Cuadro 4.6 Concentración de odorantes reportados en la literatura para la matriz aire**

Odorante	Estudios Anteriores	Presente estudio					
		Tamiz mg/m <sup>3</sup>		Sedimentador primario mg/m <sup>3</sup>		Tanque de lodos mg/m <sup>3</sup>	
		A	B	A	B	A	B
Sulfuro de hidrogeno	280-14000 mg/m <sup>3</sup> <sup>14</sup> (Stuetz & Frechen, 2001)	11520±100	47810±500	0.0047±0.0005	0.0035±0.0001	56820±500	111550±1000
Amoniaco	7.1-35.5 mg/m <sup>3</sup> <sup>9</sup> (Stuetz & Frechen, 2001)	7.6±0.2	9.8±0.2	34.2±0.2	30.3±0.2	18.3±0.2	10±0.2
Mercaptanos (como metil-mercaptano)	5.1-25.5 mg/m <sup>3</sup> <sup>9</sup> (Stuetz & Frechen, 2001)	0.021±0.002	1320±10	0.929±0.002	0.0002 ±0.0001	1.68±0.02	13150± 100
Compuestos orgánicos volátiles	1.08 mg/m <sup>3</sup> (Lehtinen & Veijanen, 2010)	86±1	145±1	319±1	35,8±0.2	690± 2	398 ±2

Nótese en el cuadro 4.7 los resultados de dicha investigación comparados con estudios previos reportados para la matriz agua. El H<sub>2</sub>S se encuentra dentro del valor reportado por Lebrero et al (2011). Para el NH<sub>3</sub> todos los valores (excepto el tanque de lodos B), se encuentran entre el rango reportado por (Arriagada Monreal, 2008), esto se puede deber a que en dicho día existiera más MO como proteínas y aminoácidos que cuando se fermentan favorece la producción de amoniaco y compuestos amoniacales.

En el caso de los mercaptanos todos los valores obtenidos son menores a los valores reportados por Stuetz & Frechen (2001), la causa de lo anterior es que se esta comparando el total de mercaptanos de este estudio con el metilmercaptano el cual es el odorante más reportado por la literatura. Mientras que para los resultados de los COVs, todos se encuentran por encima del valor reportado por la literatura, debido a que en este estudio se analizó los COV's y no compuestos individuales.

<sup>14</sup> Aire seco y condiciones anaerobias de una PTAR

**Cuadro 4.7 Concentración de odorantes reportados en la literatura para la matriz agua**

Odorante	Estudios Anteriores	Presente estudio					
		Tamiz mg/l		Sedimentador primario mg/l		Tanque de lodos mg/l	
		A	B	A	B	A	B
Sulfuro de hidrogeno	5.0 a 30.0 mg/l (Lebrero et al., 2011) <sup>15</sup>	4.700±0.200	4.200 ±0.200	5.300 ±0.200	6.100 ±0.200	3.000 ±0.100	4.600±0.200
Amoniaco	35 a 60 mg/l Arriagada Monreal, 2008) <sup>8</sup> 12-40 mg/l (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua , 2015) <sup>8</sup>	47.100 ±0.200	50.500 ±0.200	44.300 ±0.200	44.100 ±0.200	55.100 ±0.200	100.900 ±0.200
Mercaptanos (como metil-mercaptano)	0.01 a 0.05 mg/l (Stuetz & Frechen, 2001) <sup>9</sup>	0.071±0.002	0.065±0.001	0.088±0.002	0.106±0.001	0.163±0.002	0.083±0.001
Compuestos orgánicos volátiles	<0.4 mg/l (Fuentes Vivanco, 2014) <sup>8</sup>	72.000 ±1.000	29.00 ±1.000	425.000 ±1.000	186.000 ±2.000	134.000 ±2.000	68.000 ±1.000

#### 4.1.1.2 Olores

Con respecto a los resultados obtenidos para la concentración de olores en las diferentes unidades se obtiene que para ambos días de muestreo, en el tanque de lodos es donde hay mayor concentración, seguido por el sedimentador primario y en último lugar por el tamiz. Según Gostelow et al., (2001), en el tanque de lodos existen grandes volúmenes los cuales se acumulan y en condiciones anaeróbicas y/o anóxicas pueden desarrollar olores. Los sedimentadores primarios favorecen la emisión de olores ya formados, debido a que por lo general son unidades con grandes superficies abiertas por lo que las aguas residuales están en contacto directo con la atmósfera, favoreciendo la liberación a la misma.

<sup>15</sup> No indica el lugar

En el tamiz se generan los olores por la acumulación de sólidos cuya naturaleza es MO en descomposición; y por limpiezas irregulares, factores como la turbulencia y caídas del agua favorecen la emisión (Madriz Medeiros, 2011).

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los reportados con la literatura (Cuadro 4.8), se obtiene que los valores del tamiz se encuentra entre el rango reportado por Lehtinen & Veijanen (2010).

Para el tanque de lodos los datos se encuentran por encima de los valores reportados para el espesado de lodos. Se compara con este proceso, ya que en dicha unidad es donde inicia el tratamiento de lodos. Una posible causa de que los valores sean superiores en este tanque, es que en esta unidad se está iniciando la digestión de los lodos y que en el espesado ya han recibido un tratamiento.

En el sedimentador se obtiene que ambos valores son menores a los valores reportados por Lehtinen & Veijanen (2010), esto se puede atribuir a que las áreas son diferentes 285 m<sup>2</sup> para el sedimentador reportado por los autores antes mencionados y para el de este estudio es de 205 m<sup>2</sup>.

**Cuadro 4.8 Concentración de olor en las diferentes unidades OU/m<sup>3</sup>**

Unidad	A	B	Estudios previos	Referencia
Tamiz	8839	4419	3800-12000 ( $\bar{x}$ = 7900) OU/m <sup>3</sup>	
Sedimentador primario	2210	552	57- 380 ( $\bar{x}$ =157) OU/m <sup>3</sup> m <sup>2</sup>	(Lehtinen & Veijanen, 2010)
	11 OU/m <sup>3</sup> m <sup>2</sup>	3 OU/m <sup>3</sup> m <sup>2</sup>		
Tanque de lodos	35355	35355	1,100–7,100 ( $\bar{x}$ =4,330) OU/m <sup>3</sup> (espesamiento de lodos)	

#### 4.1.2 Emisiones teóricas

Se determinó la tasa de emisión de olor a partir del uso de factores de emisión de olores con el fin de relacionar la cantidad de olor liberado a la atmósfera con un índice de actividad específico (Capacidad de tratamiento de la PTAR), obteniendo las unidades de olor por segundo (Capelli et al., 2009).

Al determinar la tasa de emisión de olor mediante la utilización de factores de emisión, para el día A las horas a las cuales se presentan las mayores emisiones de olor son a las 10:00, 12:00, 18:00 y 21:00 y cuyas concentraciones máximas se encuentran entre 30 a 45 x 10<sup>3</sup>

OU/s, lo anterior se evidencia en la figura 4.1. Es importante resaltar que en dichas horas es cuando se presenta un mayor caudal y estas a su vez se relacionan con las actividades humanas como el lavado de la ropa y la preparación del almuerzo (10:00 a 12:00) y de las 18:00 en adelante la preparación de la cena y el regreso al hogar después de la jornada laboral.

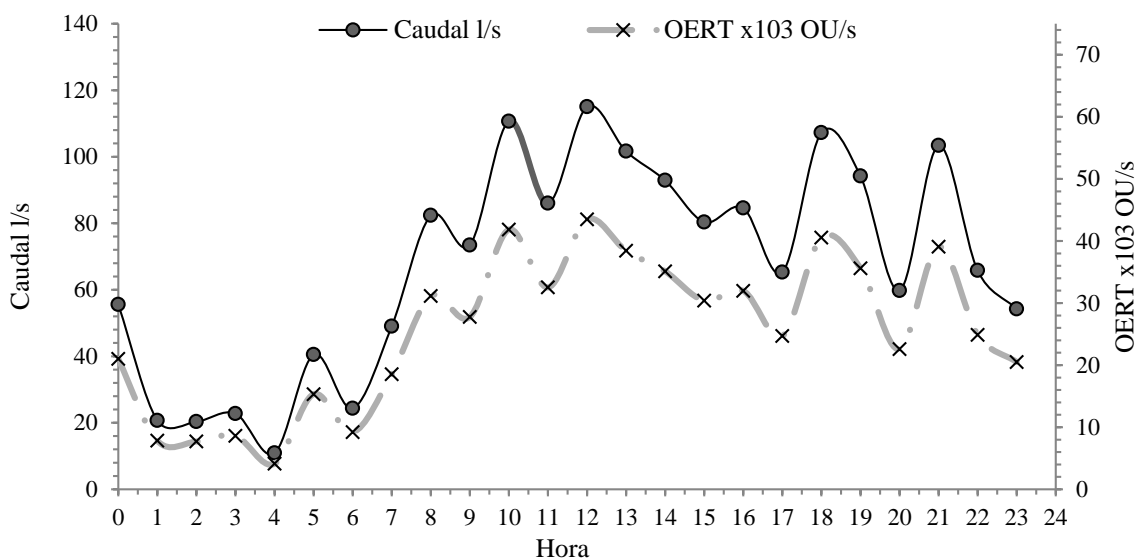


Figura 4.1 Emisión de olor mediante OERT para el día 24 de febrero del 2015.

Para el día B se observa en la figura 4.2, que las horas de máxima emisión ocurren a la 13:00 y a las 18:00 horas, obteniendo concentraciones superiores a  $50 \times 10^3$  OU/m<sup>3</sup>

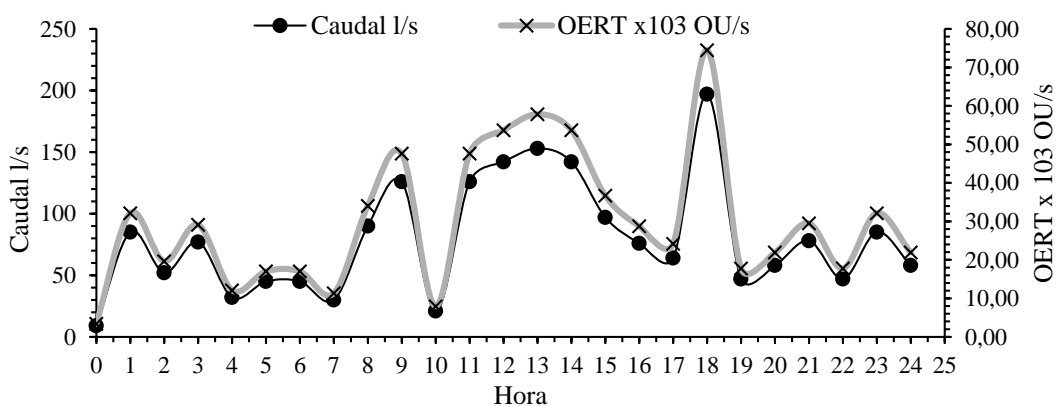


Figura 4.2 Emisión de olor mediante OERT para el día 10 de diciembre del 2015.

Al comparar ambas figuras se observa que las mayores emisiones de olor ocurren cuando se trata mayor caudal, y la emisión se dispara a las 18:00 en donde se trabaja con el caudal pico. El nivel de olor de la PTAR es bajo, ya que según un estudio realizado por (Capelli et al., 2009) indican que un nivel de olor es alto si sus emisiones son mayores a  $10^4$  OU/m<sup>3</sup>. Las emisiones de olor aumentan proporcionalmente a la capacidad de tratamiento, por lo anterior se clasifica la PTAR como pequeña (caudal  $10^3$  a  $10^4$  m<sup>3</sup>/d).

La utilización de factores de emisión utilizando un índice de actividad específico, es una herramienta práctica y económica para estimar las concentraciones de olor, más cuando los costos asociados a los muestreos y análisis son elevados, como es el caso de la presente investigación.

#### 4.1 PERCEPCIÓN COMUNITARIA DEL IMPACTO DE LOS OLORES.

##### 4.1.1 Encuesta a usuarios de la planta de tratamiento

La encuesta fue aplicada a 262 personas, de ellas un 68% corresponde a mujeres y un 32% a hombres. En la figura 4.3 se presentan los porcentajes según el rango de edades, obteniéndose mayor porcentaje para el rango de 18 a 28 años y de 29 a 39 años.

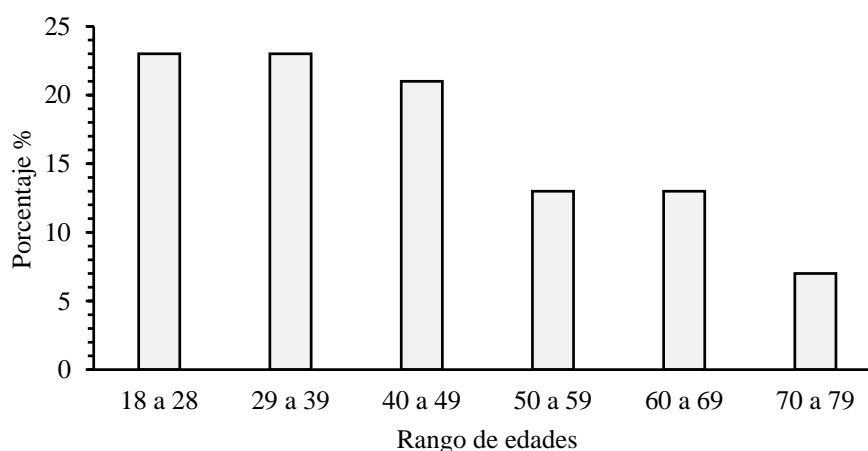


Figura 4.3 Porcentaje de personas, según el rango de edad



En relación a la percepción del olor el 76% de los encuestados efectivamente perciben los olores, por lo cual las preguntas restantes se hacen sólo a 198 personas. En la Figura 4.4 se presenta espacialmente la percepción del olor y se evidencia el radio de influencia a los 600m.

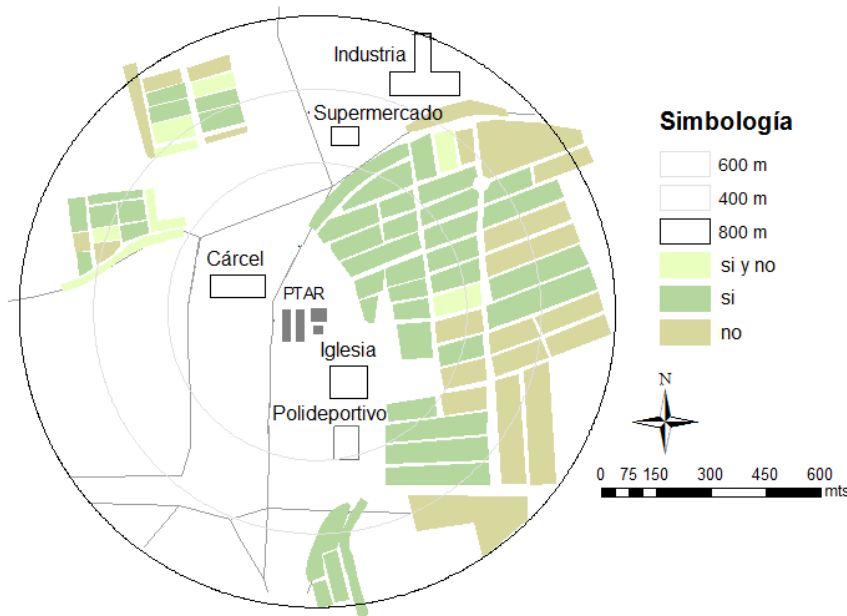


Figura 4.4 Percepción del olor en los diversos sectores

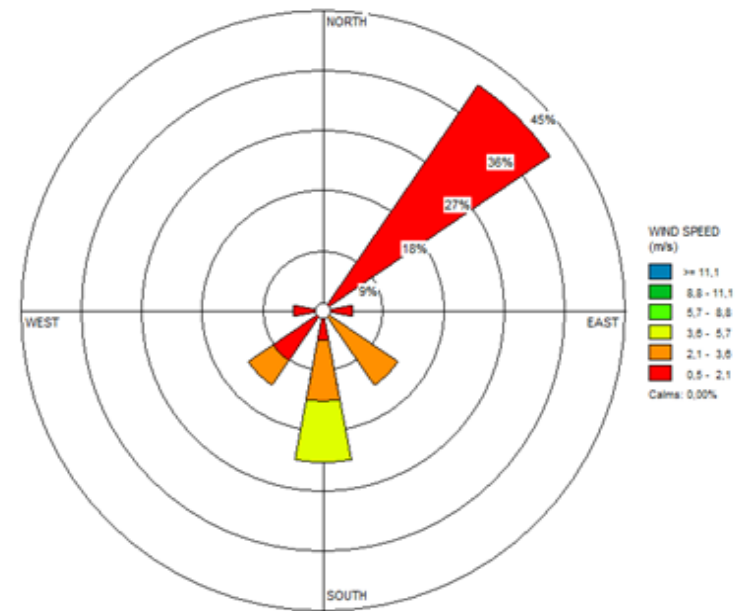
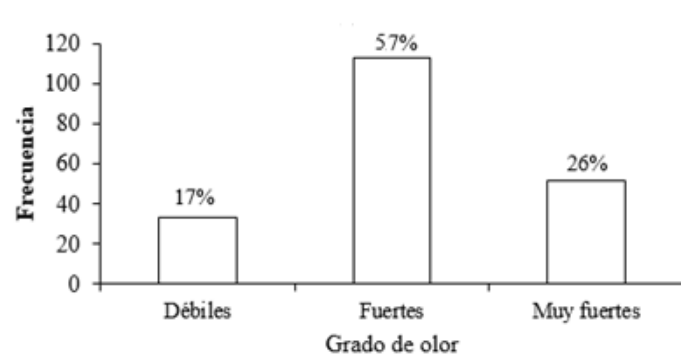


Figura 4.5 Dirección y velocidad del viento para el 9 de Junio, 2014.

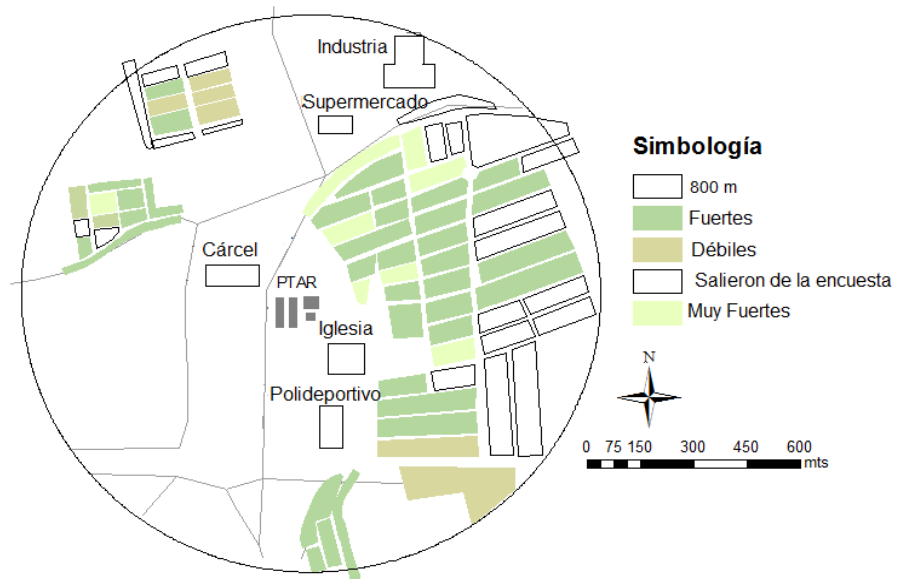
En la figura 4.5 se muestra la dirección y velocidad del viento para el día de aplicación de las encuestas, obsérvese que la dirección del viento es hacia el noreste y la velocidad del viento es baja (0,5 a 2,1 m/s) con una frecuencia de un 45%. Al comparar las figuras 4.4 y

4.5 se observa que dicha dirección es donde se sienten más los olores. El radio de influencia puede ser mayor en función de la velocidad del viento, ya que intensidades bajas y la presencia de edificaciones bloquea el transporte horizontal (Chapela, 2013).

El nivel de intensidad con el que se percibe el olor es un 57% fuerte, un 26% perciben los olores como muy fuertes y un 17% como débiles como se muestra en la Figura 4.6 a y b.



a) Frecuencia



b) Espacial

Figura 4.6 Percepción del nivel de intensidad del olor.

Con respecto a la percepción del tipo de olor se indica que el olor fecal es el predominante con un 84% lo cual se evidencia en la figura espacial 4.7 a y b. Esto induce a una posible presencia de compuestos nitrogenados como el indol y escatol (Lebrero et al., 2011). El H<sub>2</sub>S se asemeja al huevo podrido, los mercaptanos a repollo podrido, el NH<sub>3</sub> es un olor irritante y los COVs es variado como a solventes, alcohol, pintura, césped verde, ajo y madera, entre otros (Lehtinen & Veijanen, 2010).

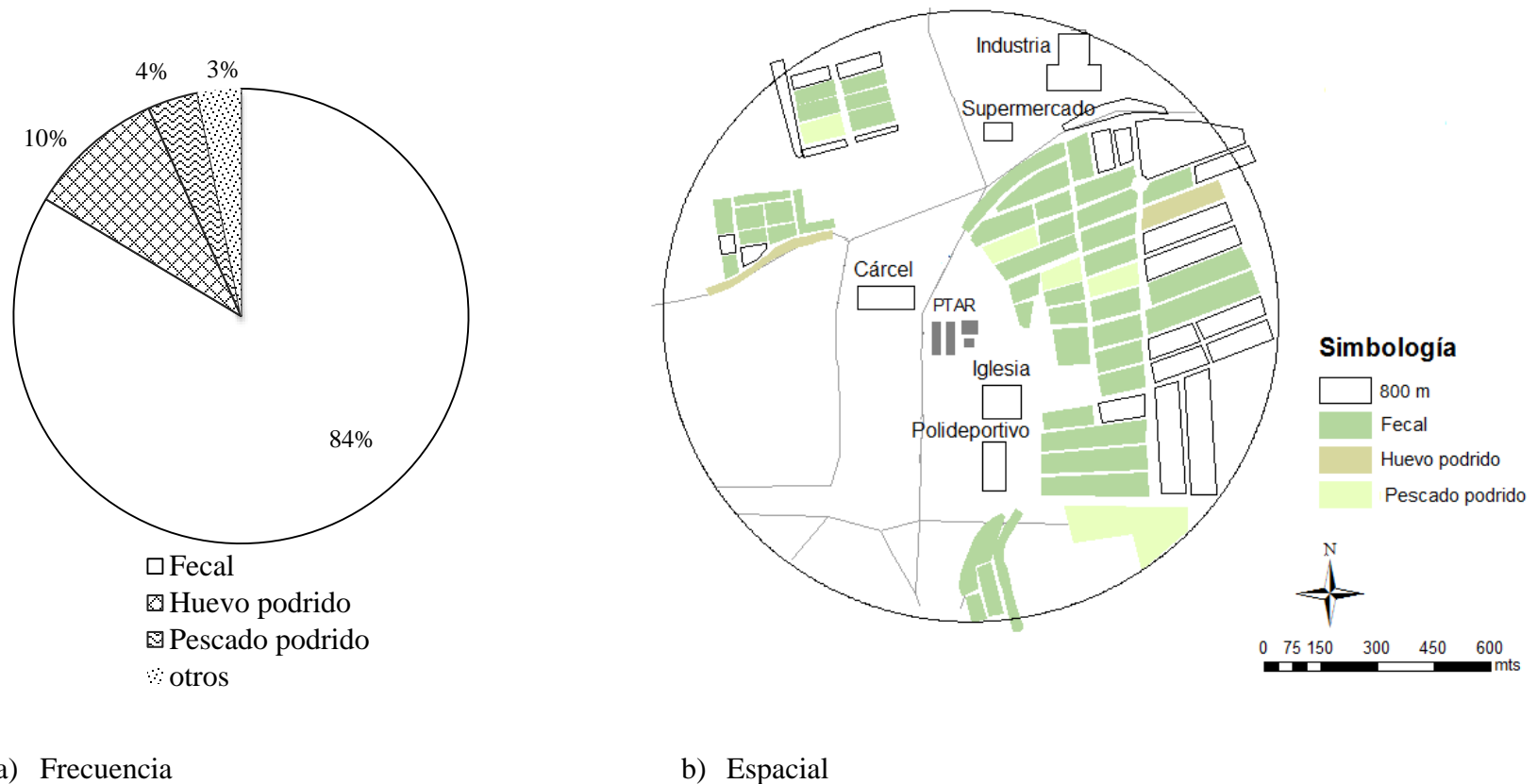


Figura 4.7 Percepción del tipo de olor.



Las horas en la que más se perciben los olores son las franjas horarias entre 06:00 a 09:00 y de 15:00 a 18:00 como se muestra en la figura 4.8. Lo anterior tiene influencia por el comportamiento de la atmósfera ya que a dichas horas se presenta un comportamiento ligeramente y moderadamente inestables (Ver cuadro 4.9), lo que indica que en horas de la mañana el contaminante empieza a ascender, ya que se da la ruptura de la capa estable por el calentamiento solar y en las horas de la tarde la capa estable desciende por la disminución del flujo de calor y por lo tanto el contaminante tiende a estar más cerca de la superficie, es por esto que en ambos lapsos de tiempo los olores se tienden a sentir más.

De las 18:00 a las 21:00 se cuenta con una clase estable (E) la cual se caracteriza por no presentar movimientos verticales sino horizontales, lo cual ocasiona que los olores se trasladen a mayores distancias y sean percibidos por la población.

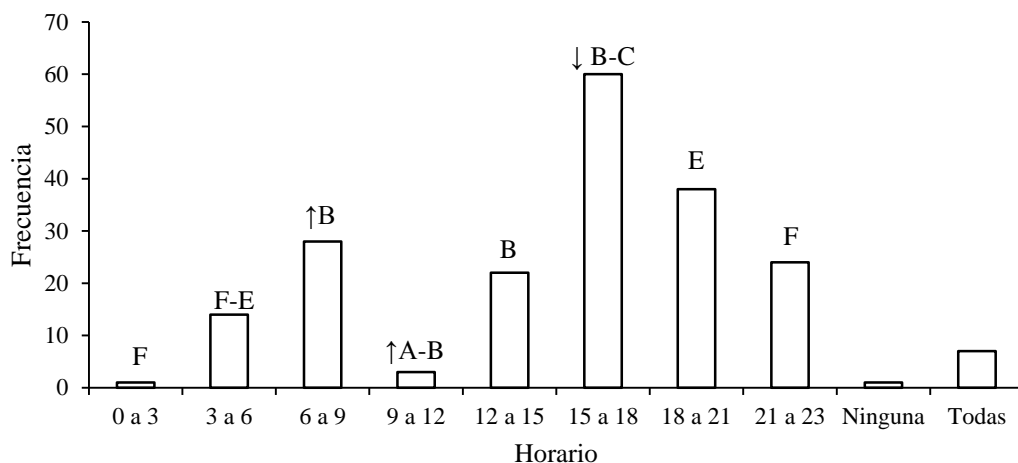


Figura 4.8 Franjas horarias donde se percibe el olor con mayor intensidad.

Cuadro 4.9 Estabilidades atmosféricas en la zona de estudio para el 9 de junio del 2014.

Estabilidad de Día				Estabilidad noche			
Hora	Velocidad del viento m/s	Radiación solar incidente ca/cm2h	Clase	Hora	Velocidad del viento m/s	Coberturas de nubes	Clase
6-9	2	29	B	0-3	2		F
9-12	3	67	A-B	3-6	2	<30	F
12-3	4	69	B	18-21	4		E
3-6	4	31	B-C	21-23	3		F-E

Al comparar los resultados obtenidos por la estimación de olores con el uso de factores de emisión y los resultados de la encuesta, se concluye que por ambos métodos las 18:00 es la hora la cual se perciben más los olores. Ya que en dicho periodo la planta trabaja con mayor caudal así como hay mayor concurrencia de las personas en las casas.

La época del año en la cual la población percibe más los olores es en la época lluviosa (62%) como se muestra en la figura 4.9, dicha época se caracteriza por presentar temperaturas del aire más frías en comparación con la temperatura del agua, por lo tanto los compuestos se dirigen hacia el aire (Kreuk, 2013), ya que la presión parcial del compuesto en el aire es prácticamente cero cuando la unidad es abierta a la atmósfera por ello la transferencia entre fases sigue la dirección agua-aire (Chapela, 2013).

En invierno se cuenta con una mayor estabilidad atmosférica, debido a que el calentamiento superficial del sol es menor, esto favorece al confinamiento de los contaminantes en la superficie, y con ello favorece los movimientos horizontales y un incremento en la concentración en inmisión con respecto al verano (Chapela, 2013).

En la época lluviosa la PTAR trabaja con mayor caudal debido a conexiones ilícitas del agua de lluvia a la red sanitaria (Lazo, 2012), por ende se perciben más los olores.

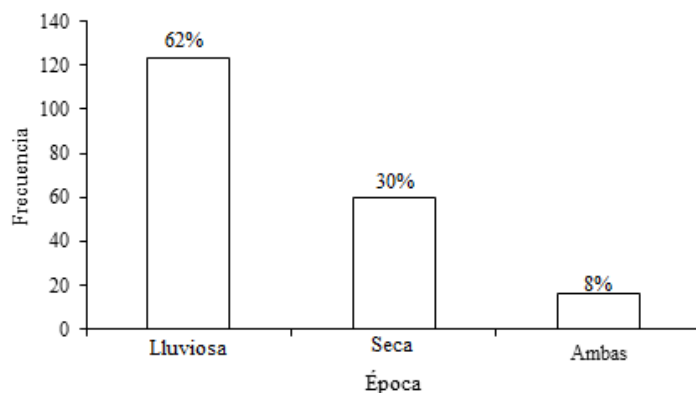


Figura 4.9 Percepción de los olores según la época

Mediante el análisis de componentes principales (Apéndice 10), se determina que hay correlaciones entre las variables “sexo” –“siente los olores”.

Se aplicó una prueba de hipótesis entre proporciones con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre las mujeres y hombres que sí sienten los olores, obteniendo con

un 95% de confianza que si existe diferencia significativa con  $p < 0,05$  (Apéndice 11). Según un estudio realizado por Valencia, Espinosa, Parra, & Peña (2011), las mujeres tienden a percibir más los problemas ambientales en comparación con los hombres. También es importante verificar si existen fenómenos de sensibilización y desensibilización entre la población.

## 4.2 SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE OLORES MEDIANTE EL MODELO DE PENACHO GAUSSIANO

### 4.2.1 Estudio meteorológico

Se realizó un estudio meteorológico para el año 2013-2014 con el fin de caracterizar las variables meteorológicas de la zona en estudio, las cuales son necesarias para sustentar el modelo y realizar el análisis de estabildades atmosféricas.

La dirección que toma la dispersión del contaminante, está relacionada al comportamiento de los vientos en la zona (Barrera Curihuentro, 2010). En la figura 4.10 se presenta la rosa de los vientos del periodo 2013 -2014, en donde las direcciones predominantes son desde el sur y el noreste; mientras las más débiles son hacia el este, sur este, norte, oeste y noroeste.

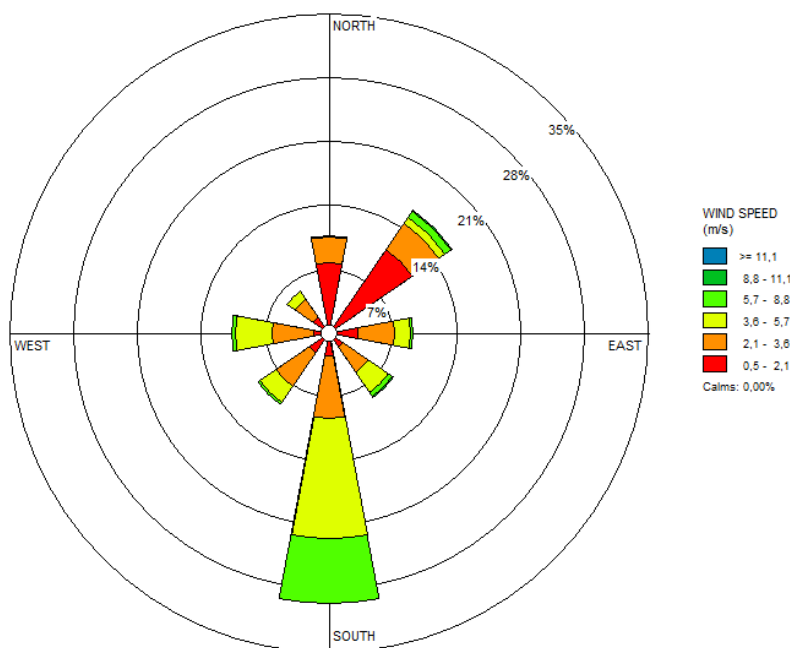


Figura 4.10 Velocidad y dirección del viento de los datos recogidos para el periodo 2013-2014 en la provincia de Puntarenas, estación del Muelle.

Por lo anterior, se puede concluir que en el periodo del 2013-2014, el 28% de los vientos se desplazó en dirección norte, por ende si en dicho periodo existieron episodios de olor, es probable que éstos se desplazaron en dicha dirección, y menos de un 21% hacia el noreste. Las frecuencias de las velocidades del viento para el año 2013-2014 se presentan en el cuadro 4.10, nótese que para dicho periodo el 33% corresponde a velocidades de 0,5 a 2,1 m/s, 31,6% de 2,1 a 3,6 m/s y el 25,7% a velocidades entre 3,6 a 5,7 m/s.

**Cuadro 4.10 Distribución de frecuencias de velocidades del viento en diversos periodos, de la zona de estudio.**

Época	Período	0.5 a 2.1 m/s	2.1 a 3.6 m/s	3.6 a 5.7 m/s	5.7 a 8.8 m/s	8.8 a 11.1 m/s	≥11.1 m/s
Ambas		33,0	31,6	25,7	9,5	0,3	
Seca	2013-2014	29,4	30,7	28,1	11,5	0,3	0,0
Lluviosa		36,1	32,4	23,6	7,7	0,2	

Se generaron las rosas de los vientos para la época seca y la lluviosa (Figura 4.11 y 4.12 respectivamente), en donde se evidencia que las direcciones predominantes son hacia el sur y el noreste, y que en el verano un 14% se dirige hacia el oeste y el suroeste, mientras en el invierno un 14% hacia el norte y el sur este.

Analizando las frecuencias de las velocidades de los vientos para las dos épocas (Cuadro 4.10), en la época seca la mayor frecuencia en velocidades es de 2,1 a 3,6 m/s (30,7%), mientras en la época lluviosa la mayor es de 0,5 a 2,1 (36,1%). Al contar con intensidades bajas se promueve el confinamiento del olor (Chapela, 2013) y por ende ocasiona que se perciban más los olores lo cual se evidencia al compararlo con los resultados de la encuesta (Figura 4.6).

Dado lo anterior se realizó una prueba de hipótesis con el fin de establecer si existe diferencia significativa entre las direcciones y velocidades de los vientos entre ambas épocas, obteniendo un  $p < 0,05$  para ambos casos, por lo tanto hay diferencia significativa entre las épocas tanto para la dirección y la velocidad del viento (Apéndice 12).



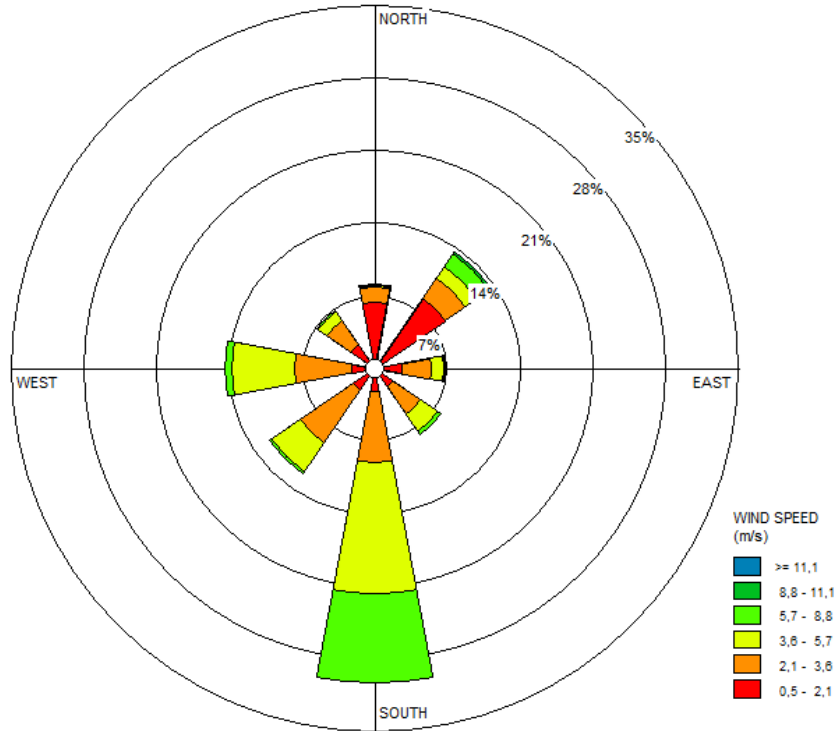


Figura 4.11 Velocidad y Dirección del viento para la época seca 2013-2014

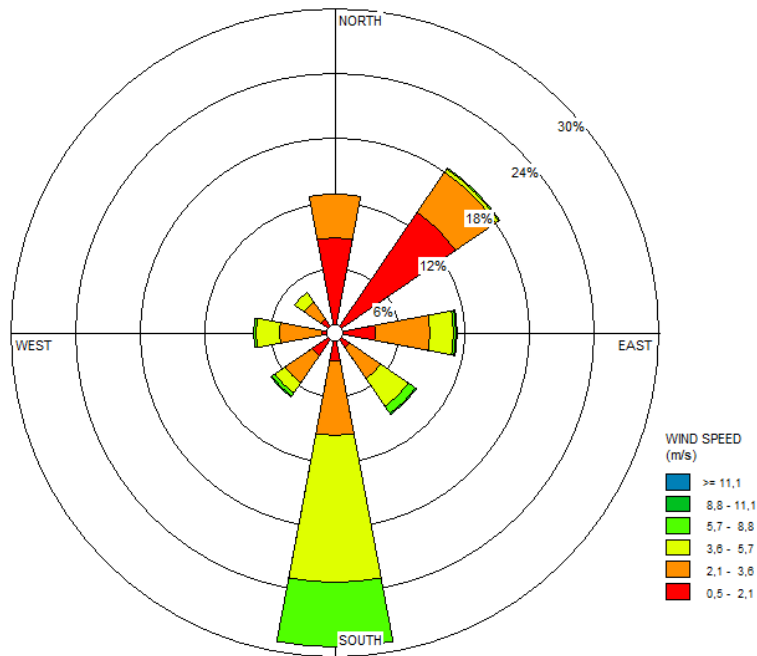


Figura 4.12 Velocidad y Dirección del viento para la época lluviosa 2013-2014

En el caso de la temperatura se encuentra entre 20°C a 36°C, en la figura 4.13 se observa que los meses con temperaturas más altas son de Enero a Abril.

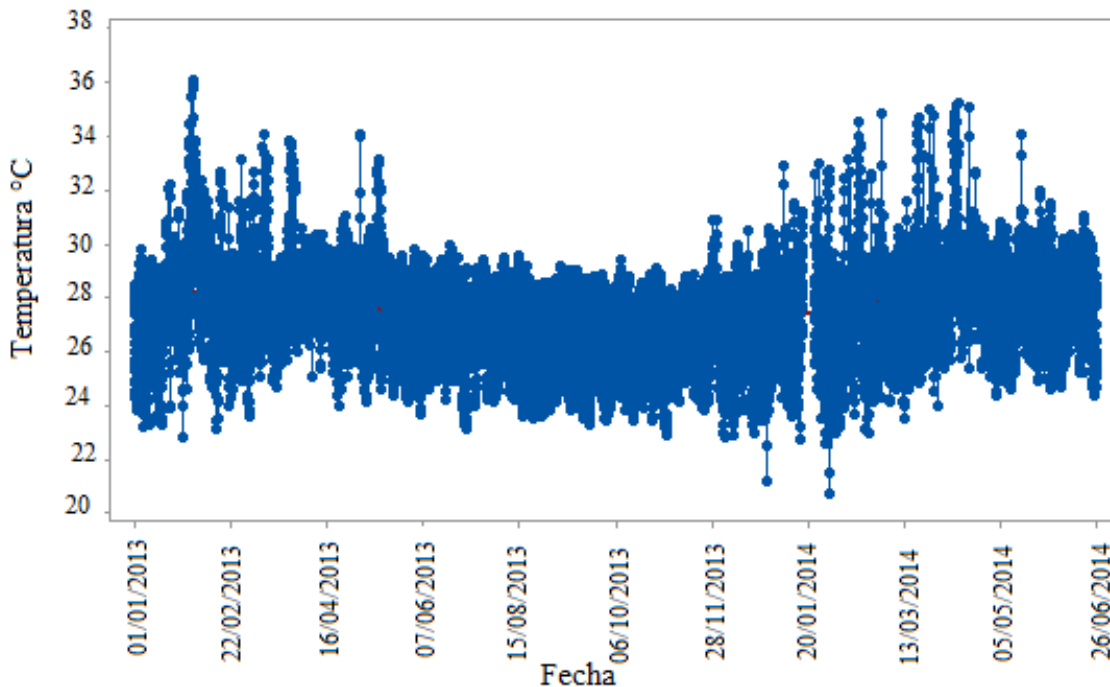


Figura 4.13 Temperaturas para el 2013-2014

En la figura 4.14 se presentan los valores de porcentaje de humedad, obsérvese que en los meses de invierno los valores se encuentran entre 60% y 90%, en comparación con la época de verano que oscilan entre 30% y 90%.

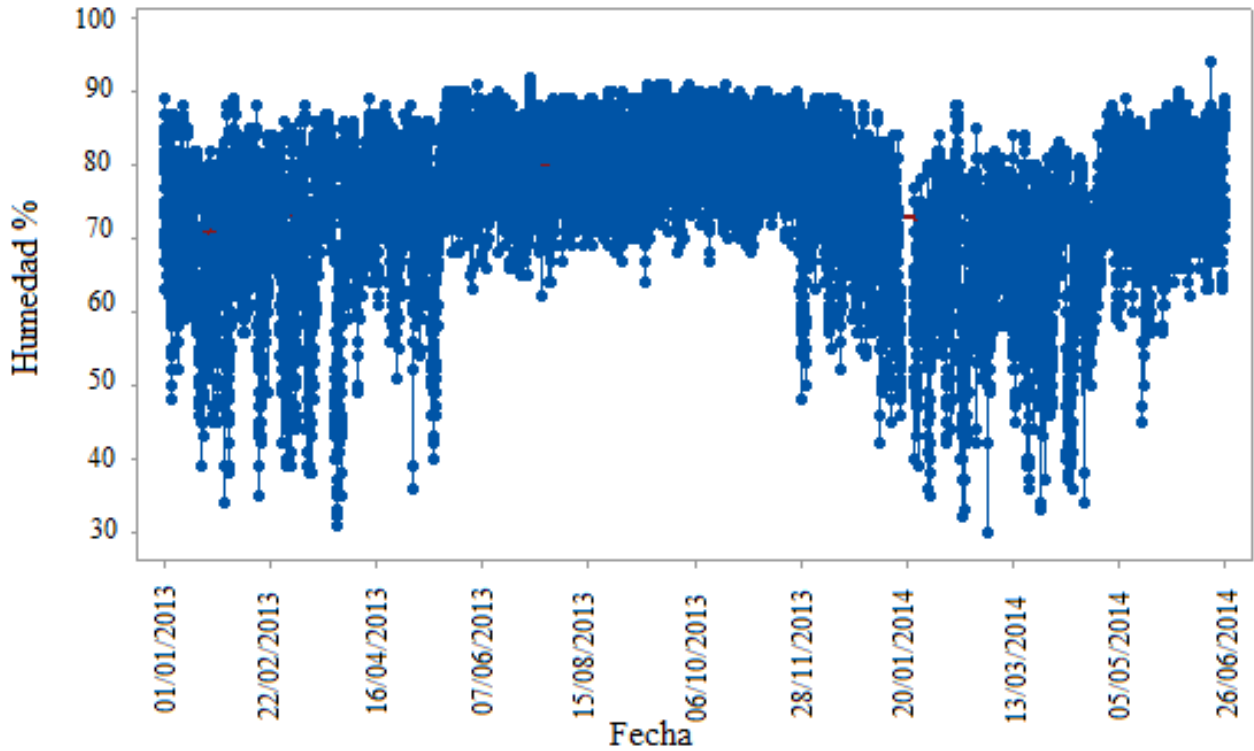


Figura 4.14 Porcentaje de Humedad para el 2013-2014.

Se determinaron las clases de estabildades atmosféricas para el día y la noche, en tres escenarios: Ambas épocas, en época seca y lluviosa. Nótese en el cuadro 4.11 que se obtiene una clase atmosférica B para los tres periodos de tiempo en el día, favoreciendo su movimiento vertical; así como menor es la distancia horizontal de alcance de los olores (Barclay et al., 2014).

Cuadro 4.11 Estabildades atmosféricas en el día para diferentes periodos del 2013-2014.

Época	Período	Velocidad del viento m/s	Radiación solar incidente ca/cm <sup>2</sup> h	Clase
Ambas	6:00 am a 6:00 pm	3,72	19,1	B
Seca	6:00 am a 6:00 pm	3,97	38,92	B-C
Lluviosa	6:00 am a 6:00 pm	3,51	32,35	B

En el cuadro 4.12 se presentan las estabildades atmosféricas para la noche, en ambas épocas y en la época seca se obtiene la clase F, mientras en la época lluviosa una clase E, por lo que se espera que existan más movimientos horizontales y los olores se trasladen a mayores distancias.

**Cuadro 4.12 Estabilidades atmosféricas en la noche para diferentes periodos del 2013-2014.**

Época	Periodo	Velocidad del viento m/s	del Nubosidad	Clase
Ambas	7:00 pm a 5:00 am	2,51	<30	F
Seca	7:00 pm a 5:00 am	2,63	<30	F
Lluviosa	7:00 pm a 5:00 am	2,42	>45	E

En el día sin importar la época del año se puede concluir que es muy probable la presencia de una clase moderadamente inestable, en cambio en la noche en la época seca se espera una clase muy estable y en época lluviosa una clase estable.

#### 4.2.2 Simulación de dispersión de olores y odorantes.

El caudal de olor se determina de acuerdo a la ecuación (7), obteniendo valores en todos los casos menores a una 1 OU/s. En el día A en el sedimentador, es donde se encuentra el mayor caudal de olor y para el día B es en el tamiz. En el apéndice 9 se encuentran los flujos de succión.

Al comparar los resultados con los reportados por Stuetz & Frechen (2001), se encuentran valores por debajo a los reportados por la literatura (Cuadro 4.13), la principal causa es el bajo caudal másico (Cuadro 4.14) obtenido de acuerdo a la metodología utilizada, ya que lo que se hizo fue encapsular los olores, por lo tanto se recomienda la utilización de un túnel de viento ó una campana de flujo para un futuro trabajo.

**Cuadro 4.13 Comparación de caudal de olor en OU/s según diferentes metodologías para la toma de la muestra.**

Proceso unitario	Campana de flujo <sup>16</sup>	Túnel de viento <sup>16</sup>	Presente estudio	
			A	B
Tamiz	-----	-----	0,00269	0,00537
Sedimentador primario	6780	76,076	0,04596	0,00072
Tanque de lodos	4820	100,800	0,00928	0,03712

<sup>16</sup> (Stuetz & Frechen, 2001)

**Cuadro 4.14 Caudal de odorantes en µg/s**

Proceso unitario	Sulfuro de Hidrógeno		Amoniaco		Mercaptanos		Compuestos orgánicos volátiles	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Tamiz	14,03408	58,24385	0,00925	0,01194	0,00003	1,60681	0,10477	0,17664
Sedimentador primario	0,000006	0,000004	0,04452	0,03944	0,00121	0,0000002	0,41523	0,04660
Tanque de lodos	59,73794	117,27855	0,01924	0,01051	0,001767	13,82530	0,72543	0,41844

Las PTAR generarán emisiones que alcanzarán su máxima concentración a distancias cercanas de la misma (Souto, 2011) . Nótese en los cuadros 4.15 y 4.16 que en las clases E y F se obtienen distancias más largas en comparación con las demás clases, con lo anterior se evidencia lo expuesto por Barclay et al (2014) en donde indica que en dichas clases los olores se transportan a largas distancias.

La distancia más larga es a 150 m, la cual coincide con la ubicación de las primeras casas, sin embargo al comparar los resultados de la sección 4.2, se evidencia que los olores se perciben hasta los 600 m de la PTAR en dirección hacia el este.

Los valores de los cuadros 4.15 y 4.16 se encuentran por debajo del umbral de detección para todas las clases de estabilidad, esto debido al bajo caudal másico obtenido debido a la metodología del muestreo realizado. Por lo tanto no fue posible identificar episodios de molestia por olores y odorantes.

**Cuadro 4.15 Resumen de la concentración máxima de olor y odorantes, así como las distancia obtenidas por el modelo de penacho gaussiano para las diferentes clases de estabilidad para el día 24-2-2015.**

Clase	Concentración máxima/ distancia (m)				
	Olor OU/m <sup>3</sup>	Sulfuro de hidrógeno µg/m <sup>3</sup>	Amoniaco µg/m <sup>3</sup>	Mercaptanos µg/m <sup>3</sup>	Compuestos orgánicos volátiles µg/m <sup>3</sup>
A	0,00047	0,42142	0,00059	0,00002	0,01007
	6m	6m	6m	6m	6m
B	0,00041	0,37639	0,00053	0,00001	0,00899
	9m	9m	9m	9m	9m
C	0,00038	0,34234	0,00048	0,00001	0,00818
	15m	11m	10m	10m	10m
D	0,00031	0,28268	0,00039	0,00001	0,00675
	22 m	19m	18m	17m	18m
E	0,00024	0,21227	0,00030	0,00001	0,00507
	46 m	34m	33 m	33m	33m
F	0,00009	0,07959	0,00011	0,00001	0,00190
	150 m	175 m	150 m	150m	150 m

**Cuadro 4.16 Resumen de la concentración máxima de olor y odorantes, así como las distancia obtenidas por el modelo de penacho gaussiano para las diferentes clases de estabilidad para el día 10-12-2014**

Clase	Concentración máxima/ distancia (m)				
	Olor OU/m <sup>3</sup>	Sulfuro de hidrógeno µg/m <sup>3</sup>	Amoniaco µg/m <sup>3</sup>	Mercaptanos µg/m <sup>3</sup>	Compuestos orgánicos volátiles µg/m <sup>3</sup>
A	0,00043	1,73422	0,00061	0,15249	0,00634
	6m	6m	6m	6m	6m
B	0,00038	1,54893	0,00055	0,13619	0,00566
	9m	9m	9m	9m	9m
C	0,00035	1,40880	0,00049	0,12387	0,00515
	10m	11m	10m	10m	10m
D	0,00029	1,16328	0,00041	0,10228	0,00425
	18 m	19m	18m	18m	18m
E	0,00022	0,87354	0,00031	0,07681	0,00319
	33 m	34m	33 m	33m	33m
F	0,00008	0,32754	0,00012	0,02880	0,00120
	150 m	175 m	150 m	150m	150 m

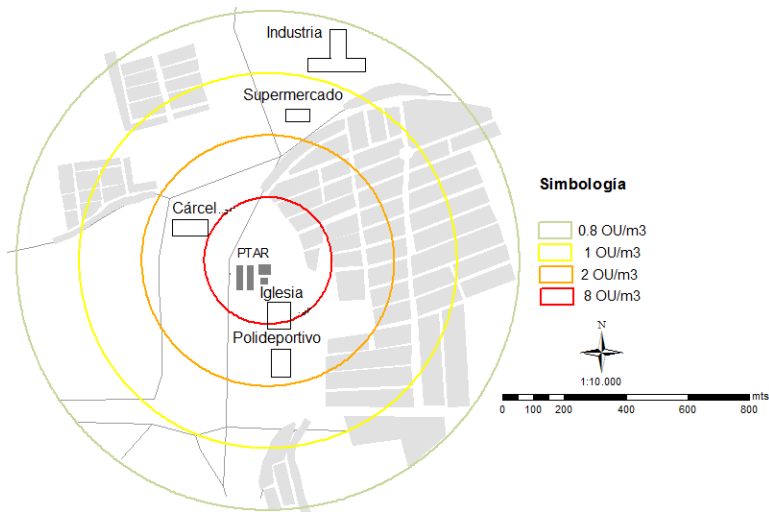
Se estimó el caudal volumétrico necesario para que las concentraciones concuerden con los resultados de la sección 4.2. En el apéndice 13 se muestran los resultados de inmisión para los días A y B, se generan los mapas de impacto con las isodoras para el odorante H<sub>2</sub>S (ya que este es el odorante mayoritario en la matriz aire) y los olores para las clases de estabilidad B y F. La separación entre isodoras es de 200m, empezando en 200 y terminando en 800 m. En la figura 4.15 se observa que para la isodora de 200 m para todos los casos a,b,c,d se obtiene un valor superior a 1 OU/s, por lo tanto bajo dichas condiciones los olores si sería percibidos, y sí se compara con la legislación (Cuadro 2.5) no se cumpliría con los límites permisibles de olor establecidos por Holanda, Alemania, Australia y Nueva Zelenda.

Con la isodora de 600 m (Amarrilla) para la clase b (Casos a y c) se obtiene 1 UO /s, aquí ya se empieza a dejar de percibir los olores lo cual se evidencia con la isodora de 800 m (Verde) se obtienen valores menores a 1 OU/s, esto coincide con los valores de los resultados obtenidos en la percepción comunal.

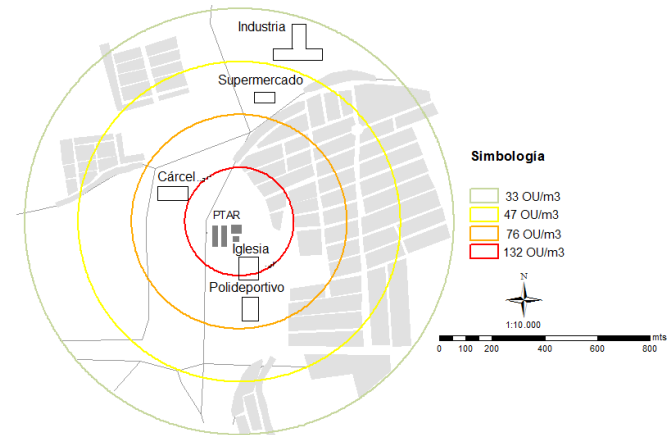
Para el caso de las clase f (b y d), desde la isodora de 600 m se obtienen valores mayores a 1 OU/s, ya que esta es una clase más estable y por lo tanto permite la concentración de los contaminantes debido a que el movimiento vertical se encuentra inhibido.

Para el caso del H<sub>2</sub>S, Holanda ha establecido un límite en inmisión de 10 mg/m<sup>3</sup> ( 10012,90 µg/m<sup>3</sup>). En la figura 4.16, se obtiene que para todos los casos a,b,c,d se cumple con el límite establecido.

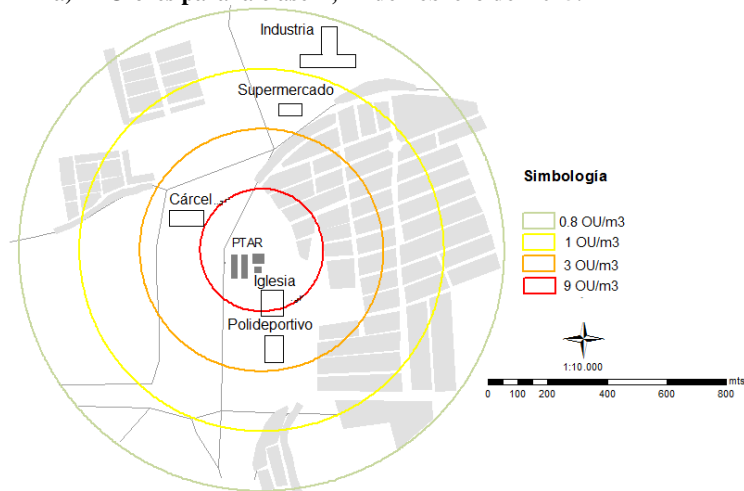
Es importante mencionar que para cada uno de los mapas de impacto los olores se desplazarían hacia el sur y hacia el norte este que son las direcciones de viento predominantes en la zona de estudio.



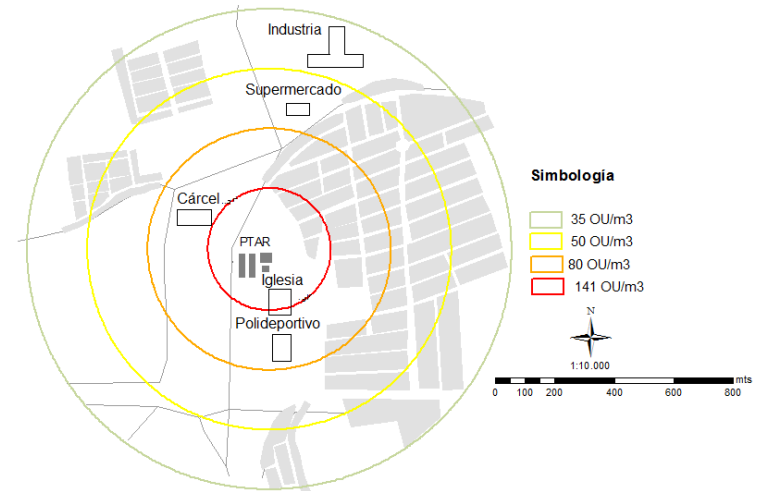
a) Olores para la clase B, 24 de Febrero del 2015.



b) Olores para la clase F, 24 de Febrero del 2015



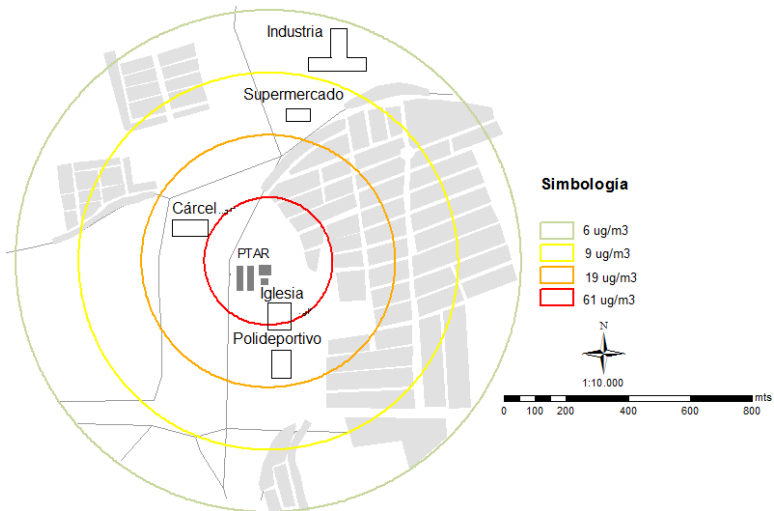
c) Olores para la clase B, 10 de diciembre del 2014.



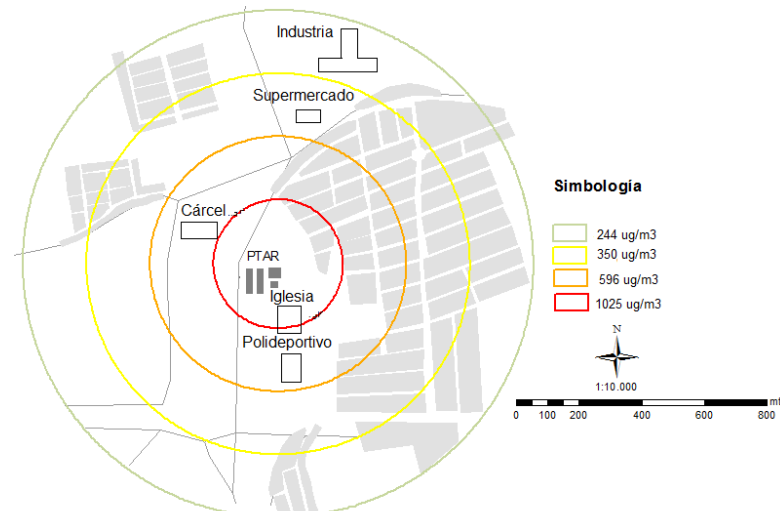
d) Olores para la clase F, 10 de diciembre del 2014.

Figura 4.15 Mapa de impacto de olores para diferentes clases atmosféricas

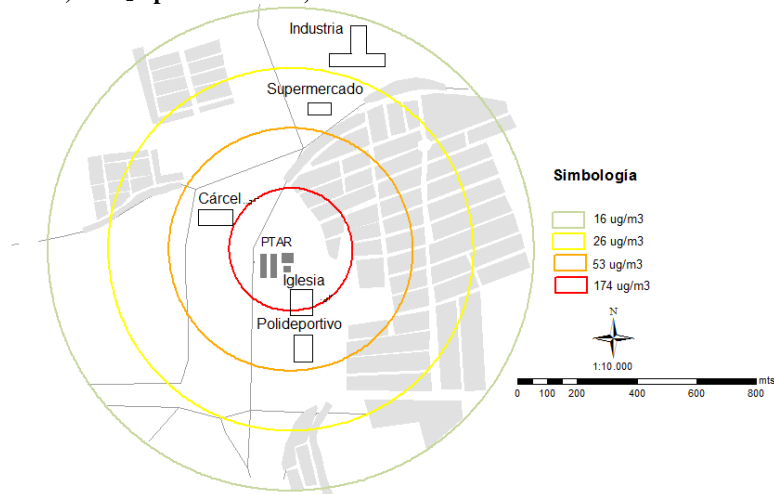




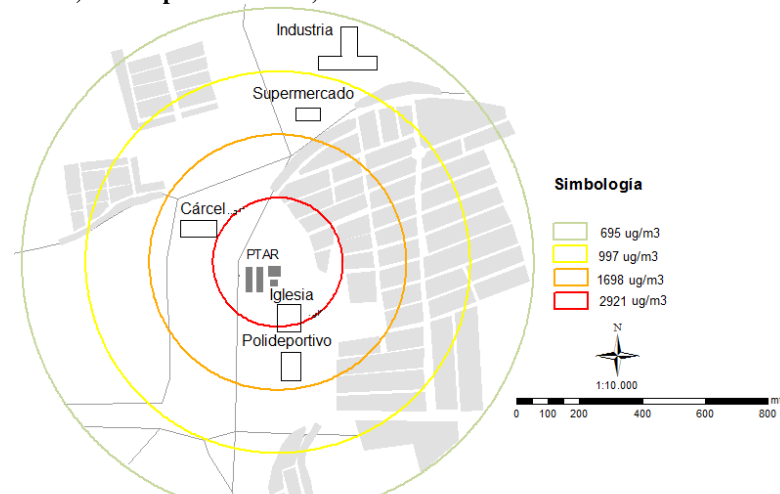
a) H<sub>2</sub>S para la clase B, 24 de Febrero del 2015



b) H<sub>2</sub>S para la clase F, 24 de Febrero del 2015.



c) H<sub>2</sub>S para la clase B, 10 de Diciembre del 2014.



d) H<sub>2</sub>S para la clase F, 10 de Diciembre del 2014.

Figura 4.16 Mapa de impacto de H<sub>2</sub>S para diferentes clases atmosféricas



## 5 CONCLUSIONES

- El odorante mayoritario en la matriz aire para el tamiz y el tanque de lodos es el H<sub>2</sub>S, mientras que en el sedimentador son los COVs. Para todas las unidades en la matriz agua los odorantes mayoritarios son COVs y el NH<sub>3</sub>. Con respecto a los olores en el tanque de lodos es donde hay mayor concentración de olores (35355 OU/m<sup>3</sup>).
- Las mayores emisiones de olores corresponden a las 12:00, 18:00 y 21:00 horas, las cuales coinciden con los valores picos de caudal y con las actividades humanas como el lavado de la ropa y la preparación de alimentos, así como el regreso al hogar después de la jornada laboral.
- El nivel de olor de la PTAR es bajo, ya que según un estudio realizado por (Capelli et al., 2009) indican que un nivel de olor es alto si sus emisiones son mayores a 10<sup>4</sup> OU/m<sup>3</sup> y mediante el uso de factores de emisión se determinaron que las concentraciones máximas obtenidas en el estudio son mayores a 30 x 10<sup>3</sup> OU/m<sup>3</sup>.
- El 76% de los encuestados indicaron que perciben los olores emitidos por la PTAR, cuyo radio de influencia es de 600 m. Además el 57% indicaron que los olores son fuertes, asimismo el 83% revela que el olor al cual se les asemeja es fecal, lo que indica que es posible encontrar presencia de compuestos nitrogenados como indol y escatol en el agua residual.
- Al comparar los resultados obtenidos por la estimación de olores el uso de factores de emisión y los resultados de la encuesta, se concluye que por ambos métodos las 18:00 es la hora la cual se perciben más los olores.
- La época lluviosa es la época en la cual la población perciben más los olores ya que hay mayor estabilidad atmosférica y la PTAR trabaja con mayor caudal debido a conexiones ilícitas del agua de lluvia a la red sanitaria (Lazo, 2012).
- En las encuestas las mujeres mostraron mayor percepción de olores lo cual indica que existe una correlación entre el sexo y la capacidad de percepción, lo cual se concluye con un 95% de confianza.

- Los olores y los odorantes se encuentran por debajo del umbral de detección para todas las clases de estabilidad, la causa principal es el bajo caudal másico obtenido debido a la metodología de muestreo elegida.
- Se presume que al modificar el caudal másico para los olores se obtiene que desde la isodora de 200 m hasta los 600 m los valores son superiores a 1 OU/s, por lo tanto bajo dichas condiciones los olores si sería percibidos, y sí se compara con la legislación no se cumpliría con los límites permisibles de olor establecidos por Holanda, Alemania, Australia y Nueva Zelenda.
- Es importante la realización de modelaciones de dispersión de contaminantes, ya que permite determinar el movimiento del contaminante y establecer las posibles repercusiones en la población.
- La realización de mediciones en emisión, la modelación y la determinación de la percepción comunal es importante con el fin de analizar cualitativa y cuantitativamente la problemática por olores en las PTARs.

## 6 RECOMENDACIONES

- Para los muestreos de una futura investigación, utilizar un túnel de viento para capturar los olores y odorantes, con el fin de evitar la concentración de los mismos y poder determinar el caudal másico así como obtener resultados fáciles de usar en la modelación de los mismos.
- Al ser los caudales picos una causa de la emisión de olores, se recomienda la disminución del mismo por medio del uso de aparatos de bajo consumo, educación ambiental con la comunidad y prácticas de reducción en el uso de agua. También regular técnicamente el funcionamiento de las estaciones de bombeo para amortiguar los caudales picos.
- Realizar análisis de mercaptanos (Metilmercaptano) y compuestos orgánicos volátiles individuales (como benceno, tolueno) ó azufre reducido total, con el fin de identificar y cuantificar el compuesto mayoritario y no la familia como total.
- Para futuras investigaciones es necesario incluir variables en la encuesta como hábitos de la población, tiempo de permanencia en los hogares y horas de llegada al hogar para establecer relaciones entre la percepción y los episodios de olor.
- Involucrar a la comunidad en el futuro, para la realización de campañas de percepción en inmisión, ya sea utilizando encuestas y dejándolas en la diversas casas, comercios, industrias, entre otros y mediante herramientas de análisis estadístico detectar las áreas más afectadas.
- Realizar inspecciones de campo, contando con un panel de olor previamente entrenado y conformado por miembros de la comunidad con el fin de identificar odorantes cuyo umbral de detección sea bajo en condiciones reales de la zona en estudio.
- Mejorar la gestión en el manejo de los lodos, ya que las prácticas actuales ocasionan problemas de generación de olores.
- Con el fin de contar con más información de campo es necesario tener datos meteorológicos actualizados (datos horarios como mínimo de 6 horas para las dos épocas del año, se recomienda mínimo un año para el análisis de estabildades

atmosféricas) y correspondientes a la zona de influencia , para la utilización de otros modelos de dispersión como el Calpuff que requieren datos meteorológicos en tres dimensiones (radiosondeos) y realizar comparaciones entre los diferentes modelos para ver cual se ajusta más a la realidad de la zona de estudio.

- A nivel país de acuerdo a la investigación realizada no existe estudios con relación a la modelación de la dispersión de olores ni de la contaminación odorífica por lo tanto es importante contar con una línea de investigación para darle seguimiento a esta problemática existente en las PTARs.
- Es importante que el país inicie gestiones para contar con una legislación que controle la emisión e inmisión de compuestos odorantes y olores en PTARs así como en industrias con actividades potenciales para la generación de los mismos como lo son fábricas de alimentos para animales; planteles y establos de crianza y engorde de animales; curtiembres; fabricación de productos lácteos; pesqueras y procesamiento de productos del mar; refinerías de petróleo; rellenos sanitarios; entre otros.

## 7 REFERENCIAS

- Amón , R. (18 de Abril de 2015). Especificaciones del muestreo de olores y odorantes PTAR de El Roble de Puntarenas. San Francisco de Dos Ríos , San José, Costa Rica.
- Arriagada Monreal, A. (2008). *TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE OLORES EN AGUAS SERVIDAS*. Universidad de Chile.
- Arshak, K., Moore, E., Lyons, G. M., Harris, J., & Clifford, S. (2004). A review of gas sensors employed in electronic nose applications. *Sensor Review*, 24(2), 181–198. doi:10.1108/02602280410525977
- Arzate Echeverría, C. I. (2004). *Realización de software educativo para simular la dispersión de contaminantes atmosféricos*. Universidad de las Américas Puebla. Retrieved from [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leip/arzate\\_e\\_ci/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/arzate_e_ci/capitulo5.pdf)
- Barclay, J., Diaz, C., & Cartelle, D. (2014). Revision of Regulatory Dispersion Models, an Important Key in Environmental Odour Management. In C. Diaz (Ed.), (Vol. 3). Santiago de Chile. Retrieved from [http://www.olores.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=359&lang=es](http://www.olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=359&lang=es)
- Barrera Curihuentro, M. (2010). *APLICACIÓN DEL MODELO ISC- AERMOD PARA LA ESTIMACIÓN DE DISPERSIÓN DE OLORES. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS LA FARFANA*. Universidad de Chile, Santiago.
- Bolaños Retana, A., Dall´Anesse Ruíz, E., & Marín Vargas, F. (2010). Derecho Ambiental: Contaminación por olores en Costa Rica y el derecho a un ambiente sano. Retrieved from <http://secretaria-general-uci.blogspot.com/2010/01/derecho-ambiental-contaminacion-por.html>
- Brandt, R. (2011). FIELD OLFACTOMETRY ODOR MEASUREMENT. Pensilvania.
- Busini, V., Capelli, L., Sironi, S., Nano, G., Rossi, N., & Bonati, S. (2012). Comparison of CALPUFF and AERMOD Models for Odour Dispersion Simulation, 30, 205–210.
- Calidad del aire. (10 de Febrero de 2015). *Ayuntamiento de Madrid*. Obtenido de <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calair/ContaAtmosferica/portadilla.html>

- Capelli, L., Sironi, S., & Del Rosso, R. (2013). Odor sampling: techniques and strategies for the estimation of odor emission rates from different source types. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 13(1), 938–55. doi:10.3390/s130100938
- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., & Céntola, P. (2009). Predicting odour emissions from wastewater treatment plants by means of odour emission factors. *Water Research*, 43(7), 1977–85. doi:10.1016/j.watres.2009.01.022
- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., Céntola, P., Rossi, A., & Austeri, C. (2011). Olfactometric approach for the evaluation of citizens' exposure to industrial emissions in the city of Terni, Italy. *The Science of the Total Environment*, 409(3), 595–603. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.10.054
- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., & Guillot, J.-M. (2013). Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review. *Atmospheric Environment*, 79, 731–743. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.07.029
- Carrera-Chapela, F., Donoso-Bravo, A., Souto, J. a., & Ruiz-Filippi, G. (2014). Modeling the Odor Generation in WWTP: An Integrated Approach Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(6), 1932. doi:10.1007/s11270-014-1932-y
- Chapela, F. C. (Pontificia U. C. de V. (2013). *Generación y modelación de olores en PTAS*. Valparaíso.
- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua . (15 de Abril de 2015). *Universidad de Salamanca*. Obtenido de Aula Virtual: [http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/Demos/Simulacion/modulos/curso/uni\\_03/u3c3s6.htm#Anchor4](http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/Demos/Simulacion/modulos/curso/uni_03/u3c3s6.htm#Anchor4)
- División de Calidad del Aire, Ministerio del Medio Ambiente. (Setiembre de 2013). *Sistema Nacional de Información Ambiental de Chile*. Obtenido de [http://www.sinia.cl/1292/articles55384\\_EstrategiaGestionOlores2014\\_2017\\_final.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles55384_EstrategiaGestionOlores2014_2017_final.pdf)
- EPA. (1997). Preferred and a Lternative Methods for Estimating Air Emissions From Wastewater Collection and Treatment, II, 5.B.26–5.B.31.
- EPA. (15 de Marzo de 2015). *U.S Enviromental Protection Agency*. Obtenido de Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>



- Fallas, F. R. (2012). “ Gestión de la s Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica ” Situación Actual y Perspectiva. San José: Foro Centroamericano y Republica Dominicana de Agua Potable y Saneamiento.
- Funtes Vivanco, W. (12 de Junio de 2014). Obtenido de Caracterización de Aguas Residuales: <http://es.slideshare.net/Casskiss/caracterizacion-de-aguas-residuales>
- Gestión de la calidad del Aire. (15 de Abril de 2015). Obtenido de Transporte y Dispersión de Contaminantes: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/geologia/gestion\\_calidad/Cap07.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/geologia/gestion_calidad/Cap07.pdf)
- Gostelow, P., Parsons, S. A., & Stuetz, R. M. (2001). REVIEW PAPER ODOUR MEASUREMENTS FOR SEWAGE TREATMENT, *35*(3), 579–597.
- Guarriello, N. S. (2009). *DETERMINING EMISSIONS FROM LANDFILLS AND AND CREATING ODOR BUFFER DISTANCES*. University of Central Florida. Retrieved from [http://etd.fcla.edu/CF/CFE0002527/Guarriello\\_Nicholas\\_S\\_200905\\_MS.pdf](http://etd.fcla.edu/CF/CFE0002527/Guarriello_Nicholas_S_200905_MS.pdf)
- Haddad, R., Medhanie, A., Roth, Y., Harel, D., & Sobel, N. (2010). Predicting odor pleasantness with an electronic nose. *PLoS Computational Biology*, *6*(4), e1000740. doi:10.1371/journal.pcbi.1000740
- Herrera Murillo, J. (2014). FUNDAMENTOS DE METEOROLOGIA APLICADOS A LA CONTAMINACION DEL AIRE. Heredia: Universidad Nacional de Costa Rica. Retrieved from [http://www.edeca.una.ac.cr/files/presentacion\\_meteorologia\\_y\\_calidad\\_del\\_aire.pdf](http://www.edeca.una.ac.cr/files/presentacion_meteorologia_y_calidad_del_aire.pdf)
- Hudon, G., Guy, C., & Hermia, J. (2000). Measurement of Odor Intensity by an Electronic Nose. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *50*(10), 1750–1758. doi:10.1080/10473289.2000.10464202
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático . (15 de Abril de 2015). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático* . Obtenido de Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental : [http://sinaica.inecc.gob.mx/rosa\\_de\\_viento.html](http://sinaica.inecc.gob.mx/rosa_de_viento.html)
- Kreuk, M. (2013). CTB3365x Introduction to Water Treatment. *Biological Treatment*. Países Bajos. Retrieved from [https://courses.edx.org/courses/DelftX/CTB3365x/2013\\_Fall/courseware/4f76e0aec3b54abca0533dc488fbbdbe/c4c2adfb41b44516b3c3f986c176d49e/](https://courses.edx.org/courses/DelftX/CTB3365x/2013_Fall/courseware/4f76e0aec3b54abca0533dc488fbbdbe/c4c2adfb41b44516b3c3f986c176d49e/)

- Lastarria, J. (2013). ESTUDIO: ANTECEDENTES PARA LA REGULACIÓN DE OLORES EN CHILE. Santiago de Chile: Subsecretaria del medio ambiente. Retrieved from [http://www.sinia.cl/1292/articles-55386\\_InformeFinal2013ECOTEC.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-55386_InformeFinal2013ECOTEC.pdf)
- Latos, M., Karageorgos, P., Kalogerakis, N., & Lazaridis, M. (2010a). Dispersion of Odorous Gaseous Compounds Emitted from Wastewater Treatment Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 215(1-4), 667–677. doi:10.1007/s11270-010-0508-8
- Latos, M., Karageorgos, P., Kalogerakis, N., & Lazaridis, M. (2010b). Dispersion of Odorous Gaseous Compounds Emitted from Wastewater Treatment Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 215(1-4), 667–677. doi:10.1007/s11270-010-0508-8
- Lazo, A. (2012). *Evaluación Operativa y Oportunidades de Mejora Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Roble de Puntarenas*. San José.
- Ley Orgánica del Ambiente. (1995). *No 7554. Ley Orgánica del Ambiente*. San José: Asamblea Legislativa.
- Lebrero, R., Bouchy, L., Stuetz, R., & Muñoz, R. (2011). Odor Assessment and Management in Wastewater Treatment Plants: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(10), 915–950. doi:10.1080/10643380903300000
- Lehtinen, J., & Veijanen, A. (2010). Odour Monitoring by Combined TD–GC–MS–Sniff Technique and Dynamic Olfactometry at the Wastewater Treatment Plant of Low H<sub>2</sub>S Concentration. *Water, Air, & Soil Pollution*, 218(1-4), 185–196. doi:10.1007/s11270-010-0634-3
- USEPA. (25 de Octubre de 2014). *U.S Environmental Protection Agency*. Obtenido de Preferred/Recommended Models: [http://www.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm)
- Madriz Medeiros, D. (2011). *Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Metcalf & Eddy, I. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*

---

6. (Tercera). México: McGraw-Hill.

- Muñoz, R., Sivret, E. C., Parcsi, G., Lebrero, R., Wang, X., Suffet, I. H. M., & Stuetz, R. M. (2010). Monitoring techniques for odour abatement assessment. *Water Research*, 44(18), 5129–49. doi:10.1016/j.watres.2010.06.013
- Nacional, I. M. (2014, April). Solicitud de datos meteorológicos. Estación 78027. San José. doi:10.1007/s10973-006-3070-2
- NarjouxAdeline. (2007). Metrology of odors – Olfactometry vs chemical analysis. Retrieved from [http://www.odotech.com/pdf/misc/Odotech\\_TechnicalNote\\_chimicalvsolfacto.pdf](http://www.odotech.com/pdf/misc/Odotech_TechnicalNote_chimicalvsolfacto.pdf)
- NOAA. (3 de Febrero de 2015). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Obtenido de Introducción a las nubes : [http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/Cloudchart\\_ESP.pdf](http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/Cloudchart_ESP.pdf)
- Pagé, T., Castro, J. M. De, & Porter, R. (2014). Everett/Marysville Regional Odor Monitoring Project. Retrieved from [http://www.olors.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=368:everett-marysville-regional-odor-monitoring-project&catid=80&Itemid=422&lang=en](http://www.olors.org/index.php?option=com_content&view=article&id=368:everett-marysville-regional-odor-monitoring-project&catid=80&Itemid=422&lang=en)
- Pública), (Dirección General de Salud de. (2007). RIESGO QUÍMICO - ACCIDENTES GRAVES, 1–17.
- Sancha, A. (2004). COMPORTAMIENTO DE CONTAMINANTES EN MEDIO ACUATICO. Retrieved from [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HVij4aN00QAJ:https://www.u-cursos.cl/diplomados/2004/2/DMA24/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=41637+&cd=2&hl=es&ct=clnk](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HVij4aN00QAJ:https://www.u-cursos.cl/diplomados/2004/2/DMA24/1/material_docente/bajar?id_material=41637+&cd=2&hl=es&ct=clnk)
- Sánchez, E. (2002). Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales En America Latina: Realidad y Potencial. San José. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/puntarenas.pdf>
- Sironi, S., Capelli, L., Céntola, P., Del Rosso, R., & Pierucci, S. (2010). Odour impact assessment by means of dynamic olfactometry, dispersion modelling and social participation. *Atmospheric Environment*, 44(3), 354–360. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.10.029
- Souto, J. (2011). Dispersión atmosférica. *Dispersión Atmosférica*. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- Stellacci, P., Liberti, L., Notarnicola, M., & Haas, C. N. (2010). Hygienic sustainability of site location of wastewater treatment plants. *Desalination*, 253(1-3), 51–56. doi:10.1016/j.desal.2009.11.034

- Stuetz, R., & Frechen, F.-B. (2001). *Odours in Wastewater Treatment*. London: IWA.
- Valencia, J., Espinosa, A., Parra, A., & Peña, M. (2011). Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos. *Rev. Salud ...*, 13(6), 930–941. Retrieved from <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v13n6/v13n6a06.pdf>
- Vergara, H., & Zorich, V. (2013). Experiencias en la aplicación de la Normativa Alemana VDI 3880:2011, en muestreos de olores en Chile. Santiago de Chile. Retrieved from [http://www.olores.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=276&lang=es](http://www.olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=276&lang=es)
- Vieira de Melo, A. M., Santos, J. M., Mavroidis, I., & Reis Junior, N. C. (2012a). Modelling of odour dispersion around a pig farm building complex using AERMOD and CALPUFF. Comparison with wind tunnel results. *Building and Environment*, 56, 8–20. doi:10.1016/j.buildenv.2012.02.017
- Vieira de Melo, A. M., Santos, J. M., Mavroidis, I., & Reis Junior, N. C. (2012b). Modelling of odour dispersion around a pig farm building complex using AERMOD and CALPUFF. Comparison with wind tunnel results. *Building and Environment*, 56, 8–20. doi:10.1016/j.buildenv.2012.02.017
- World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe. (2000). Air Quality Guidelines - Second Editions. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 3(2), Chapter 6.6 Hydrogen Sulfide. doi:10.1152/jappphysiol.01064.2010

## **APÉNDICES**



## APÉNDICE 1: TIEMPO DE RETENCIÓN EN LAS UNIDADES

Para la determinación del tiempo de retención se utilizaron los valores de caudales diarios de la PTAR del 20 al 27 de Agosto del 2014 (Cuadro A.2.2), para las lagunas y el tanque de lodos se utiliza el caudal de purga el cual es de 12 l/s.

$$tr (h) = \frac{\text{volumen del reactor } \frac{m^3}{h}}{\text{caudal de entrada } \frac{m^3}{h}}$$

Ejemplo de calculo para los sedimentadores primarios

$$tr (h) = \frac{609 \frac{m^3}{h}}{253 \frac{m^3}{h}} = 2,4$$

**Cuadro A.1.1 Tiempos de retención de diferentes unidades de la PTAR adaptado de Lazo (2012)**

Unidad	Dimensiones			Área superficial	Volumen	TR he	
	Largo m	Ancho m	Profundidad m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Real	Teórico
Sedimentadores primarios	19,4 <sup>1</sup>	5,8 <sup>1</sup>	4,3 <sup>1</sup>	209 <sup>2</sup>	690 <sup>2</sup>	2,4	1,5 a 2,5 <sup>1</sup>
Tanque de aireación	24 <sup>1</sup>	5,8 <sup>1</sup>	3,25 <sup>1</sup>	278 <sup>2</sup>	905 <sup>2</sup>	3,6	6 a 8 <sup>1</sup>
Sedimentadores secundarios	8 <sup>3</sup>	3 <sup>3</sup>	4,3 <sup>3</sup>	290 <sup>2</sup>	965	3,8	1,5 a 2,5 <sup>1</sup>
Lagunas	78 <sup>1</sup>	27 <sup>1</sup>	1,75 <sup>1</sup>	2106	3686	86	≥72 <sup>1</sup>
Tamiz	2,3	1,9	2,04	4,37	8,91	0,03	
Tanque de lodos	7,5	5,2	2,1	39	82	1,9	

1 para cada módulo 2 los dos módulos 3 cada tolva de sedimentación

**Cuadro A.1.2 Caudal diario de la PTAR del 20 al 27 de Agosto del 2014.**

Caudal l/s	Promedio diario l/s	Máximo l/s	Mínimo l/s
20/8/2014	77,6	233,7	0,20
21/8/2014	70,8	189,3	0,00
22/8/2014	73,5	220,8	0,10
23/8/2014	68,6	210,6	0,00
24/8/2014	58,2	154,9	0,00
25/8/2014	72,3	236,6	0,00
26/8/2014	72,4	187,6	0,10
27/8/2014	68,0	213,8	0,00
Promedio l/s	70,2	206,0	0,05
Promedio m <sup>3</sup> /h	253	742,0	0,18

## APÉNDICE 2: PERCEPCIÓN DE UNIDADES

Encuesta de percepción de unidad generadora de olor

Nombre completo: \_\_\_\_\_

**Descripción:** La presente encuesta busca conocer la percepción de la unidad generadora de más olor en la PTAR de El Roble de Puntarenas.

**Instrucciones:** Enumerar del número uno al siete de acuerdo a la unidad en la cual usted percibe menos los olores, donde uno es la unidad que genera menos olor.


**Cuadro A.1 Clasificación de unidades de acuerdo a la percepción humana.**

Unidad	Numeración	Posible causa
Cámara de entrada		
Tamiz		
Sedimentadores primarios		
Tanques de aireación		
Sedimentadores secundarios		
Lagunas		
Tanque de lodos		






## APÉNDICE 3: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

**Cuadro A.3.1 Descripción de las unidades de la PTAR**

Unidad	Figura	Descripción
Cámara de entrada	 <p data-bbox="542 701 828 730"><b>Figura A.3.0.1 Cámara de entrada</b></p>	<p data-bbox="873 443 1380 600">Es el punto de unión de las aguas procedentes de las estaciones de bombeo, no brinda amortiguamiento de caudal. La unidad es abierta a la atmósfera como se muestra en la figura A.3.1</p>
Tamiz Hidrodinámico	 <p data-bbox="613 583 821 613"><b>Figura A.3.2 Tamiz Hidrodinámico</b></p>	<p data-bbox="873 737 1386 936">Esta unidad se encarga de retirar los sólidos gruesos (&gt; 5cm) y medianos (&gt;2.5 cm), no se cuenta con sistema de tratamiento de olores y las unidades son abiertas a la atmósfera lo cual se evidencia en la figura A.3.2.</p> <p data-bbox="873 953 1386 1152">Los residuos son almacenados en un recipiente y luego son dispuestos en un terreno aledaño a la PTAR sin ningún tratamiento previo, lo cual favorece a la generación de olores y la presencia de rodeadores.</p> <p data-bbox="873 1169 1386 1369">Según Arriagada (2008) los residuos recolectados durante el tratamiento primario emiten olores debido al contenido de MO y al agua que provocan la descomposición de los mismos (Arriagada Monreal, 2008)</p>
Sedimentadores primarios	 <p data-bbox="1170 575 1378 604"><b>Figura A.3.3 Sedimentador primario</b></p>	<p data-bbox="873 1472 1386 1671">Son dos módulos que trabajan en paralelo, los lodos primarios son impulsados hasta un tanque de lodos, la unidad es abierta a la atmósfera y no cuenta con algún sistema de tratamiento de olores (figura A.3.3).</p>

Unidad	Figura	Descripción
Tanque de lodos	 <p data-bbox="427 961 837 1014"><b>Figura A.3.4 Aplicación del EM en el tanque de lodos primarios.</b></p>	<p data-bbox="846 342 1385 1014">Es un tanque cerrado y aquí se da la aplicación del producto EM (Microorganismos eficientes) esta es la alternativa utilizada por el AYA desde 2012 para mitigar los olores y para la proliferación de vectores, es aplicado una vez a la semana en la matriz agua como se observa en la figura A.3.4, este producto es un acelerador en la fermentación de la MO mediante un conjunto de bacterias lácticas (<i>Lactobacillus spp.</i>), bacterias fototróficas (<i>Rhodopseudomonas spp.</i>) y Levaduras (<i>Saccharomycetes spp.</i>) (EMPROTEC, 2014)</p>
Reactor biológico aerobio	 <p data-bbox="427 1350 837 1371"><b>Figura A3.3 Tanques de aireación</b></p>	<p data-bbox="846 1024 1385 1371">Es un sistema de lodos activados de aireación extendida, ésta compuesto por dos unidades en paralelo, el suministro de aire se da mediante discos difusores (96 en cada unidad), se da el retorno de lodos a dicha unidad. Como se muestra en la figura A.3.5 las unidades son abiertas a la atmósfera y no se cuenta con un sistema de tratamiento de olores.</p>
Sedimentadores secundarios	 <p data-bbox="427 1686 837 1728"><b>Figura A 3.4 Sedimentadores secundarios</b></p>	<p data-bbox="846 1381 1385 1728">Son dos módulos que trabajan en paralelo, se encargan de sedimentar los sólidos biológicos formados en el reactor. No se cuenta con tratamiento de olores (figura A.3.6). Los lodos secundarios son enviados a las lagunas para su tratamiento.</p>

Continuación del cuadro A.3.1

Unidad	Figura	Descripción
Lagunas de lodos		<p>Se cuenta con dos lagunas de estabilización para el tratamiento de lodos, una funciona como laguna facultativa y la otra como lecho de secado, el efluente de estas unidades es recirculado al sedimentador primario. Los lodos son removidos dos veces al año con un cargador retroscavador y son dispuestos en un terreno aledaño a la PTAR. El efluente de esta unidad es recirculado hasta los sedimentadores primarios según Arriaga (2008), esta práctica aumenta la emisión de olores desde el clarificador ya que la biomasa activa causa un rápido decaimiento del oxígeno disuelto con la adicional generación de sulfuro No hay tratamiento de olores y las unidades son abiertas a la atmósfera (figura A.3.7).</p>
		
		
<p><b>Figura A.3.5 Tratamiento de lodos</b></p>		

**Cuadro A.3.2 Composición promedio en (mg/l) del agua residual de la PTAR del año 2007 al 2013.**

Parámetro	Entrada	Salida	% Eficiencia
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	488± 128	142± 94	71
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	270± 79	48± 34	82
Nitrógeno Orgánico	13±7	7±5	46
N-NH <sub>3</sub>	27± 12	17± 14	38
Nitrógeno Total	39± 17	24± 18	39
Fósforo	7± 5	3± 2	51
TSS	180± 46	53± 31	70

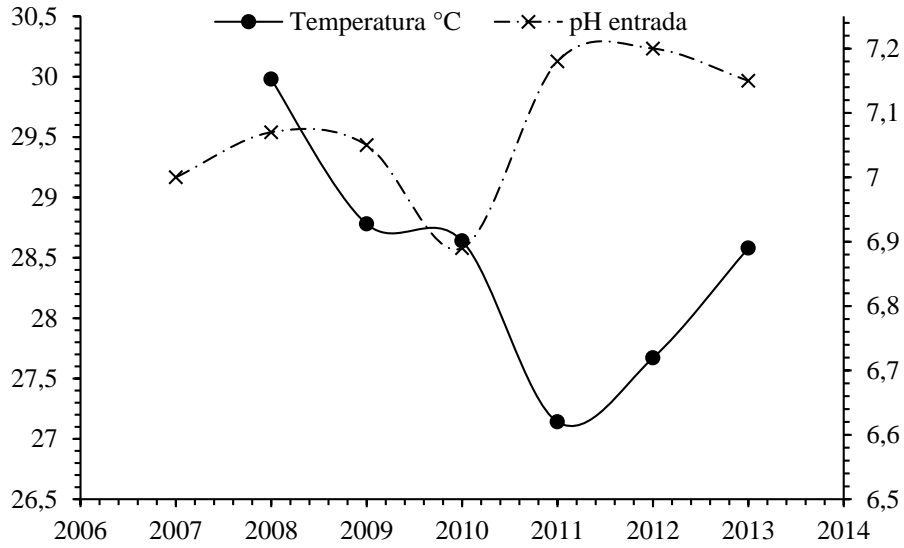


Figura A.3.6 Valores históricos de pH en el influente y temperatura en °C

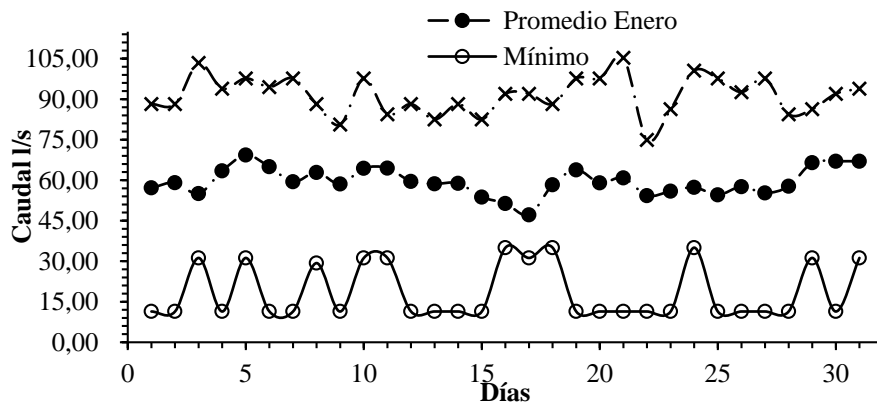


Figura A. 3.7 Valores de caudal para enero 2013

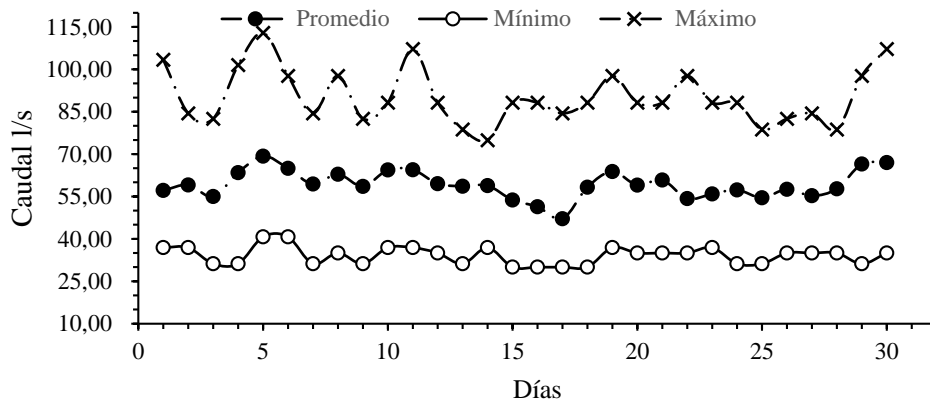


Figura A.3.8 Valores de caudal (l/s) para Junio 2013

## APÉNDICE 4: PUNTOS DE MUESTREO



P1: Tamiz

P2: Salida sedimentador

P3: Entrada a la laguna

Primario

**Figura A.4.1 Puntos de muestreo**

## APÉNDICE 5: ENCUESTA DE PERCEPCIÓN DE OLORES

Encuesta de percepción de olores en la Planta de Tratamiento de El Roble de Puntarenas

**Fecha de aplicación de la encuesta:** \_\_\_\_\_ **Nomenclatura:** \_\_\_\_\_  
**Femenino** ( ) **Edad:** \_\_\_\_\_  
**Masculino** ( ) **Tiempo de vivir en el Roble:** \_\_\_\_\_  
**Distancia a la PTAR del el Roble:** \_\_\_\_\_

**Descripción:** La presente encuesta busca conocer la percepción de la población de El Roble de Puntarenas sobre la temática de malos olores provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales.

1) **¿Siente usted los olores provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?**

a. Si  b. No  c. No se

Si su respuesta es positiva continuar con la pregunta 2, si es negativa o no se fin de la encuesta.

2) **Los olores provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales son:**

a. Muy Fuertes  b. Fuertes  c. Débiles

3) **A que olor se le asemejan: (respuesta múltiple)**

a. Huevo podrido  b. Vegetales podridos  c. Pescado podrido   
d. Fecal  e. Picante/Irritante  f. Ajo   
g. Ninguno de los anteriores  h. Otros: \_\_\_\_\_

4) **¿A qué hora ha percibido más los olores?**

a. 0:00-3:00 am  b. 3:00-6:00 am  c. 6:00-9:00 am  d. 9:00-12:00 pm   
e. 12:00-3:00 pm  f. 3:00-6:00 pm  g. 6:00-9:00 pm  h. 9:00-11:00 pm

5) **¿Cuándo son más fuertes los olores?**

a. Invierno  b. Verano

## APÉNDICE 6: CUANTIFICACION DE CASAS A ENCUESTAR POR SECTOR

**Cuadro A.6.1** Cuantificación de casas a encuestar por sector

Sector	Conteo de casas	Wi	Número de casas a muestrear por sector
A	12	0,01	2
B	15	0,01	2
C	21	0,01	3
D	37	0,02	6
E	51	0,03	8
F	37	0,02	6
G	38	0,02	6
H	15	0,01	2
I	24	0,01	4
J	25	0,01	4
K	21	0,01	3
L	20	0,01	3
M	43	0,02	7
N	28	0,01	4
O	26	0,01	4
P	32	0,02	5
Q	26	0,01	4
R	13	0,01	2
S	26	0,01	4
T	15	0,01	2
U	26	0,01	4
V	41	0,02	7
W	44	0,02	7
X	45	0,02	7
Y	34	0,02	5
Z	25	0,01	4
AA	26	0,01	4
AB	35	0,02	6
AC	54	0,03	9
AD	54	0,03	9
AE	33	0,02	5
AF	8	0,00	1
AG	34	0,02	5
AH	25	0,01	4
AI	41	0,02	7
AJ	34	0,02	5
AK	29	0,01	5
AL	35	0,02	6
AM	62	0,03	10
AN	54	0,03	9
AO	33	0,02	5
AP	37	0,02	6

Continuacion del cuadro A.6.1

<b>Sector</b>	<b>Conteo de casas</b>	<b>Wi</b>	<b>Número de casas a muestrear por sector</b>
AQ	77	0,04	12
AR	50	0,02	8
AS	59	0,03	9
AT	18	0,01	3
AU	41	0,02	7
AV	43	0,02	7
AW	36	0,02	6
AX	13	0,01	2
AY	17	0,01	3
AZ	18	0,01	3
BA	12	0,01	2
BB	21	0,01	3
BC	21	0,01	3
BD	11	0,01	2
BE	8	0,00	1
BF	8	0,00	1
BG	14	0,01	2
BH	7	0,00	1
BI	26	0,01	4
BJ	12	0,01	2
BK	17	0,01	3
BL	24	0,01	4
BM	18	0,01	3
BN	17	0,01	3
BO	20	0,01	3
BP	3	0,00	0
BQ	10	0,00	2
BR	23	0,01	4
BS	27	0,01	4
BT	9	0,00	1
<b>TOTAL</b>	<b>2014</b>	<b>1,00</b>	<b>323</b>



## APÉNDICE 7: DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA LAS DIFERENTES ESTABILIDADES

**Cuadro A.7.1 Desviación estándar para la concentración horizontal y vertical, para las diferentes estabilidades**

Estabilidad Distancia X (m)	A		B		C		D		E		F	
	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
<b>10</b>	3,25132206	3,33260511 6	2,607969456	2,390638668	2,60796946	2,17330788	1,92819068	1,32563109	1,70357671	0,8792654	1,58987029	0,3077168
<b>100</b>	26,4277379	27,0884313 7	18,89306857	17,31864619	18,8930686	15,7442238	11,6184978	7,9877172	9,36185033	4,83192275	8,15383077	1,5781608
<b>200</b>	49,658922	50,9003950 2	34,29164326	31,43400632	34,2916433	28,5763694	19,9504812	13,7159558	15,6359362	8,07016064	13,33807	2,5815619
<b>300</b>	71,819162	73,6146410 1	48,59893809	44,54902658	48,5989381	40,4991151	27,3718756	18,8181645	21,1072387	10,8940587	17,7876176	3,4427647
<b>400</b>	93,3113738	95,6441581 3	62,24064625	57,05392573	62,2406462	51,8672052	34,2575872	23,5520912	26,1147629	13,4785873	21,8184697	4,2229296
<b>500</b>	114,320126	117,178129 4	75,40787535	69,12388573	75,4078753	62,8398961	40,7705511	28,0297539	30,8034597	15,8985598	25,5640935	4,9478890
<b>600</b>	134,951473	138,325259 8	88,20893449	80,85818995	88,2089345	73,5074454	47,0010926	32,3132512	35,2528002	18,1949936	29,0970581	5,6316886
<b>700</b>	155,274167	159,156021 1	100,7132974	92,32052261	100,713297	83,9277478	53,006173	36,4417439	39,5124759	20,3935359	32,4624506	6,2830549
<b>800</b>	175,336317	179,719724 8	112,9691574	103,555061	112,969157	94,1409645	58,8247606	40,4420229	43,6162461	22,5116109	35,6907426	6,9078856
<b>900</b>	195,173421	200,052756 7	125,0118145	114,5941633	125,011815	104,176512	64,4850641	44,3334815	47,5884052	24,5617575	38,8037659	7,5104063
<b>800</b>	175,336317	179,719724 8	112,9691574	103,555061	112,969157	94,1409645	58,8247606	40,4420229	43,6162461	22,5116109	35,6907426	6,9078856
<b>900</b>	195,173421	200,052756 7	125,0118145	114,5941633	125,011815	104,176512	64,4850641	44,3334815	47,5884052	24,5617575	38,8037659	7,5104063
<b>1000</b>	214,812719	220,183036 5	136,8681827	125,4625008	136,868183	114,056819	70,008372	48,1307557	51,4471941	26,5533905	41,8178494	8,0937773
<b>1100</b>	234,275749	240,132642 6	148,5594251	136,179473	148,559425	123,799521	75,4112731	51,8452503	55,2067627	28,493813	44,7456169	8,6604419
<b>1200</b>	253,579958	259,919456 7	160,1025954	146,7607125	160,102595	133,41883	80,7070271	55,4860812	58,8783751	30,3888388	47,5970875	9,2123395
<b>1300</b>	272,739752	279,558246 2	171,5117127	157,21907	171,511713	142,926427	85,9064541	59,0606872	62,4711894	32,2431945	50,3803841	9,7510420
<b>1400</b>	291,767224	299,061404 9	182,7984932	167,5652854	182,798493	152,332078	91,0185361	62,5752436	65,9927825	34,060791	53,1022104	10,277847

Apéndice 9. Flujo de succión Cuadro A.9.1 Cuantificación de casas a encuestar por sector.

Punto de muestreo	Sedimentador	Tanque de lodos	Tamiz
Flujo de succión ml/min	78	63	73
Flujo de succión m <sup>3</sup> /s	0,0000013	0,00000105	1,21667E-06

APÉNDICE 10: ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

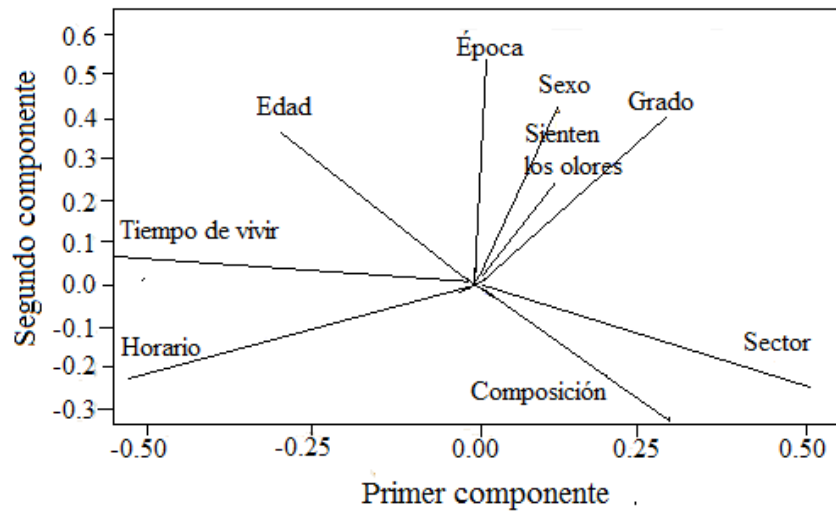


Figura A.10.1 Análisis del componente principal.

## APÉNDICE 11: PRUEBA DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS ENTRE PROPORCIONES

### Planteamiento de hipótesis:

- Hipótesis nula: proporción de mujeres ( $P_M$ ) que siente los olores es igual a la proporción de hombres ( $P_H$ ) que sienten los olores  $H_0: P_M = P_H$
- Hipótesis alternativa: proporción de mujeres que siente los olores es diferente a la proporción de hombres que sienten los olores  $H_1: P_M \neq P_H$

	Mujer	Hombre	Observado
P	0,5	0,24	0,26
X (Cantidad de mujeres y hombres que sienten los olores)	87	20	
N (cantidad de mujeres y hombres)	174	82	

$$\hat{p} = \frac{X_M + X_H}{N_M + N_H}$$

$$\hat{p} = \frac{87 + 20}{174 + 82} = \frac{107}{256} = 0,418 \text{ (éxito)}$$

$$\hat{q} = 1 - 0,418 = 0,582 \text{ (fracaso)}$$

$$-1,96 = \frac{d_{c2}}{\sqrt{\frac{\hat{p} \times \hat{q}}{N_M} + \frac{\hat{p} \times \hat{q}}{N_H}}}$$

$$d_{c2} = \frac{-1,96}{\sqrt{\frac{0,418 \times 0,582}{174} + \frac{0,418 \times 0,582}{82}}} = -0,1294$$

$$d_{c1} = \frac{1,96}{\sqrt{\frac{0,418 \times 0,582}{174} + \frac{0,418 \times 0,582}{82}}} = 0,1294$$

$$\text{Intervalo de aceptación} = [-0,1294, 0,1294]$$

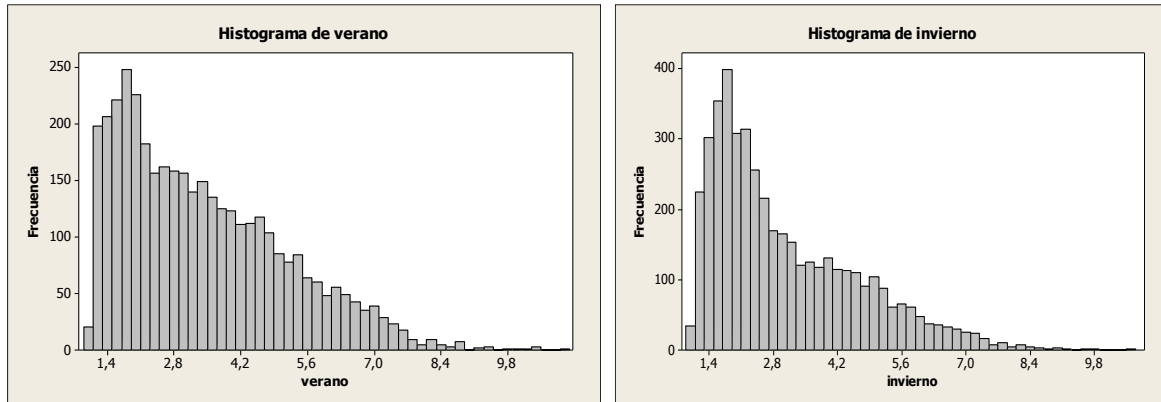
Como observado (0,26) se encuentra fuera del intervalo de aceptación se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa con un 95% de confianza.

Existe diferencia significativa entre los secos para sentir los olores estos se afirma a un 95% de confianza.

## APÉNDICE 12: PRUEBA DE HIPOTESIS PARA VELOCIDAD Y DIRRECCION DEL VIENTO.

Velocidad del viento

Normalidad de los datos



Verano

Invierno

Planteamiento de hipótesis:

$$H_0: \text{Velocidad}_{\text{invierno}} = \text{Velocidad}_{\text{verano}}$$

$$H_1: \text{Velocidad}_{\text{invierno}} \neq \text{Velocidad}_{\text{verano}}$$

**Prueba de Mann-Whitney e IC: verano. invierno**

	N	Mediana
verano	3811	3,0000
invierno	4484	2,5000

La estimación del punto para ETA1-ETA2 es 0,3000

95,0 El porcentaje IC para ETA1-ETA2 es (0,2000.0,4000)

W = 16814969,5

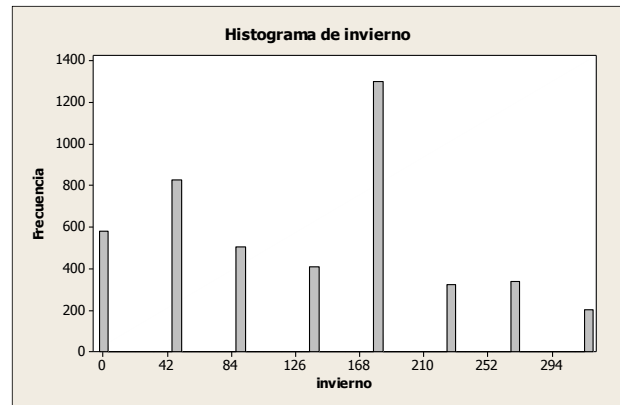
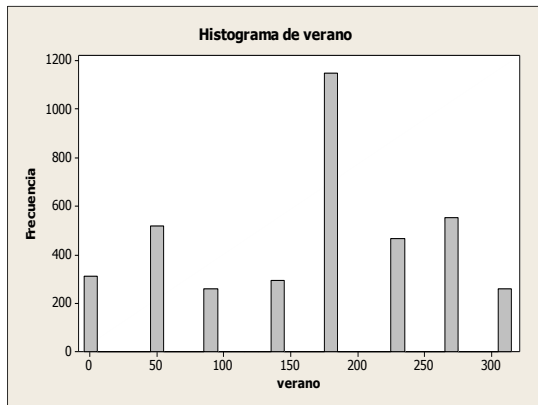
Prueba de ETA1 = ETA2 vs. ETA1 no es = ETA2 es significativa en 0,0000

La prueba es significativa en 0,0000 (ajustado por empates)

Conclusión:  $p < 0.05$  se acepta la hipótesis alternativa, existe diferencias entre los datos de velocidad del viento en invierno y verano

Dirección del viento

Normalidad de los datos



Verano

Invierno

Planteamiento de hipótesis:

$$H_0: \text{Dirección}_{\text{invierno}} = \text{Dirección}_{\text{verano}}$$

$$H_1: \text{Dirección}_{\text{invierno}} \neq \text{Dirección}_{\text{verano}}$$

**Prueba de Mann-Whitney e IC: verano. invierno**

	N	Mediana
verano	3811	180,00
invierno	4484	135,00

La estimación del punto para ETA1-ETA2 es 45,00

95,0 El porcentaje IC para ETA1-ETA2 es (45,00.45,00)

W = 17505232,5

Prueba de ETA1 = ETA2 vs. ETA1 no es = ETA2 es significativa en 0,0000

La prueba es significativa en 0,0000 (ajustado por empates)

Conclusión:  $p < 0.05$  se acepta la hipótesis alternativa, existe diferencias entre los datos de dirección del viento en invierno y verano.

## APÉNDICE 13: VALORES DE CONCENTRACIÓN AL VARIAR EL FLUJO DE SUCCIÓN

**Cuadro 0.1 Estimación de la dispersión de los olores y odorantes, al modificar el flujo de succión para los resultados del 10 de diciembre del 2014.**

Clase	Distancia m	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal OU/s	Olor OU/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg /s	Sulfuro de hidrógeno µg/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg /s	Amoniaco µg/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg/s	Mercaptanos µg/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg/s	Compuestos orgánicos volátiles µg/m <sup>3</sup>
<b>A</b>	10	2 m <sup>3</sup> /s 80652 OU/s	585,4795	0.01 m <sup>3</sup> /s 1595655	11583,3892	4500 m <sup>3</sup> /s 225740748	1638726,806	0.03 m <sup>3</sup> /s 434659,835	3155,3396	0.5 m <sup>3</sup> /s 289773,22	21031,5597
	100		13,2073		261,2994		36966,5860		71,1785		47,4523
	200		3,7571		74,3315		10515,8356		20,2481		13,4987
	300		1,7979		35,5697		5032,1245		9,6893		6,4595
	400		1,0654		21,0784		2982,0154		5,7418		3,8279
	500		0,7099		14,0454		1987,0324		3,8259		2,5507
	600		0,5095		10,0800		1426,0517		2,7458		1,8306
	700		0,3849		7,6146		1077,2515		2,0742		1,3828
	800		0,3019		5,9720		844,8671		1,6268		1,0845
<b>B</b>	10	2 m <sup>3</sup> /s 80652 OU/s	694,3050	0.01 m <sup>3</sup> /s 1595655	13736,4405	4500 m <sup>3</sup> /s 225740748	1943323,5660	0.03 m <sup>3</sup> /s 434659,835	3741,8353	0.5 m <sup>3</sup> /s 289773,22	2494,5568
	100		28,6411		566,6480		80164,9062		154,3561		102,9040
	200		8,7853		173,8120		24589,5537		47,3467		31,5645
	300		4,3840		86,7353		12270,6286		23,6269		15,7512
	400		2,6752		52,9280		7487,8398		14,4177		9,6118
	500		1,8233		36,0738		5103,4361		9,8266		6,5511
	600		1,3329		26,3700		3730,6202		7,1832		4,7888
	700		1,0226		20,2316		2862,2145		5,5111		3,6741
	800		0,8128		16,0817		2275,1136		4,3807		2,9204
<b>C</b>	10	2 m <sup>3</sup> /s 80652 OU/s	647,3399	0.01 m <sup>3</sup> /s 1595655	12704,3579	4500 m <sup>3</sup> /s 225740748	1811870,919	0.03 m <sup>3</sup> /s 434659,835	3488,7255	0.5 m <sup>3</sup> /s 289773,22	2325,8170
	100		31,4061		631,9864		87904,0030		169,2576		112,8384
	200		9,6546		239,9857		27022,6527		52,0316		34,6878
	300		4,8201		110,7097		13491,2659		25,9772		17,3181
	400		2,9419		65,0244		8234,2329		15,8549		10,5699
	500		2,0053		39,6733		5612,6696		10,8071		7,2047
	600		1,4659		29,0028		4103,0891		7,9004		5,2670
	700		1,1247		22,2523		3148,0869		6,0616		4,0410

	800		0,8940		17,6883		2502,4044		4,8183		3,2122
<b>D</b>	10		287,4945		4242,9174		804682,1523		1549,4013		1032,9342
	100		95,5254		1917,6429		267370,5525		514,8173		343,2115
	200		33,9433		822,5067		95005,5094		182,9314		121,9543
	300		18,2356		412,4705		51040,6223		98,2778		65,5185
	400		11,6953		255,6747		32734,6044		63,0299		42,0199
	500		2,0053		163,7541		23166,6485		44,6070		29,7380
	600		6,2368		123,3915		17456,4625		33,6121		22,4080
	700		1,1247		97,1065		13737,8673		26,4520		17,6347
800		0,8940		78,8965		11161,6554		21,4916		14,3277	
<b>E</b>	10		18,8347		163,0896		52717,2210		101,5061		67,6708
	100		173,4339		3472,6693		485432,4661		934,6917		623,1277
	200		70,3571		1670,7177		196925,8798		379,1773		252,7849
	300		39,8321		891,7051		111488,0459		214,6683		143,1122
	400		26,3653		572,4823		73795,2937		142,0915		94,7277
	500		19,0824		377,5344		53410,5996		102,8412		68,5608
	600		14,6310		289,4655		40951,3049		78,8510		52,5673
	700		11,6787		231,0573		32688,1772		62,9405		41,9603
800		9,6031		189,9916		26878,5153		51,7511		34,5027	
<b>F</b>	10		4,46x10-17		4,78x10-19		1,2489x10-13		2,4x10-16		1,60x10-16
	100		121,3740		2373,3877		339719,4857		654,1239		436,0826
	200		140,6373		2921,1106		393636,4051		757,9399		505,2933
	300		106,2701		2263,1338		297444,5695		572,7243		381,8162
	400		80,2221		1697,8560		224537,492		432,3430		288,2286
	500		62,5811		1238,1321		175161,1914		337,2698		224,8465
	600		50,3749		996,6398		140996,7597		271,4868		180,9912
	700		41,6163		823,3562		116481,9675		224,2840		149,5226
800		35,1128		694,6882		98279,0293		189,2345		126,1564	

**Cuadro 8.1 Estimación de la dispersión de los olores y odorantes, al modificar el flujo de succión para los resultados del 24 de Febrero del 2015**

Clase	Distancia m	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal OU/s	Olor OU/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg /s	Sulfuro de hidrógeno µg/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg /s	Amoniaco µg/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg /s	Mercaptanos µg/m <sup>3</sup>	Flujo de succión m <sup>3</sup> /s Caudal µg /s	Compuestos orgánicos volátiles µg/m <sup>3</sup>
A	10	2 92808	551,2287	0.01 684281.383	4064,2568	4500 270798781.6	1608396,5330	45 118502.628	703,8407	0.5  548206.075	3256,0440
	100		12,4347		91,6820		36282,3923		15,8773		73,4502
	200		3,5373		26,0806		10321,2040		4,5166		20,8943
	300		1,6927		12,4803		4938,9878		2,1613		9,9985
	400		1,0031		7,3958		2926,8229		1,2808		5,9251
	500		0,6684		4,9281		1950,2555		0,8534		3,9481
	600		0,4797		3,5368		1399,6578		0,6125		2,8335
	700		0,3624		2,6717		1057,3133		0,4627		2,1404
B	800	0,2842	2,0954	829,2299	0,3629	1,6787					
	10	653,6878	4819,6967	1907355,683	834,6665	3861,2580					
	100	26,9656	198,8195	78681,1791	34,4312	159,2825					
	200	8,2713	60,9853	24134,4395	10,5613	48,8579					
	300	4,1275	30,4328	12043,5184	5,2703	24,3809					
	400	2,5187	18,5708	7349,2516	3,2161	14,8779					
	500	1,7167	12,6572	5008,9795	2,1919	10,1402					
	600	1,2549	9,2524	3661,5723	1,6023	7,4125					
C	700	0,9628	7,0987	2809,2394	1,2293	5,6870					
	800	0,7652	5,6426	2233,0048	0,9772	4,5205					
C	10	609,4703	4457,5705	1778336,019	778,2069	3600,0701					
	100	29,5688	221,7447	862770,0372	37,7552	174,6596					



	200	9,0898	84,2036	26522,5055	11,6063	53,6923
	300	4,5381	38,8447	13241,5637	5,7946	26,8063
	400	2,7698	22,8151	8081,8301	3,5366	16,3609
	500	1,8880	13,9201	5508,7878	2,4107	11,1520
	600	1,3802	10,1762	4027,1474	1,7623	8,1525
	700	1,0589	7,8077	3089,8207	1,3521	6,2550
	800	0,8417	6,2063	2456,0888	1,0748	4,9721
	D	10	270,6759	1488,7099	789788,7428	345,6147
100		89,9371	672,8422	262421,9413	114,8369	531,2480
200		31,9576	288,5924	93247,1058	40,8053	188,7679
300		17,1689	144,7233	50095,9402	21,9222	101,4144
400		11,0111	89,7084	32128,7381	14,0597	65,0415
500		7,7927	57,4563	22737,8700	9,9502	46,0306
600		5,8719	43,2943	17133,3707	7,4976	34,6849
700		4,6211	34,0717	13483,6008	5,9005	27,2926
800		3,7545	27,6824	10955,0706	4,7940	22,1775
E	10	17,7328	57,2231	51741,5076	22,6423	104,7457
	100	163,2879	1218,4534	476447,8669	2084954	964,5229
	200	66,2412	586,2037	193281,0894	84,5806	391,2790
	300	37,5019	312,8721	109424,5764	47,8846	221,5195
	400	24,8230	200,8665	72429,4581	31,6954	146,6265
	500	17,9660	132,4653	52422,0528	22,9400	106,1234
	600	13,7750	101,5646	40193,3603	17,5888	81,3676
	700	10,9955	81,0709	32083,1701	14,0397	64,9493
	800	9,0413	66,6622	26381,0360	11,5444	53,4059

F	10		4,20x10-17		1,67x10-19		1.22X10-13		5,36x10-17		2,48x10-16
	100		114,2735		832,7491		333431,8108		145,9111		675,0006
	200		132,4099		1024,9283		386350,8102		169,0687		782,1300
	300		100,0533		794,0644		291939,6539		127,7538		591,0031
	400		75,5291		595,7257		220381,6539		96,4399		446,1414
	500		58,9200		434,4247		171919,2314		75,2325		348,0340
	600		47,4279		349,6904		138387,1300		60,5588		280,1514
	700		39,1818		288,8905		114326,0683		50,0295		231,4421
	800		33,0587		243,7448		96460,0380		42,2113		195,2741

## **ANEXOS**



## ANEXO 1: VALORES PROMEDIOS PARA EL PERIODO DEL AÑO 2004 AL 2013 DE DATOS METEOROLÓGICOS

**Cuadro A.0.1.1 Valores promedios para el periodo del año 2004 al 2013 de datos meteorológicos brindados por el Instituto Meteorológico Nacional (2014)**

Año	Radiación solar MJ/m	Precipitación mm	Porcentaje de Humedad %	Temperatura °C		Velocidad (km/h) y Dirección del viento
				Mínima	Máxima	
<b>2004</b>	19,4	99,3	76	24,3	29,8	11,5 Sur
<b>2005</b>	18,5	132,9	78	24,2	29,5	10,9 Sur
<b>2006</b>	20,4	83,0	78	24,0	29,6	10,9 Sur
<b>2007</b>	19,5	142,0	81	23,2	28,9	11,7 Variable
<b>2008</b>	19,5	166,2	81	22,8	28,6	No se cuenta con la información
<b>2009</b>	20,1	79,8	79	24,3	29,8	
<b>2010</b>	18,7	177,5	80	22,5	29,2	
<b>2011</b>	14,8	140,8	79	23,9	28,8	10,4 Variable
<b>2012</b>	15,3	74,0	75	24,1	30,0	
<b>2013</b>	16,9	82,6	76	24,6	29,8	10,9 Sur

**ANEXO 2: FACTORES DE EMISIÓN DE CONCENTRACIÓN DE OLORES  
PARA UNA PTAR.**

**Cuadro A.2.0.1 Factores de emisiones teóricos tomado de Capelli et al., (2009)**

<b>Unidad</b>	<b>Media geométrica de OEF</b>	<b>Mediana de OEF</b>	<b>% desviación</b>
<b>LL-AR</b>	1.09E+04	3.09E+03	40
<b>PR-T</b>	1.05E+05	3.42E+05	26
<b>I-Sed</b>	1.9E+05	1.18E+05	17
<b>Q-F</b>	8.25E+03	1.09E+04	15
<b>II-Sed</b>	1.31E+04	1.34E+04	13
<b>Al-lodo</b>	4.25E+04	4.99E+04	19
<b>Es-lodo</b>	8.26E+03	1.02E+04	17

### ANEXO 3: ENCUESTA APLICADA PREVIAMENTE POR EL AYA



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Encuesta de Olores Vecinos de PTAR


Fecha: \_\_\_\_\_  
Nombre: Rodrigo Padilla Jimenez  
Cédula: 1-205-651 Teléfono: 2663 7249  
Dirección: Casa # 585, De los Tanques Aguas Negras 50 E.

#### PREGUNTAS

1. Como son o eran los Olores hace un año atrás que se producían en la PTAR.  
( )Muy Fuerte (x)Fuerte ( )Poco ( )Nada ( )NR
2. Como se sienten los Olores que provienen de la PTAR actualmente.  
( )Muy Fuerte (x)Fuerte ( )Poco ( )Nada ( )NR
3. Cree usted que ha mejorado el grado de Olores en general.  
( )Mucho (x)Poco ( )Nada ( )NR
4. En cual de las 2 Estaciones del año la PTAR huele más.  
( )Invierno (x)Verano ( )NR
5. En un día completo (24 horas), que momento huele más la PTAR.  
(x)Mañana ( )Tarde ( )Noche ( )NR
6. El AYA aplica Bacterias para combatir los malos olores; considera usted que hace bien en buscar medios para reducir los malos Olores generados en la PTAR.  
(x)Muy bueno ( )Bueno ( )Regular ( )Malo ( )NR
7. Respecto a la pregunta anterior, es suficiente o puede mejorar: Mejorar

Opinión general con respecto a Olores en la PTAR:

Percepción sobre basura, y malos Olores, ante ministerio de Salud.

  
Firma vecino (a)

  
Firma AYA

  
Firma EMPROTEC

Figura A.3.1 Machote de encuesta aplicada previamente por el AYA

## ANEXO 4: PORCENTAJE DE COBERTURA DE NUBES

Cuadro A.4.1 Porcentaje de cobertura de nubes tomado de (NOAA, 2015)

Cubierta de nube	Porcentaje de nubes %
Claro	(0-5)
Parcialmente nublado	(5-50)
Mayormente nublado	(50-95)
Completamente nublado	(95-100)

Cuadro A.4.2 Nubosidad en Costa Rica (Instituto Meteorológico Nacional, 2015)

Época	Nubosidad
Setiembre 2014	Parcialmente Nublado
Marzo 2015	Despejado
Abril 2015	Despejado